



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

GIULIANNA DE ANDRADE MOREIRA

**REUSO DE EFLUENTE INDUSTRIAL: UM ESTUDO DE CASO EM INDÚSTRIA DE
MARGARINAS NO CEARÁ**

FORTALEZA

2023

GIULIANNA DE ANDRADE MOREIRA

REUSO DE EFLUENTE INDUSTRIAL: UM ESTUDO DE CASO EM INDÚSTRIA DE
MARGARINAS NO CEARÁ

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Ítalo Waldimiro Lima de Franca.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M837r Moreira, Giulianna de Andrade.

Reuso de efluente industrial: um estudo de caso em indústria de margarinas no Ceará /
Giulianna de Andrade Moreira. – 2023.

54 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro
de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Alimentos, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Ítalo Waldimiro Lima de Franca.

1. Reuso. 2. Efluente. 3. Água. 4. Torre de resfriamento. 5. Tratamento. I. Título.

CDD 664

GIULIANNA DE ANDRADE MOREIRA

REUSO DE EFLUENTE INDUSTRIAL: UM ESTUDO DE CASO EM INDÚSTRIA DE
MARGARINAS NO CEARÁ

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Alimentos.

Aprovada em: xx/xx/xxxx.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ítalo Waldimiro Lima de Franca (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Tiago Lima de Albuquerque
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Marcos Vinicius Aquino Lopes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus e a minha família, fundamentais
na minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me sustentado e me proporcionado tantas vitórias até aqui. A Ele toda a honra e louvor.

Aos meus pais, Tania e Wilton, por todo suporte emocional e espiritual. Vocês são a minha base e referência para a vida.

A minha irmã Giovanna, desde sempre me ajudando em todos os momentos e “me levantando quando eu estava para baixo”.

A minha avó paterna Elzi, por sempre me manter em suas orações.

A minha tia Suely, por sempre me incentivar a estudar e dar o melhor de mim.

Aos professores com os quais tive o privilégio de assistir às aulas, especialmente participantes da banca examinadora e professor Dr. Ítalo Waldimiro pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

As minhas amigas do curso, Adálya, Dullya, Juliane e Tiffany, pela amizade construída e parceria durante toda a graduação, dividindo momentos de alegria e desespero. Ter a companhia de vocês fez toda a diferença nessa caminhada.

A Cícera Oliveira e aos demais colegas do trabalho por toda a ajuda e contribuição com os dados, informações e explicações.

Ao meu amor Saliel Roque, por toda paciência e compreensão. Por acreditar em mim e ser meu apoio sempre que preciso.

A minha filhotinha, Amora. Minha companhia e o presente mais especial da minha vida.

Vocês todos fizeram parte desta etapa da minha vida, de forma especial, e por isso, sou imensamente e eternamente grata a cada um.

A todos vocês, meu muito obrigada.

“Somos responsáveis por tudo que
construímos”.

Ivens Dias Branco

RESUMO

Diante da crescente tendência à sustentabilidade, faz-se necessário buscar alternativas para a utilização dos recursos naturais, dentre estes, a água. O reuso de efluentes industriais tratados é uma ferramenta que tem ganhado espaço no cenário mundial pela eficiência e vantagens para as indústrias que utilizam esse processo. Todo efluente a ser descartado deve obrigatoriamente ser adequado aos parâmetros definidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e a técnica de reuso consiste em tratar os efluentes industriais de forma a reaplicar nos processos de própria indústria. Neste trabalho é realizada uma revisão acerca do conceito de reuso e possíveis aplicações, etapas do tratamento de efluentes e legislações brasileiras vigentes a respeito do uso e gerenciamento de águas no país. Ademais é apresentada a descrição da produção industrial de margarinas com foco na utilização e consumo hídrico, envolvendo também as atividades secundárias como higienização de equipamentos e fornecimento de recursos pelas utilidades da fábrica. Através de um estudo de caso realizado em uma indústria de margarinas de grande porte no Ceará, é exposta a implementação do reuso de efluentes como substituição parcial a utilização de água bruta, cuja prática de reuso trouxe retorno financeiro expressivo pela redução dos volumes de captação de água e efluente descartado, além de corroborar com as práticas sustentáveis difundidas na companhia.

Palavras-chave: reuso; efluente; água; torre de resfriamento; tratamento;

ABSTRACT

In front of the crescent sustainability tendency, it becomes necessary to search for alternative options for the use of natural resources, of which, the water. The treated industrial effluent reuse is a tool that has gained space in the global scenario due to the efficiency and advantages of the process for the industries which uses it. Every effluent to be discarded must be mandatorily adequate to the parameters established by Environment National Council (CONAMA) and the reuse technique consists of treating the industrial effluents to reapply it on production support process as steam generation in industrial boilers, cooling towers systems and garden irrigation. In this work, a review is carried out on the reuse concept and possible applications, effluent treatment stages and current Brazilian legislation regarding water use and management at the country. In addition, it is presented a description of the margarine industrial production focused on water use and consumption, also involving secondaries activities such as equipment hygienization and resources provided by the factory utilities. Through a case study carried out at a large margarine industry at Ceará, it is exposed the effluent reuse implementation as a partial replacement for raw water use, in which the reuse practice brought expressive financial return by reducing volume of captured water and discarded effluent, besides corroboration with the sustainable practices widespread by the company.

Keywords: reuse; effluent; water; cooling tower; treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma das estações de tratamento de efluentes líquidos	20
Figura 2 – Fluxograma de fabricação de margarinas	23
Figura 3 - Processo convencional de produção de margarina e representação esquemática de sua microestrutura	24
Figura 4 - Fluxograma simples das etapas de refino de soja e principais resíduos.....	25
Figura 5 - Esquema do fluxo da água e calor da caldeira flamotubular	27
Figura 6 – Esquema de troca térmica na torre de resfriamento de fluido refrigerante.....	28
Figura 7 - Média de chuva anual por município cearense – 2011 a 2020	32
Figura 8 - Fluxograma de origem e tratamento de efluentes líquidos	34
Figura 9 – Esquema genérico do tanque de flotação	35
Figura 10 - Esquema de MBR convencional	36
Figura 11 - Mecanismo de funcionamento da osmose e osmose reversa	37
Figura 12 – Placa de aviso: Reuso de água para irrigação do jardim	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo médio de água por setores da fábrica	41
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Etapas do tratamento de efluentes, mecanismos e resíduos removidos.....	21
Tabela 2 – Características do efluente da produção de margarinas	38
Tabela 3 – Características do efluente do refino da soja	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CIP	Clean In Place
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DPR	Direct Potable Reuse
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
MBR	Membrana Ultrafiltrante
MS	Ministério da Saúde
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
OR	Osmose Reversa
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
RDC	Resolução de Diretoria Colegiada
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SOHIDRA	Superintendência de Obras Hidráulicas

LISTA DE SÍMBOLOS

cm	Centímetro
H	Hora
g	Gramma
L	Litro
M	Metro cúbico
mL	Mililitro
μ s	Micro Siemens
mg	Miligramma

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Reuso de efluentes: conceitos e aplicações	17
3.2	Tratamento de efluentes industriais	18
3.3	Legislações sobre uso de água na indústria de alimentos	21
3.4	Produção de margarinas	23
3.5	Refino da Soja	24
3.6	Utilidades industriais	26
3.7	<i>Clean in Place</i> (CIP)	29
4	METODOLOGIA	31
5	ESTUDO DE CASO	32
5.1	Início do reuso de efluentes na indústria de margarinas	32
5.2	Tratamento dos efluentes na indústria de margarinas	33
5.2.1	Caracterização dos efluentes gerados na produção de margarinas	37
5.2.2	Caracterização dos efluentes gerados no refino de óleo vegetal	38
5.3	Qualidade do efluente industrial tratado	39
5.4	Aplicação do reuso na indústria de margarinas	40
5.5	Oportunidades no reuso na fábrica	43
6	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

A despeito dos esforços necessários para redução do consumo humano individual ainda acima do recomendado pela ONU, dados da Agência Nacional de Águas (ANA), publicados no Manual de Usos Consuntivos da Água No Brasil (2019)¹, apontam que o Agronegócio (abastecimento animal e irrigação) e as indústrias de transformação são os segmentos mais consumidores de água no país, somando 88% do consumo total, seguido do abastecimento urbano, equivalente a 8,6%.

Do segmento industrial, 58,7% do consumo de água nacional é atribuído à fabricação de alimentos e bebidas¹, considerando todo o processo produtivo. Mierzwa e Hespanhol (2005) dividem as aplicações da água na indústria, de forma geral, como matéria prima incorporada ao produto, fluido auxiliar para preparações de compostos intermediários, gerador de energia mecânica ou elétrica, fluidos de aquecimento ou resfriamento e para transporte de contaminantes, abrangendo instalações sanitárias e lavagem de equipamentos e afins². A quantidade de água empregada em cada um desses processos varia com o porte da empresa e tipo de alimento ou bebida produzida.

A utilização da água na indústria de alimentos deve atender aos padrões de qualidade e potabilidade regulamentados, no Brasil, pelo Ministério da Saúde (MS) e Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e aos parâmetros específicos para cada processo. Além disso, a vazão de abastecimento hídrico por rede pública é definida por meio de outorga e fiscalizado por órgãos estaduais a fim de controlar o consumo e incentivar o uso sustentável do recurso.

Em 2015 a ONU estabeleceu 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) através de metas a serem cumpridas até 2030, visando a erradicação da pobreza, proteção ambiental e climática e garantia de recursos e estabilidade para as gerações futuras. Dentre os objetivos, está a gestão sustentável de água potável e saneamento básico por meio de práticas de uso eficiente dos recursos hídricos, tratamento de efluentes, aprimoramento das tecnologias de reuso e entre outros³. É notável salientar que todos os 193 países membros da ONU aderiram à Agenda Sustentável⁴.

Diante do cenário atual e da crescente tendência de sustentabilidade, as indústrias vêm procurando alternativas factíveis para a utilização de água nos

processos. Telles e Costa (2010) apresentam o reuso como um aproveitamento do efluente após uma extensão de seu tratamento e uma tecnologia sustentável, segura e confiável para a racionalização dos recursos hídricos, se destacando como uma opção frente às necessidades dos processos industriais⁵.

Segundo Vitoratto e Silva (2004) a técnica de reuso de água residuárias já é amplamente utilizada em países de clima árido e semiárido, como o Oriente Médio e a região desértica dos Estados Unidos⁶. A República da Namíbia é reconhecida como pioneira em DPR (Reuso Potável Direto), inaugurando uma planta de recuperação de águas de esgoto doméstico para complementar o abastecimento de água potável na cidade, ainda nos anos 60⁷.

Como meta relacionada aos ODS, o governo federal brasileiro propôs o aumento percentual de reuso de água residuárias de estimados 2m³/s para quase 13m³/s como contribuição para a garantia da disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para a comunidade⁸, além de popularizar a utilização do reuso no país.

Em 2022, foi atualizado o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) como parte da implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, conhecida como Lei das Águas nº9.433/1997 que norteia a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) na gestão de águas no país. Uma das metas definidas no documento aborda diretrizes e critérios gerais que regulamentam o reuso direto não potável, aplicável também às indústrias de alimentos⁹.

O documento PNRH, que contou com participação pública online, é parte da estratégia para incentivar o uso eficiente da água por meio do desenvolvimento de tecnologias de aproveitamento de recursos hídricos, das quais, o reuso de águas residuárias, visando o aumento da disponibilidade do recurso natural, além da utilização racional e integrada, priorizando a sustentabilidade.

Neste trabalho é apresentado um estudo de caso do reuso de efluente industrial tratado em uma indústria de alimentos do setor de margarinas e gorduras vegetais como alternativa à captação e utilização de água de abastecimento, como forma de reduzir o consumo hídrico e o descarte de efluentes e por consequência, diminuir os custos da empresa, otimizar a produção e se adequar às práticas sustentáveis.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar uma alternativa de reuso de efluentes industriais como uso não potável para suprir, em parte, a utilização de água de abastecimento público e/ou privado nos processos industriais de apoio à fabricação de alimentos, através de um caso de sucesso em uma indústria de margarinas no Ceará.

2.2 Objetivos específicos

- a. Realizar uma revisão da produção industrial de margarinas e os principais processos envolvidos com foco no consumo e utilização de água.
- b. Verificar a adequação do efluente industrial tratado nos processos auxiliares à fabricação de margarinas.
- c. Demonstrar as vantagens e oportunidades possíveis para a indústria com a substituição parcial do abastecimento de água por “água de reuso”.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Reuso de efluentes: conceitos e aplicações

O reuso de efluentes industriais pode ser entendido como a substituição total ou parcial das fontes de água usuais pelo efluente direto ou tratado em estações próprias de tratamento, que propiciam características semelhantes à água bruta². As aplicações mais comuns envolvem atividades cujos padrões de qualidade não são tão exigentes, como para fins urbanos não potáveis (irrigação de gramado, lavagem de ruas, reservas de incêndio etc.), uso industrial e agrícola. Embora o reuso potável seja possível e já seja utilizado em algumas localidades onde há um cenário de escassez extrema, não é uma prática recomendada pela Organização Mundial da Saúde (OMS)⁵.

O relatório técnico publicado pela OMS (1973) traz as seguintes definições acerca do reuso de água¹⁰:

- Reuso Indireto: águas residuárias já usadas para finalidades domésticas ou industriais uma ou mais vezes, é despejada em águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente, de forma diluída.
- Reuso Direto: uso planejado de água residuárias tratadas para fins benéficos como irrigação, uso industrial ou potável.
- Reciclagem Interna: reuso de água dentro das instalações industriais para controle da poluição.

A fim de priorizar a qualidade da água, a segurança dos alimentos e dos consumidores, o Ministério da Saúde (MS), através da Portaria nº 2.914/2011, definiu o uso exclusivo de água potável com alto grau de pureza e livre de contaminação para higiene pessoal, produção farmacêutica e alimentícia¹¹. Assim, o reuso de água no setor de industrialização de alimentos é destinado apenas às atividades externas ou de apoio à produção, sendo caracterizado como “reciclagem interna”.

Das aplicações do reuso de efluentes para fins industriais, existem os sistemas de resfriamento e geração de vapor, descargas sanitárias, água de processos, jardinagem, entre outros. Apesar do aspecto agradável em relação à

turbidez e odor, a água de reuso não potável pode abrigar contaminantes microbiológicos, metais pesados e outras substâncias que as tornam impróprias para consumo humano, mas que nada impede os usos mencionados, ainda que numa indústria de produção alimentícia⁵.

Não obstante das restrições para o destino da água de reuso, é possível poupar quantidades significativas de água potável para outras finalidades prioritárias, sendo então, fundamental na gestão sustentável e conservação do recurso, além de fomentar a vantagem econômica no mercado atual⁵.

De maneira geral, é mandatório levar em consideração as exigências do processo ao qual o reuso é destinado, uma vez que a escolha dos tratamentos aplicados aos efluentes varia com base nos padrões estabelecidos previamente que devem ser atingidos visando manter a integridade do produto e equipamentos.

3.2 Tratamento de efluentes industriais

A geração de resíduos e efluentes é uma consequência inerente ao processo de transformação de matéria-prima em produto e requer tratativas adequadas a fim de minimizar a interferência no ambiente sobre o qual está inserido.

De acordo com o relatório mundial da ONU sobre desenvolvimento dos recursos hídricos, publicado em 2021, cerca de 80% das águas residuárias são lançadas na natureza sem nenhum tipo de tratamento, trazendo riscos à saúde humana e ao ecossistema¹², além de acelerar o processo de deterioração dos mananciais e contribuir para a situação de escassez hídrica.

Assim, o objetivo do tratamento dos efluentes industriais é a prevenção da contaminação ambiental, reduzindo a carga poluente a quantidades passíveis de recuperação natural, sem alterar a qualidade do corpo hídrico no qual é despejado.

As Resoluções nº 357/2005 e 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) descrevem os padrões e condições exigidos para o lançamento direto e indireto de efluente nos corpos receptores, após tratamento^{13,14}. Segundo a norma ABNT NBR 9800/1987, efluente líquido industrial é todo despejo líquido proveniente de indústria, compreendo efluentes de processo industrial, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico¹⁵.

Um dos parâmetros mais importantes para o controle da poluição é a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que representa a quantidade de oxigênio

consumida por microrganismos para a oxidação da matéria orgânica, expressa em g/mL. Logo, a DBO é uma medida indireta da concentração de matéria orgânica biodegradável¹⁶ presente em um determinado corpo hídrico, além de ser um indicativo da eficiência do tratamento dado ao efluente.

Os efluentes gerados a partir do processamento e fabricação de alimentos são, em sua maioria, abundantes em matéria orgânica e resíduos de produtos de limpeza, prejudiciais à eficiência dos tratamentos convencionais aplicados¹⁷ e uma potencial ameaça ao oxigênio dissolvido na água, essencial para a manutenção da vida aquática¹⁸.

O tipo de tratamento está alinhado com a origem e características do efluente, bem como com as condições operacionais da indústria. Em função da operação utilizada e da origem do resíduo, os processos de tratamento podem ser classificados em¹⁹:

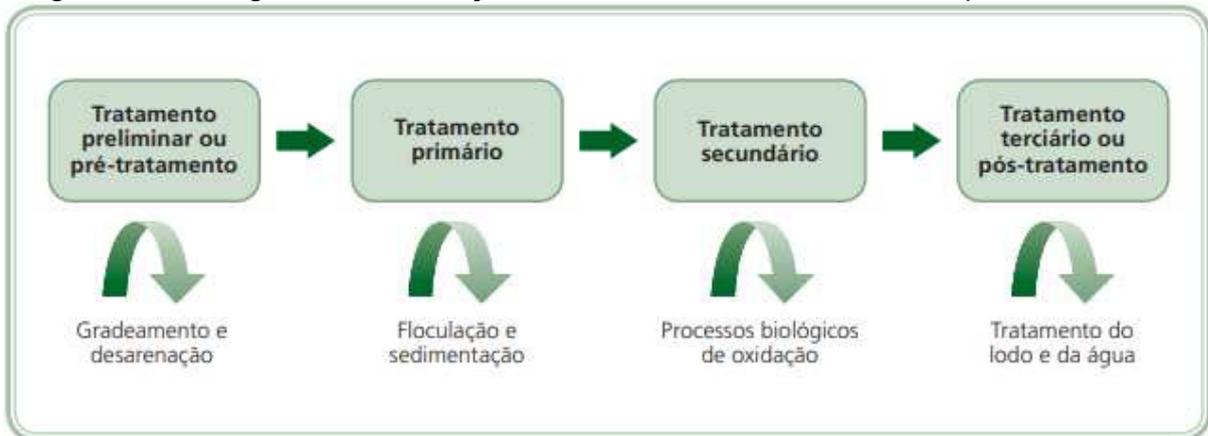
- Físicos: técnicas que removem sólidos e matérias orgânicas ou inorgânicas em suspensão, reduzem a carga microbiológica e podem também ser utilizados para desinfecção. Por exemplo: gradeamento, caixas de areia, filtração e decantação.

- Químicos: uso de produtos químicos, como agentes flocculantes, oxidantes e neutralizantes para a remoção de poluentes e/ou auxílio da remoção nas etapas posteriores. Por exemplo: Clarificação, Cloração, Oxidação por ozônio.

- Biológicos: Remoção da matéria orgânica dissolvida e/ou em suspensão através da transformação em sólidos sedimentáveis ou gases pela ação de microrganismos. Podem ocorrer de forma aeróbia ou anaeróbia. Por exemplo: Lagoas de estabilização, Biodigestores e Lodo Ativado.

Além disso, as fases do tratamento seguem uma ordem específica de acordo com a necessidade da indústria, sendo geralmente formada por etapa preliminar, primária, secundária e terciária. As etapas são complementares e se utilizam de processos físicos, químicos e/ou biológicos para garantir total adequação do efluente aos padrões estabelecidos, conforme representado na figura 1.

Figura 1 - Fluxograma das estações de tratamento de efluentes líquidos.



Fonte: SILVA, G.; DUTRA, P.; CADIMA, I. 2010.²⁰

1. Tratamento preliminar: etapa de início. Consiste na remoção de sólidos flutuantes e grosseiros, gorduras e areia, por meio de mecanismos físicos.
2. Tratamento primário: objetiva a remoção dos sólidos sedimentáveis e parte da DBO, por métodos físicos ou físico-químicos.
3. Tratamento secundário: etapa de remoção da matéria orgânica dissolvida e em suspensão, através de processos biológicos realizados por microrganismos.
4. Tratamento terciário: considerado um tratamento opcional e avançado que busca a remoção de partículas remanescentes das etapas anteriores, como nutrientes e poluentes específicos e garantir maior grau de desinfecção do efluente, se utilizando de mecanismos físicos, químicos e/ou biológicos⁵.

O pós-tratamento inclui o gerenciamento dos resíduos provenientes do próprio tratamento de efluentes como o lodo biológico e rejeito gorduroso, que devem ser destinados de forma adequada, podendo ser reciclado e/ou reutilizado, quando viável.

Vale ressaltar que as etapas preliminar e primária, em conjunto, são responsáveis por remover em até 70% os sólidos presentes no efluentes e até 45% da DBO, representando uma porção significativa de todo o tratamento⁵. A eficiência do tratamento está na combinação das técnicas e processos de modo a garantir o atendimento aos requisitos legais e particulares de cada indústria. A tabela 1 apresenta os dados retirados de Gandhi (2004) e resume as etapas do tratamento, os mecanismos de ação e os possíveis poluentes removidos.

Tabela 1 - Etapas do tratamento de efluentes, mecanismos e resíduos removidos.

Nível de tratamento	Preliminar	Primário	Secundário	Terciário
Poluente Removido	Sólidos flutuantes e grosseiros	Sólidos sedimentáveis; Matéria orgânica em suspensão	Matéria orgânica em suspensão e dissolvida; nutrientes	Colóides; metais pesados; nutrientes; compostos orgânicos refratários;
Mecanismo de ação	Físico	Físico ou Físico-químico	Biológico	Físico, químico ou biológico

Fonte: Adaptado de GANDHI, G. 2004¹⁹.

3.3 Legislação sobre uso de água na indústria de alimentos

Devido a essencialidade da água para as atividades e necessidades humanas, foi de suma importância o estabelecimento de legislações que regulam sua utilização, visando o uso sustentável, a redução da poluição ambiental e a preservação da saúde dos consumidores.

No âmbito da Federação Brasileira, além da Portaria n° 2.914/2011 mencionada anteriormente, determinada pelo Ministério da Saúde, o mesmo órgão público instituiu a Portaria n° 888/2021 que estabelece a definição, padrões de potabilidade e procedimentos de fiscalização da qualidade da água destinada ao consumo humano proveniente dos sistemas de abastecimento²¹. Nesse quesito, a preocupação das indústrias deve ser em garantir fontes seguras para captação de água utilizada na preparação dos alimentos, cujos parâmetros e periodicidade de análise são monitorados conforme legislações vigentes.

Ainda no cenário federal, a ANVISA, responsável por manter o controle sanitário de ambientes, processos, insumos e tecnologias vinculadas à produção e consumo produtos com impacto à saúde²², impõe diretrizes para o controle da qualidade e manipulação da água potável e seus reservatórios dentro dos estabelecimentos industrializadores de alimentos, através da Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) n° 275 de 21 de outubro de 2002²³.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), órgão consultivo e deliberativo integrante do SINGREH, é incumbido de mediar o uso comum e a

disponibilidade de água no território brasileiro. Na realização de suas competências foram decretadas as Resoluções n° 16/2001 e 048/2005, que definem critérios para concessão de outorga de direito de uso dos recursos hídricos e as devidas cobranças, respectivamente^{24,25}. Ademais, a Resolução CNRH n° 140/2012 estabelece as diretrizes para outorga de lançamento de efluentes em corpos d'água²⁶, enfatizando a obrigatoriedade de atendimento aos parâmetros e vazões de diluição adotados.

A violação das legislações sanitárias federais pode acarretar cumulativamente desde advertências até o cancelamento do alvará de funcionamento e/ou licenciamento da empresa, incluindo multas proporcionais à gravidade da infração, segundo a Lei n° 6.437 de 20 de agosto de 1977²⁷. A lei federal de crimes ambientais n° 9.605 de 12 de fevereiro de 1998 também prevê sanções penais para ações poluidoras que danifiquem a fauna, flora e a saúde humana²⁸.

Nos contextos estaduais e municipais, a regulamentação voltada ao suprimento, uso de água nas indústrias e despejo de efluentes pode apresentar variações relacionadas a especificidades de cada região, todavia, sem contradizer as legislações federais válidas em todo o território nacional brasileiro. No estado do Ceará, a Lei n° 14.844 de 28 de dezembro de 2010 aborda a Política Estadual de Recursos Hídricos, sendo a base para a gestão de águas na região, incluindo a concessão de outorgas e cobranças pela Secretaria de Recursos Hídricos²⁹.

Destaca-se no capítulo VII da Política Estadual de Recursos Hídricos do Ceará, a atividade de reuso de águas. Em 2016, foi sancionada a Lei estadual n°16.033 que dispõe sobre a política de reuso não potável de água. A norma regulamenta a aplicação do reuso para fins urbanos, agrícolas, ambientais e industriais e objetiva estimular sua realização no âmbito do estado cearense³⁰.

Tomando como base as Resoluções do CONAMA e as legislações estaduais acerca do gerenciamento dos recursos hídricos, a Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE) divulga a Resolução COEMA n° 02, de 02 de fevereiro de 2017 que dispõe os padrões e parâmetros legais para o descarte de efluentes líquidos, bem como as condições para reuso direto não potável nas modalidades permitidas no estado do Ceará³¹.

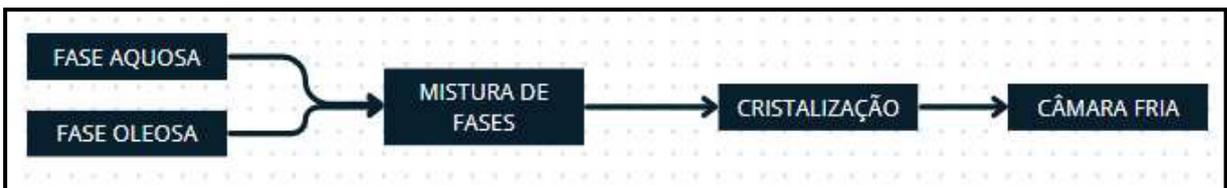
Em suma, as atividades industriais de captação de água, lançamento de efluentes e reuso de águas ficam sujeitas à fiscalização feita por entidades

competentes a fim de comprovar o uso legal dos recursos hídricos disponibilizados. Dessa maneira, as autoridades mantêm o controle da qualidade e gestão de águas, minimizando os impactos ambientais e socioeconômicos.

3.4 Produção de margarinas

A margarina consiste na emulsão formada por ingredientes hidrossolúveis e lipossolúveis, estabilizada por agitação e temperatura sob condições controladas, conforme apresentado no fluxograma da figura 2. A base gordurosa é formada por um ou mais óleos extraídos de fonte vegetal, como soja, palma, palmiste e algodão, após tratamento de refino.

Figura 2 – Fluxograma de fabricação de margarinas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A primeira etapa da fabricação é a preparação das fases aquosa e oleosa³². Água, cloreto de sódio e aditivos hidrofílicos com ação conservante são misturados e aquecidos a 65°C em um tanque com agitador, formando a fase aquosa. O aquecimento garante a completa solubilização das partículas.

Paralelamente, a porção gordurosa combina os óleos vegetais com corantes, aromatizantes, vitaminas, emulsificantes e outros antioxidantes lipossolúveis. A característica anfifílica dos emulsificantes reduz a tensão superficial e permite que as moléculas de água e óleo, naturalmente imiscíveis, formem um sistema homogêneo³³.

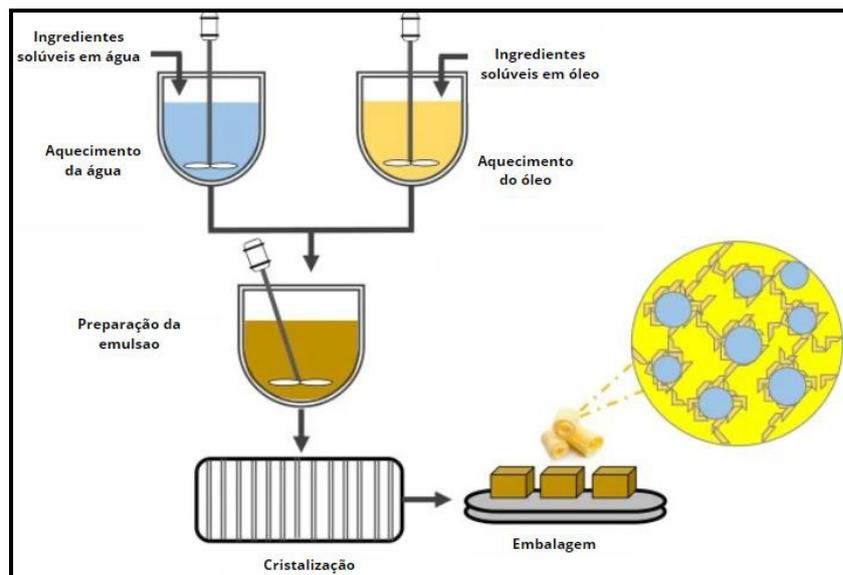
A junção das fases acontece em um tanque encamisado, com controle de temperatura e agitação constante, de modo a garantir a dissolução completa dos ingredientes e uniformidade da emulsão. A circulação de vapor d'água ao redor do tanque, fornece a energia térmica para aquecimento da emulsão.

Em seguida, a composição formada segue para a etapa crucial do processamento, cujos parâmetros são determinantes para a qualidade final do produto. A cristalização ocorre em trocadores de calor de superfície raspada, onde a

emulsão é resfriada rapidamente pelas paredes da tubulação e constantemente raspada e pressionada pelos rotores do equipamento para uniformizar o processo. A velocidade de arrefecimento inicial define a qualidade da cristalização, dado que cristais menores e mais fortes são formados à uma taxa de resfriamento mais rápida³⁴.

O último estágio antes da distribuição e comercialização é a têmpera ou fase de maturação das margarinas, isto é, a estocagem do produto em câmaras frias em torno de 5°C por 24 horas para complementar e finalizar a cristalização, garantindo estabilização do produto acabado³⁴. A figura 3 esquematiza resumidamente o processo produtivo de margarinas descrito anteriormente.

Figura 3 - Processo convencional de produção de margarina e representação esquemática de sua microestrutura.



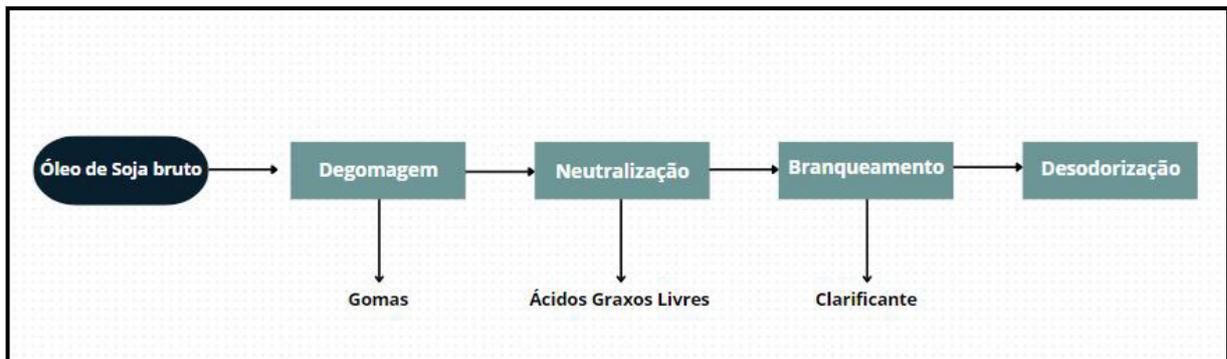
Fonte: Adaptado de SILVA; BARRERA-ARELLANO; RIBEIRO, 2021.³²

3.5 Refino da Soja

Uma das matérias-primas mais utilizadas na produção de margarinas domésticas é a soja. A composição e propriedades físico-químicas do óleo derivado do grão da soja conferem características desejáveis no produto como cremosidade e espalhabilidade. Na refinaria própria da unidade industrial, o óleo bruto de soja é submetido ao processamento chamado de refino químico, com a finalidade de remover substâncias impuras e degradantes e atingir o padrão ideal de qualidade

sensorial para sua posterior utilização na indústria. Mandarino e Roessing (2001) definem o refino como a transformação de óleos brutos em óleos comestíveis, no qual são removidas substâncias inorgânicas, coloidais, voláteis, pigmentos, ácidos graxos e entre outros³⁵. A figura 4 representa um fluxograma resumido das etapas do processamento, bem como os principais resíduos identificados nos processos.

Figura 4 - Fluxograma simples das etapas de refino de soja e principais resíduos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O refino químico do óleo bruto de soja geralmente ocorre em quatro etapas complementares no processamento: degomagem, neutralização, branqueamento e desodorização. Logo após a extração, o óleo de soja é exposto ao processo de degomagem, que consiste na remoção de fosfolipídeos e substâncias coloidais denominadas “gomas”³⁵. Estes componentes são altamente higroscópicos e podem precipitar durante a estocagem do óleo, além de favorecerem a degradação enzimática e a proliferação de microrganismos³⁶. Ao final do processo, obtêm-se o óleo degomado e o efluente residual, formado pelas substâncias removidas junto com o excesso de água³⁷.

Subsequente à degomagem, ocorre a neutralização com objetivo de eliminar os ácidos graxos livres responsáveis pela geração de espuma no aquecimento do óleo e por acelerar a decomposição de hidroperóxidos. Este processo resulta na saponificação dos ácidos graxos através da reação de neutralização³⁸ e o óleo neutralizado é submetido a lavagens com água aquecida para remover todo o sabão residual e seco à vácuo antes de seguir para a próxima etapa do refino³⁵.

O óleo degomado, neutro e seco apresenta menor teor de pigmentos em comparação ao óleo bruto. No entanto, como aperfeiçoamento da coloração, o óleo de soja é submetido ao branqueamento para retirada de substâncias coloridas,

sabões residuais, peróxidos e metais³⁹. A matéria clarificante é separada do óleo por meio de filtros prensa e é descartada.

A última etapa do refino da soja é a remoção de compostos voláteis desenvolvidos no processamento do óleo (aldeídos, cetonas, esteróis, etc.), hidrocarbonetos insaturados, ácidos graxos livres e peróxidos remanescentes responsáveis por conferir sabor e odor desagradáveis ao consumo³⁵. A desodorização baseia-se na diferença de pressão de vapor das substâncias a serem eliminadas e dos triglicerídeos do óleo. Assim, a insuflação de vapor e vácuo provoca o arraste quase completo dos componentes indesejados, resultando no óleo com parâmetros ideais para comercialização e aplicação na indústria de alimentos.

Especificamente para o processo de produção de margarinas, o óleo refinado é submetido a processos de hidrogenação ou interesterificação, cuja reação química modifica o arranjo molecular e conseqüentemente suas propriedades, aumentando a estabilidade oxidativa e ponto de fusão⁴⁰. Estes processos complementares também geram efluentes que podem ser destinados ao reuso interno da fábrica.

3.6 Utilidades Industriais

Para que seja obtido um produto existe uma série de processos, equipamentos e serviços auxiliares que fornecem as bases para garantir a continuidade do processo produtivo principal em uma indústria. Esse conjunto de processos de apoio, comumente fazem parte de um setor específico definido como Utilidades Industriais.

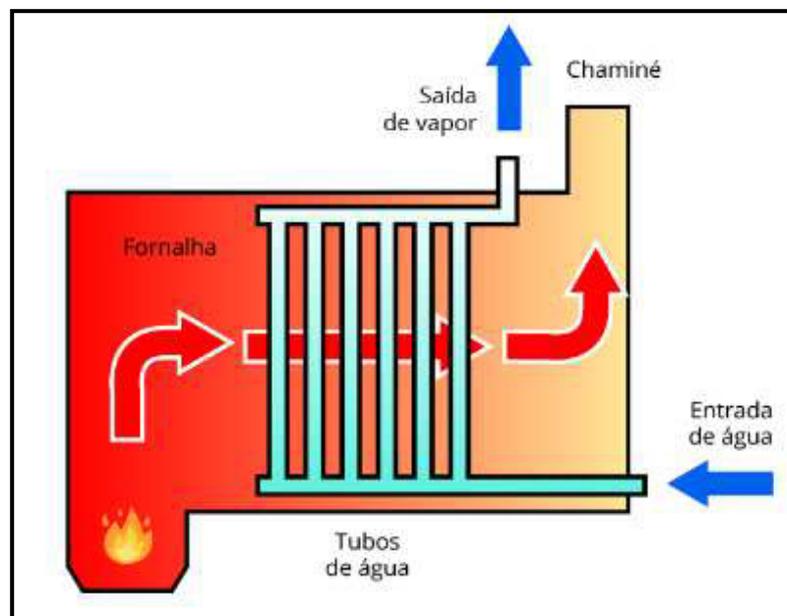
De maneira geral, os processos de utilidades podem incluir geração de vácuo e vapor, sistemas de refrigeração e fluido térmico, fornecimento de água quente, água gelada, ar comprimido e entre outros, a depender das necessidades de cada planta industrial⁴¹. Para atender às demandas de todo processo de fabricação de margarinas estudado neste trabalho, as utilidades industriais constantemente fornecem os principais insumos: vapor e refrigeração.

O abastecimento de vapor da indústria analisada é assegurado por caldeiras instaladas na fábrica que fornecem vapor de baixa pressão empregado no aquecimento de fluídos de processo em serpentinas de aquecimento ou trocadores de calor, geração de vácuo e água quente, sopragem de linhas e atividades de

limpeza; e vapor de alta pressão, específico para aquecimento interno do equipamento na etapa de desodorização do óleo vegetal, na refinaria.

Dentro das caldeiras, a queima de gás natural como combustível fornece energia térmica para o aquecimento da água contida nas paredes internas da caldeira, convertendo-a para o estado gasoso, gerando o vapor d'água que será encaminhado por tubulações para desempenhar a função de aquecimento em diversas etapas do processo de produção das margarinas. O calor excedente é liberado por uma chaminé para fora da caldeira. Vale salientar que, assim que o vapor entra em contato com a tubulação fria, há a formação de condensado. Logo, para haver a compensação do fluxo de vapor, maior é o consumo de combustível e água nas caldeiras⁴². A figura 5, representa o funcionamento de uma caldeira industrial horizontal com os fluxos de calor identificado pelas setas em vermelho, e água com setas em azul.

Figura 5 - Esquema do fluxo da água e calor da caldeira flamotubular.



Fonte: Tractian [s.d]⁴³.

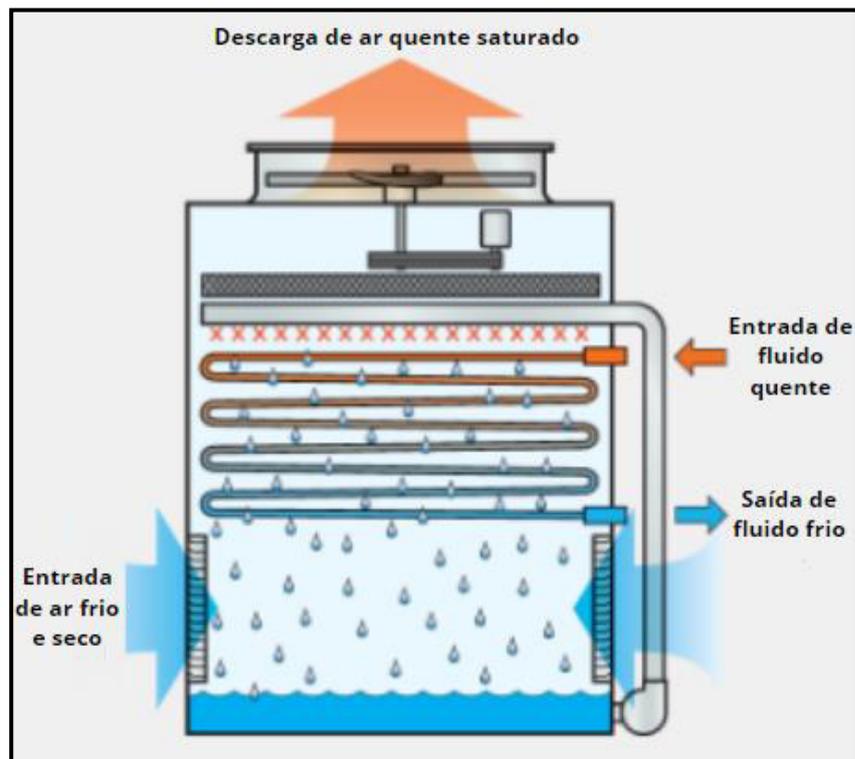
Na unidade, as utilidades também são responsáveis por garantir o frio para os processos, seja para climatização das câmaras de armazenamento, seja para arrefecimento de efluentes dos processos nas torres de resfriamento, principal destino da água de reuso.

O sistema de refrigeração empregado na fase de cristalização das margarinas e nas câmaras de armazenamento utiliza a amônia (NH_3) como agente

refrigerante, em razão das características termodinâmicas do composto que a tornam uma boa opção⁴⁴. A amônia gasosa gerada nos processos de absorção de calor é condensada ao passar no interior da serpentina no trocador de calor com circulação de água fria, retornando para o reservatório de estocagem, na forma líquida.

O fornecimento de água gelada para a geração de vácuo no desodorizador de óleo vegetal também utiliza a amônia como fluido refrigerante. A amônia é condensada pela troca de calor com a água circulante da torre de refrigeração específica do processo. A figura 6 exemplifica o funcionamento de uma torre de resfriamento de fluido refrigerante, tal qual a amônia.

Figura 6 – Esquema de troca térmica na torre de resfriamento de fluido refrigerante.



Fonte: Adaptado de Evapco [s.d]⁴⁵.

Cada torre de resfriamento possui uma especificidade de funcionamento relacionada a uma etapa do processo de fabricação das margarinas. Porém, de modo geral, a função das torres é a circulação de grandes vazões de água ou ar para retirada de calor de fluidos oriundos dos processos industriais.

Cabe ressaltar que os processos de resfriamento também geram efluentes líquidos, chamados de “água industrial” que é reaplicada nos processos da própria área. No entanto, após alguns ciclos de reutilização a água industrial se torna concentrada em sais e é descartada. Devido às propriedades bactericidas dos produtos químicos utilizados nos fluidos que podem prejudicar os microrganismos da ETE da unidade, os efluentes não mais utilizáveis são encaminhados diretamente para a rede da Companhia de Água e Esgoto do estado do Ceará (CAGECE).

3.7 *Clean in Place* (CIP)

Ao longo dos anos, a evolução das tecnologias disponíveis contribuiu para aprimorar muitas das atividades exercidas pelo homem. Processos que eram realizados de forma manual, atualmente podem ser integrados e automatizados, otimizando a eficiência e minimizando erros durante a execução. A limpeza de instalações e equipamentos é um dos processos que passaram por avanços tecnológicos, em virtude da importância e frequência com a qual deve ser realizada dentro da indústria de alimentos para manter o padrão de qualidade e segurança da produção.

A higienização dos aparatos industriais visa garantir a esterilidade das superfícies de contato com os insumos, removendo sujidades e incrustações remanescentes que podem caracterizar contaminação física e/ou química no produto, além viabilizar a proliferação de microrganismos e, portanto, gerar a contaminação biológica dos alimentos. A Portaria MS nº 326 de 30 de julho de 1997 regulamenta as condições higiênico-sanitárias adequadas à industrialização de alimentos e estabelece diretrizes para o cumprimento das Boas Práticas de Fabricação nas unidades produtoras⁴⁶.

Clean in Place (CIP) é um método de higienização usualmente empregado em empresas de grande porte equipadas de sistemas fechados de produção e que demandam alto padrão e frequência de limpeza interna das instalações. A técnica consiste na circulação de sanitizantes específicos e jatos de água morna dentro das tubulações que compõem o equipamento utilizado na produção, para remoção dos resíduos sem a necessidade de desmonte do maquinário⁴⁷, reduzindo também o tempo de parada das linhas. A eficiência do CIP está atrelada a fatores como a escolha do agente químico e concentração

apropriada, energia mecânica de circulação do fluido sanitizante, tempo e temperatura do processo⁴⁸.

Na indústria de margarinas estudada, as limpezas CIP geralmente acontecem em três etapas: desengorduramento, desinfecção e enxágue. Os resíduos gordurosos acumulados nas tubulações requerem a circulação de detergente alcalino forte, em geral, a base de hidróxido de sódio, seguida de enxágues para estabilização do pH. A desinfecção ácida promove a ausência microbiana e a circulação de água por tempo previamente determinado assegura a remoção dos resíduos de sanitizantes por completo.

A lavagem de equipamentos e instalações é uma das atividades mais consumidoras de água na indústria de alimentos devido à alta frequência realizada e, uma vez que a utilização de CIP pode despender quantidades significativas de água⁴⁹. Inclusive, a água utilizada na higienização dos equipamentos e mãos dos operadores também deve atender aos padrões sanitários exigidos, conforme as legislações vigentes citadas, evitando possíveis contaminantes carregados pelo solvente e deterioração das tubulações.

A repetição inevitável das práticas de limpeza representa uma parcela significativa da despesa da indústria com água. No entanto, tal atividade gera uma fonte constante de efluente para reuso. Logo, toda água investida na higienização dos maquinários e instalações da produção pode ser tratada e reaproveitada em outro processo dentro da própria planta industrial.

4 METODOLOGIA

A metodologia aplicada na elaboração deste trabalho consiste em uma pesquisa descritiva. A análise qualitativa do caso em estudo traz dados fundamentados no cenário real de uma empresa do setor de alimentos, coletados por meio de técnicas de observação e análise documental. Além disso, buscou-se realizar uma contextualização da implementação do reuso de efluentes e dos processos de tratamento dos efluentes realizado na fábrica de margarinas, bem como as oportunidades identificadas a partir da consolidação do sistema de reuso na unidade.

O estudo de caso foi conduzido em uma unidade industrial, localizada no estado do Ceará, produtora de margarinas e gorduras vegetais, de uma companhia de grande porte do setor de alimentos. A empresa em questão fornece o insumo como matéria-prima para produção de biscoitos, massas, *snacks*, bolinhos etc., além de comercializar margarinas industriais e domésticas no mercado interno e externo. Frente as novas demandas de produção e à necessidade de adequação da fábrica às regulamentações dos órgãos ambientais fiscalizadores bem como à preocupação com a sustentabilidade e o meio ambiente do entorno, houve o interesse em investir na estação de tratamento de efluentes (ETE) a fim de gerar água de reuso para utilização interna.

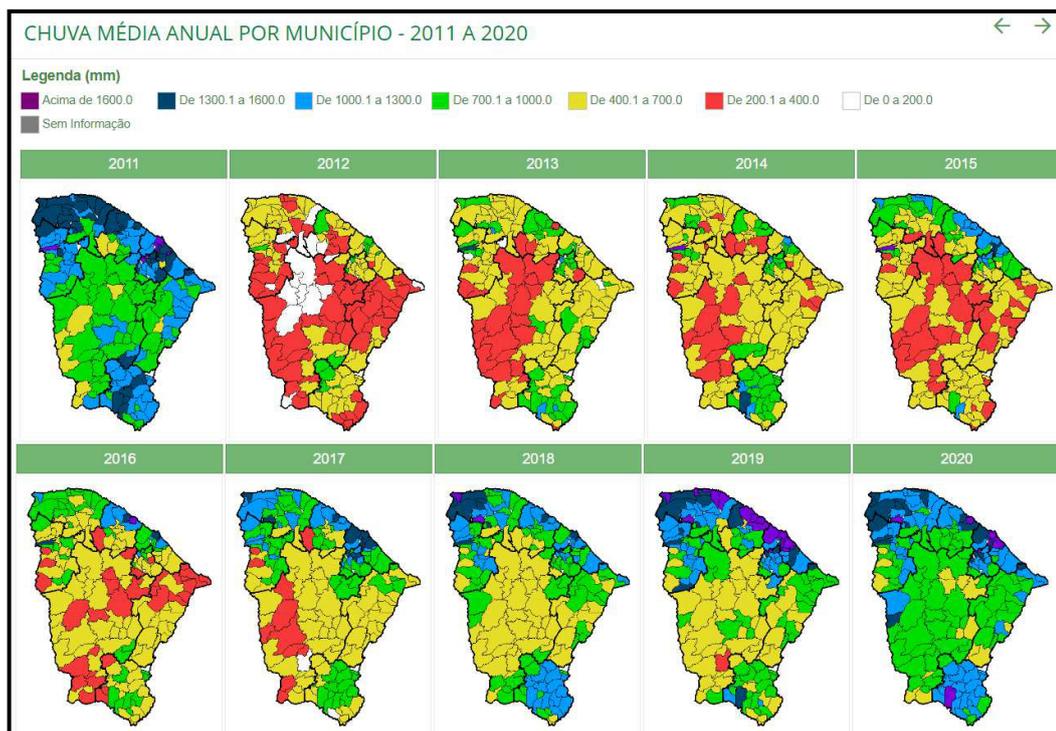
5 ESTUDO DE CASO

5.1 Início do reuso na fábrica de margarinas

A região Nordeste do Brasil é conhecida pelo clima seco e escassez de chuva durante a maior parte do ano. Devido às condições geográficas, os estados do nordeste tendem a passar por longos períodos de estiagem provocando as situações de “seca”. Toda a extensão do estado do Ceará se encontra dentro do Polígono das Secas⁵⁰, região delimitada pelo Estado brasileiro para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas para o combate aos cenários de escassez hídrica provocados pelas secas.

Durante os anos de 2012 a 2016, o Ceará passou por uma das mais graves crises hídricas já registradas. A média de 516 mm durante os cinco anos representa 35,5% abaixo dos valores normais de pluviosidade do estado, segundo registros da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME)⁵¹. A figura 7 traz dados das médias de chuva por ano no período de 2011 a 2020. Na imagem, as cores vermelho e branco é perceptível a época de estiagem sobre a boa parte do estado do Ceará.

Figura 7 - Média de chuva anual por município cearense – 2011 a 2020.



Fonte: FUNCEME, 2020⁵².

Diante das conjunturas, o governo do estado do Ceará impôs medidas de contenção à crise, descritas no Plano de Segurança Hídrica da Região Metropolitana de Fortaleza, elaborado em 2015 e vigorado em 2016, em parceria com a CAGECE, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH), Superintendência de Obras Hidráulicas (SOHIDRA) e apoiado por secretarias públicas envolvidas. O objetivo central era a redução do consumo de água em 20% visando amenizar os efeitos da seca⁵³.

Uma das ações oriundas do Plano de Segurança Hídrica e implementada no estado foi a redução de 20% do abastecimento de água bruta ofertada ao setor industrial da região metropolitana da capital cearense para redirecionamento ao consumo humano, prioritário em situações emergenciais⁵⁴. Assim, as indústrias das regiões afetadas foram obrigadas a adequar parte do processo aos novos limites permitidos pela COGERH.

Na indústria de margarinas estudada, a captação de água dos poços alocados na planta da unidade foi restringida em quase 50% do valor outorgado, limitando-se a 20 m³/h. Tal fato coincidiu com a aquisição de um novo equipamento desodorizador de óleo vegetal para a refinaria da fábrica, em vista do aumento na demanda de produção pela Companhia, o que geraria maior volume de efluente no processo. Na época, a ETE da empresa tinha capacidade para tratar 12 m³/h de efluente oriundo dos processos.

Em consideração a todo o cenário contrastante de expansão da produção e restrição de abastecimento hídrico, viu-se a necessidade de ampliar o porte da ETE e inaugurar uma planta de reuso para substituição parcial do consumo de água nos processos como forma de aproveitamento do volume de efluente gerado.

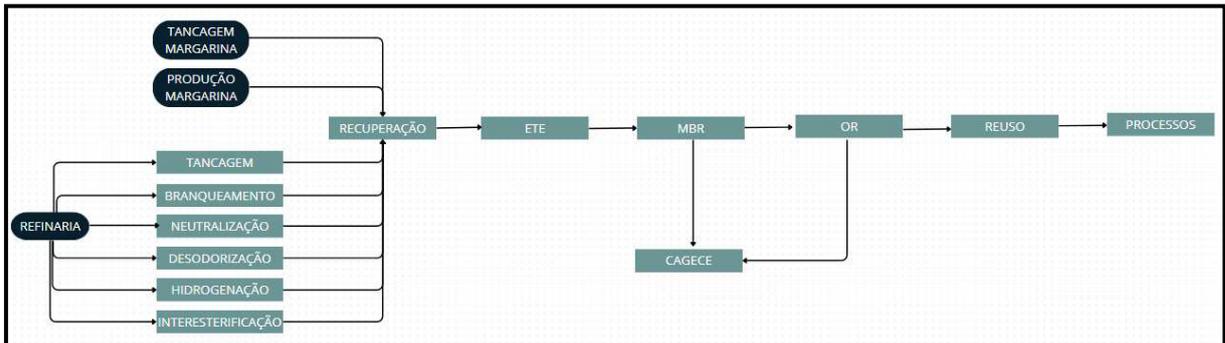
5.2 Tratamento dos efluentes na indústria de margarinas

Os efluentes industriais provenientes dos processos de refino e tratamento do óleo vegetal, tancagem da área de refinaria, higienização dos equipamentos e tancagem da produção de margarinas são encaminhados por tubulação específica e individualizada para a estação de tratamento de efluentes, onde serão juntamente tratados e parcialmente reutilizados nas torres de resfriamento e quando necessário, nas caldeiras industriais. A parte do efluente tratado não aproveitada é direcionada para a CAGECE, mediante pagamento de

taxa em reais por metro cúbico de volume dispensado na rede da concessionária de esgoto do estado.

O tratamento dos efluentes industriais acontece em quatro fases obrigatoriamente: pré-tratamento, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário, conforme retratado na figura 8.

Figura 8 - Fluxograma de origem e tratamento de efluentes líquidos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

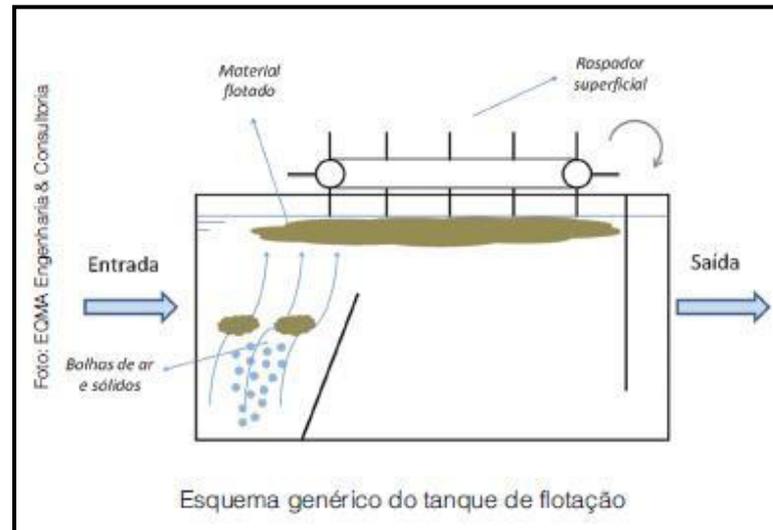
O pré-tratamento transcorre no setor de recuperação (reprocesso), onde todas as correntes de efluente são recebidas em tanques reservatórios e inicialmente submetido à análise de DBO, Demanda Química de Oxigênio (DQO), óleos e graxas, temperatura e pH, seguido da separação de resíduos grosseiros por gravidade para posterior direcionamento à estação de tratamento de efluentes, propriamente dita. O intuito das análises no efluente bruto é regular os parâmetros que podem interferir nas próximas etapas de tratamento.

O tratamento primário na ETE, consiste em processos físico-químicos para remoção de sólidos em suspensão ou sedimentáveis e matéria orgânica, principalmente matéria oleosa. O primeiro tanque separa por densidade a água e o óleo e outros resíduos, sendo a gordura residual coleta para destinação adequada posteriormente. Na sequência, a fase aquosa é encaminhada para a etapa de flotação, para separação dos resíduos por injeção de ar. A figura 9 esquematiza o funcionamento de um tanque de flotação. As microbolhas formadas arrastam as impurezas para a superfície e são removidas por um raspador com rotação constante.

Ainda integrando a etapa primária de tratamento, o efluente segue do flotador para o tanque de equalização, onde é homogeneizado, de forma a garantir a uniformidade do tratamento em todo o volume de efluente. Na sequência, o efluente

tem sua temperatura reduzida ao passar pela torre de resfriamento antes de ser encaminhado para o tanque de neutralização para adequação do pH através da aplicação de produto químico ácido ou básico, a depender da origem do efluente.

Figura 9 – Esquema genérico do tanque de flotação.



Fonte: RUBIM, C. 2013⁵⁵.

Ainda integrando a etapa primária de tratamento, o efluente segue do flotador para o tanque de equalização, onde é homogeneizado, de forma a garantir a uniformidade do tratamento em todo o volume de efluente. Na sequência, o efluente tem sua temperatura reduzida ao passar pela torre de resfriamento antes de ser encaminhado para o tanque de neutralização para adequação do pH através da aplicação de produto químico ácido ou básico, a depender da origem do efluente.

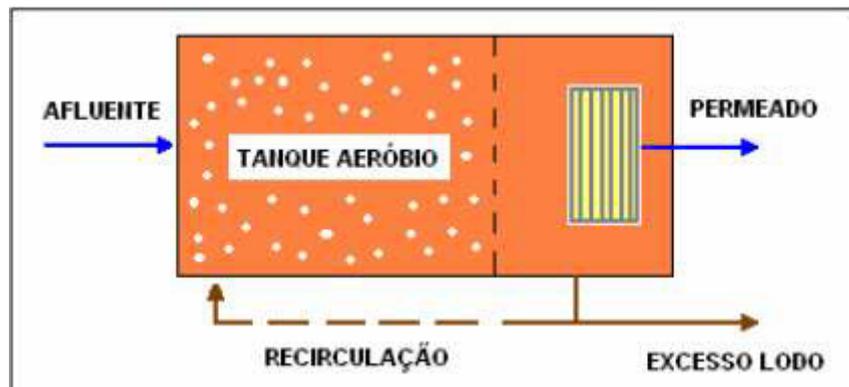
Finalizando a primeira etapa, o efluente é encaminhado para o tanque de coagulação, onde recebe dosagem de agente coagulante para a formação de pequenos coágulos de partículas coloidais. Então, o efluente é direcionado para um segundo flotador e adicionado de polímero catiônico para que os coágulos formados anteriormente se aglutinem em flocos que, através da injeção de ar, serão removidos da superfície por um raspador circulante, gerando o resíduo gorduroso. A parte líquida remanescente é o efluente clarificado que receberá o tratamento biológico.

O tratamento secundário é a fase biológica aeróbia. O efluente clarificado é misturado com lodos ativados em um reator biológico com aeração prolongada para o fornecimento de oxigênio às bactérias presentes no lodo. O oxigênio é

introduzido e difundido pela parte inferior do reator, ao passo que, a matéria orgânica do efluente é oxidada pela microbiota e ocorre a formação de flocos pela aglomeração dos microrganismos. O componente misto efluente-lodo é recirculado entre o reator e a membrana de ultrafiltração (MBR) durante esta etapa do tratamento, conforme ilustrado na figura 10.

A MBR é uma membrana permeável e seletiva que realiza a função de filtração sólido-líquido após tratamento biológico do efluente. O lodo ativado e outras impurezas em suspensão são separados da porção líquida através das fibras microporosas que compõem a membrana. A alta eficiência do sistema e qualidade do permeado são características que tornam a tecnologia MBR uma opção atrativa para finalidades como reuso de efluentes⁵⁶.

Figura 10 - Esquema de MBR convencional.



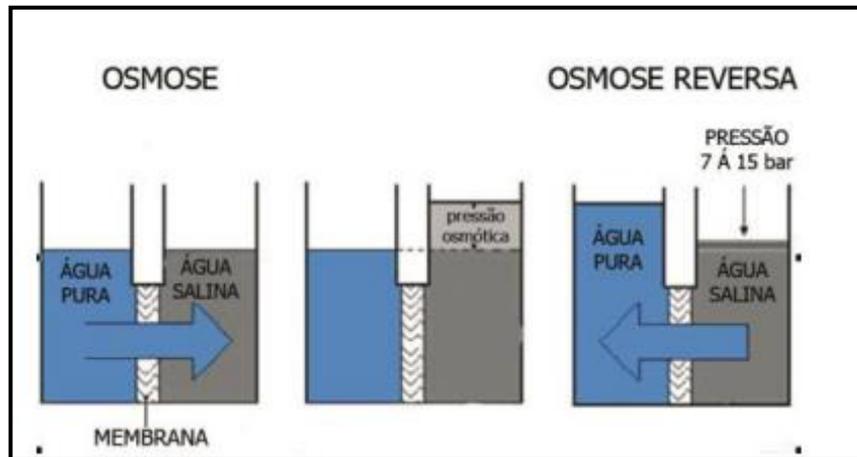
Fonte: MAESTRI, R. 2007⁵⁷.

Devido à capacidade produtiva da ETE da unidade limitada a 20m³/h, na época chuvosa do estado do Ceará (primeiro semestre do ano), o excedente de efluente tratado e filtrado na MBR é dispensado na rede coletora da CAGECE, em conformidade com os padrões estaduais estabelecidos para pH, temperatura, materiais sedimentáveis e flutuantes, substâncias solúveis, cor, sólidos suspensos, coliformes totais, sulfeto, nitrogênio amoniacal, sulfato, DQO, Oxigênio Dissolvido (OD) e cianeto, descritos na resolução COEMA n° 02/2017.

A porção não descartada do efluente, é bombeada para a osmose reversa (OR), terceira e última etapa do tratamento. A figura 11 ilustra o mecanismo de funcionamento da osmose reversa em comparação com o processo de osmose natural. Mediante aplicação de pressão hidráulica superior à pressão osmótica dos fluidos, o fluxo forçado de efluente do meio de maior concentração de sólidos

dissolvidos para o menor, através de uma membrana semipermeável, promove a filtração dos sais orgânicos e impurezas residuais⁵⁸.

Figura 11 - Mecanismo de funcionamento da osmose e osmose reversa.



Fonte: Manual de Operação e Manutenção Osmose Reversa Portátil. VEXER, 2009⁵⁹.

Na saída da osmose, tem-se o fluxo majoritário de permeado (efluente filtrado) e o rejeito salino concentrado, em torno de 25% da vazão de alimentação, que é dispensado diretamente na rede coletora da CAGECE. Na entrada do tratamento terciário são injetados juntos ao efluente, produtos químicos com a finalidade de preservar a eficiência da membrana filtrante, prevenindo incrustações e oxidação dos componentes da membrana, além de biocidas para controle microbiológico.

Ao final de todo o procedimento de recuperação do efluente, o permeado da osmose reversa com as condições ideais definidas para os processos industriais é direcionado para tanques de armazenamento de reuso, para abastecimento das torres de resfriamento, caldeiras e demais aplicações na indústria.

5.2.1 Caracterização dos efluentes gerados na produção de margarinas

O efluente gerado no processo de produção das margarinas é destinado ao reuso e oriundo das limpezas e higienizações recorrentes no setor e parque de tanques de armazenamento (tancagem) da produção. Uma vez que estes processos são padronizados em termos de insumos, produtos químicos e métodos aplicados, o

efluente recebido pode ser considerado estável, devido às características praticamente constantes inerentes a ele.

Ao final do processamento, uma amostra do efluente é coletada e analisada quanto ao perfil, para melhor avaliação das condições de processo, quando necessário. A tabela 2 apresenta os valores e as médias de dois parâmetros principais para identificação do perfil do efluente gerado em cinco dias distintos na produção de margarinas.

Tabela 2 - Caracterização do efluente oriundo da produção de margarinas.

PRODUÇÃO MARGARINA		
pH	Condutividade ($\mu\text{s/cm}$)	Data da análise
8,66	4040,00	16/10/2023
8,60	1129,00	18/10/2023
9,75	4650,00	19/10/2023
6,23	921,00	24/10/2023
8,76	3930,00	27/10/2023
8,4	2934,00	MÉDIA

Fonte: Indústria de margarinas estudada.

De modo geral, o pH do efluente se mantém na faixa de alcalino. A variação é decorrente dos produtos aplicados nos processos de limpeza dos equipamentos. A condutividade elétrica, variando até pouco mais de 4 mil $\mu\text{s/cm}$, é uma medida para a concentração de sais dissolvidos no efluente, provenientes do uso de soda cáustica na higienização e se encontra dentro da faixa ideal para tratamento do efluente.

5.2.2 Caracterização dos efluentes gerados no refino do óleo vegetal

As características dos efluentes gerados no refino do óleo vegetal variam de acordo com a matéria prima processada, a etapa do processo e o tratamento aplicado. Sendo assim, o efluente destinado ao reuso é liberado em partes, ao final de cada etapa, para melhor avaliação das condições de processo e dos efluentes quando necessário. Os efluentes são todos direcionados para a mesma rede coletora da ETE.

A tabela 3 relaciona as médias das principais características físico-químicas dos efluentes gerados no processo produtivo e CIP da refinaria em quatro dias distintos. As análises são realizadas com amostras retiradas do efluente nos pontos de coleta próximos às saídas de cada etapa do processo.

Tabela 3 - Caracterização do efluente oriundo do refino de óleo vegetal.

REFINARIA		
Processo	Parâmetro	
		pH Condutividade ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
	Neutralização	9,2 835,0
	Desodorização 1	11,9 3374,0
	Desodorização 2	11,7 7824,0
	Desodorização 3	8,6 565,0
	CIP	8,6 541,6

Fonte: Indústria de margarinas estudada.

Em geral, os efluentes apresentam caráter básico, acima do ideal para receber o tratamento, demandando adequação maior no processo. A condutividade, com ampla faixa de variação entre as etapas do refino, se deve ao processamento realizado, contudo, dentro dos parâmetros médios para o tratamento na ETE de até 8 mil $\mu\text{s}/\text{cm}$.

5.3 – Qualidade do efluente industrial tratado

O intuito de tratar o efluente dos processos com a finalidade de reuso é utilizá-lo como substituto da água captada nos poços para abastecimento da caixa d'água e posterior consumo humano e nas produções, visto que não é exigido o mesmo padrão de qualidade para as aplicações do reuso, uma vez que não haverá contato com os alimentos produzidos e/ou consumidos pelos colaboradores na indústria.

Todavia, especialmente na água de reuso, alguns parâmetros além de condutividade elétrica e pH precisam ser monitorados, de modo a evitar a formação de incrustação e corrosão dos equipamentos e tubulações, pelo acúmulo de minerais resultante do processo evaporativo⁶⁰. Por isso, em vista dos padrões

estabelecidos pela resolução vigente no estado do Ceará, também se leva em consideração as especificidades dos processos das torres de resfriamento e caldeiras, para determinação dos parâmetros ideais e aplicação do efluente tratado. Condutividade elétrica, pH, dureza, cloreto, dióxido de silício e fosfato são os principais fatores analisados que podem interferir na eficiência do processo e estado de conservação dos equipamentos.

A condutividade elétrica de soluções é a capacidade de um meio conduzir corrente elétrica e depende, entre outros fatores, da concentração de íons minerais. Uma alta condutividade significa alto teor de sais dissolvidos, logo, elevado potencial em causar corrosão e incrustação nas tubulações e equipamentos pela presença dos íons de sais^{61,62}. A condutividade da água para utilização nos processos deve ser menor que 500 μs .

O pH é a medida do potencial hidrogeniônico de uma solução aquosa, ou seja, expressa as pequenas concentrações de íons de hidrogênio na solução⁶³. Com isso, é possível identificar o nível de acidez da solução. Para aplicação nos processos, a faixa ideal de pH é em torno de 7,5 a 8, de modo a controlar a presença de elevada acidez ou íons alcalinos na água, evitando a formação de incrustações⁶⁴.

A análise de dureza identifica a quantidade de íons de Cálcio e Magnésio dissolvidos na solução, sendo uma das mais frequentes causas de deterioração de equipamentos por incrustação. O valor máximo desejado na água das torres e caldeiras de resfriamento é até 10 mg/L.

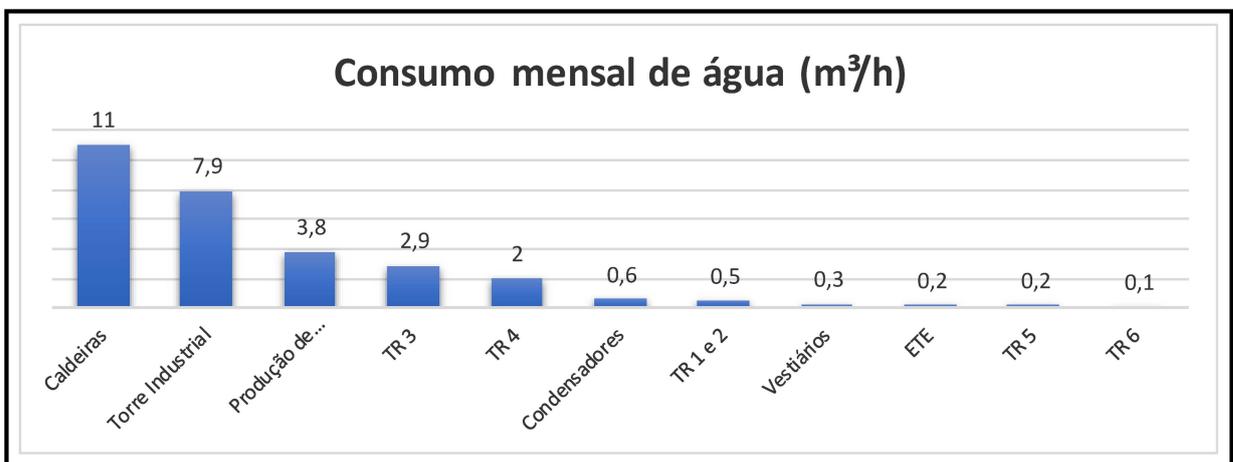
O cloreto, sendo um eletrólito forte e abundante nas águas residuárias, tem elevado potencial corrosivo nos equipamentos e deve ser regulado para conter a deterioração do material. O limite estipulado para a presença do íon é de 45 mg/L⁶⁵.

A sílica é um mineral da natureza que, combinada a outros sais, pode causar incrustações significativas e de difícil remoção⁶⁶. Geralmente mede-se a sílica através do teor de dióxido de silício (SiO_2) e para o processo, não foi definido um valor máximo permitido, sendo a média de 2,5 mg/L. Da mesma forma, os fosfatos podem precipitar e danificar os equipamentos, sendo monitorados com valor máximo de 5 mg/L.

5.4 Aplicação do reuso na indústria de margarinas

Na indústria de margarinas avaliada, o maior consumo de água, em geral, é atribuído às caldeiras industriais, demandando em média 11 m³/h de água mensalmente. Contudo, considerando todas as torres de resfriamento e condensadores instalados na fábrica, o consumo se torna ainda maior, ocupando o lugar de maior utilização de água, com média de 14,2 m³/h no mês, sendo 7,9 m³/h somente para abastecimento da torre industrial, torre de maior vazão para resfriamento dos processos na fábrica. O gráfico 1 apresenta os valores médios em m³/h para o consumo mensal de água em alguns setores da fábrica de margarinas. A sigla TR, no gráfico, significa torre de resfriamento.

Gráfico 1 – Consumo médio de água por setores da fábrica.



Fonte: Indústria de margarinas estudada.

Nos ciclos de resfriamento nas torres e condensadores, uma parte do fluido refrigerante (efluente tratado) evapora naturalmente, reduzindo seu volume e concentrando o teor de sais. Portanto, as torres são constantemente abastecidas à medida que o efluente se torna mais concentrado.

Em razão do alto volume de água exigido pelas caldeiras industriais e da capacidade de produção de reuso limitada na ETE, a alimentação das caldeiras com o efluente tratado é realizada como forma de suprir parte do abastecimento quando a demanda dos processos é maior que a capacidade de fornecimento através das caixas d'água da fábrica. Logo, o reuso funciona como complemento ao consumo hídrico das caldeiras.

Além das aplicações mencionadas, o reuso também é usufruído nas bombas geradoras de vácuo de alguns equipamentos, tanques de água quente para processos sem contato direto com o alimento e irrigação dos jardins nas

dependências da fábrica de margarinas. A figura 12 é uma fotografia da área verde da fábrica, onde identifica-se o reuso de água e faz-se um alerta quanto a utilização para outros fins.

Figura 12 - Placa de aviso – Reuso de água para irrigação do jardim.



Fonte: Indústria de margarinas.

A média mensal de efluente tratado reutilizado é 10,2 m³/h, o que representa, em média, 25% do consumo total de água por mês permitido na unidade. Considerando que a fábrica se mantém ativa 24 horas por dia durante o ano inteiro, infere-se que esta deixa de consumir 88.128.000 litros de água bruta por ano. Considerando-se ainda a taxa cobrada pela COGERH de R\$1,00 o metro cúbico de água captado nos poços da fábrica, tem-se o desconto de R\$88.128,00 da despesa hídrica anual devido ao reuso.

Outra vantagem e ainda mais significativa para o reuso de efluente nos processos internos, é a redução do volume de lançamento de efluentes. Considerando a mesma média de reuso e valendo-se da taxa da CAGECE de R\$ 23,00 o metro cúbico de efluente descartado, anualmente a fábrica economiza neste quesito R\$2.026.944,00.

5.4 Oportunidades no processo de reuso de efluente industrial na fábrica

Apesar de estar ganhando espaço no contexto mundial e no Brasil, a técnica de reuso de águas residuárias ainda requer investimentos para aprimoramento dos resultados, difusão da potencialidade e conscientização da população quanto a eficácia dos tratamentos, além de políticas públicas de incentivo ao uso, especialmente nos setores privados. À nível nacional, ainda não existe uma regulamentação e padronização acerca do reuso, de forma a garantir a segurança do reaproveitamento⁶⁷.

Como toda mudança no processo, a inauguração da planta de reuso na ETE da fábrica demandou um período de implementação e adaptação às novas condições. Atualmente, com o reuso de efluentes consolidados na unidade, algumas oportunidades de melhoria puderam ser identificadas e carecem de investimentos e projetos estruturados para materializá-las.

Uma possibilidade é a expansão de atendimento do reuso. Hoje a distribuição majoritária do recurso para o setor de utilidades industriais, consome a maior parte do efluente tratado. Logo, expandir para outras finalidades, como em sanitários, lavagem de ambientes e hidrantes requer aumento da capacidade produtiva e de armazenagem da ETE e isto, requer espaço útil para se concretizar, o que pode ser um impedimento devido à insuficiência de área não construída na unidade.

Outra adversidade relacionada ao aumento de clientes do reuso na indústria, é a necessidade de desenhar novas tubulações individualizadas que se conectem ao tanque de efluente tratado e seja distribuído pela planta industrial, visto que não pode haver contato entre água potável, água de reuso e efluentes de processos.

O tratamento do efluente por osmose reversa gera um rejeito extremamente concentrado em sais que é descartado diretamente na rede da

CAGECE. Assim, ter outros destinos além do processo industrial, para direcionar a água salina da osmose corresponderia a outra oportunidade atrelada ao processo de reuso. Da mesma forma, os efluentes das torres de resfriamento e caldeiras também poderiam ser reaproveitados caso houvesse um tratamento alternativo de inativação dos produtos químicos bactericidas utilizados nos processos de utilidades, que não prejudicasse os microrganismos do tratamento convencional. Com isso, é possível reduzir ainda mais a despesa da fábrica com os efluentes gerados.

6 CONCLUSÃO

O reuso de efluentes é um tema em ascensão devido às tendências de sustentabilidade pleiteadas ao redor do mundo. A necessidade das organizações industriais de incorporar práticas ambientalmente favoráveis coloca a ferramenta apresentada neste trabalho em evidência. Nota-se também o interesse público em estabelecer metas e diretrizes sobre o reuso e propagar o conhecimento e aceitação.

Diante do caso exposto neste trabalho, conclui-se que o aproveitamento do efluente industrial após tratamento adequado, em processos de apoio à produção de alimentos é uma opção possível e sustentável para as indústrias, especialmente de grande porte. O investimento na construção de uma planta de reuso traz redução no consumo hídrico, otimização aos processos e retorno financeiro ao longo dos anos através da diminuição das despesas com a captação de água bruta e descarte de efluentes.

Para garantir a eficácia na aplicação do reuso como reciclagem interna de água residuárias, deve-se estruturar as etapas de tratamento do efluente de acordo com os processos de origem e destino do reuso e estabelecer parâmetros de monitoramento da qualidade que atendam às exigências legais e específicas de cada processo, além de dispor de um layout industrial adequado às necessidades da indústria.

REFERÊNCIAS

- 1 BRASIL. Agência Nacional de Águas. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. Brasília, 2019. 75 p. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/ana_manual_de_usos_consuntivos_da_agua_no_brasil.pdf?fbclid=IwAR3sVJ4L8CZRinWNOiBVxatH9nJJzLQyigAyUGyO_C3Nsn74mhd2HV-ZGkA. Acesso em: 27 ago. 2023.
- 2 MIERZWA, José Carlos; HESPANHOL, Ivanildo. **Água na Indústria: uso racional e reúso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 144 p.
- 3 EMBRAPA (Brasil). **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS: embrapa e a agenda 2030**. EMBRAPA E A AGENDA 2030. Disponível em: <https://www.embrapa.br/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-ods/o-que-sao-os-ods#:~:text=Os%2017%20Objetivos%20de%20Desenvolvimento,guiar%20a%20humanidade%20at%C3%A9%202030>. Acesso em: 28 ago. 2023.
- 4 CAMPOS, Ana Cristina. **Todos os países da ONU adotam a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-09/paises-adotam-na-onu-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel#:~:text=Os%20193%20Estados%2DMembros%20da,at%C3%A9%20o%20fim%20deste%20ano>. Acesso em: 28 ago. 2023.
- 5 TELLES, Dirceu D'Alkmin; COSTA, Regina Pacca. **Reúso de Água: conceitos, teorias e práticas**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 408 p.
- 6 VITORATTO, Elso; SILVA, José Orlando Paludetto. **Reuso de Água na Indústria**. CRQ, São Paulo, 2004. Disponível em: https://www.crq4.org.br/informativomat_485. Acesso em: 12 ago. 2023.
- 7 WOOD, James. **Global Potable Reuse Case Study 4: Windhoek, Namibia: a report of a study funded by the Australian water recycling centre of excellence**. Sydney: Australian Water Recycling Centre of Excellence, 2014. 10 p. Disponível em: <https://vuir.vu.edu.au/32234/1/WQ+Case+Study+4+-+Windhoek+Namibia+100815.pdf>. Acesso em: 01 set. 2023.
- 8 BRASIL. Agência Nacional de Águas. Ministério do Meio Ambiente. **CONJUNTURA dos Recursos Hídricos no BRASIL 2018: Informe anual**. Brasília, 2019. 88 p. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe_conjuntura_2018.pdf. Acesso em: 14 ago. 2023.
- 9 BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040**. Brasília, 2022. 2 v. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/plano-nacional-de->

recursos-hidricos-1/pnrh_2022_para_baixar_e_imprimir.pdf. Acesso em: 10 set. 2023.

10 SWITZERLAND. WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Reuse of Effluents:** methods of wastewater treatment and health safeguards. Geneva, 1973. 64 p. (517). Disponível em: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/41032/WHO_TRS_517.pdf?isAllowed=y&sequence=1. Acesso em: 14 set. 2023.

11 BRASIL. **Portaria nº2.914, 12 de dezembro de 2011.** Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF. Ministério da Saúde, 2011. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 14 nov. 2023.

12 ITALY. UNESCO WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. (org.). **The United Nations world water development report 2021:** valuing water; facts and figures. Perugia, 2021. 11 p. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751>. Acesso em: 23 out. 2023.

13 BRASIL. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF. CONAMA, 2005. Disponível em: <https://www.mpce.mp.br/wp-content/uploads/2015/12/Resolu%C3%A7%C3%A3o-CONAMA-n%C2%BA-357-05-Classifica%C3%A7%C3%A3o-dos-corpos-de-%C3%A1gua-e-as-condi%C3%A7%C3%B5es-e-padr%C3%B5es-de-lan%C3%A7amento-de-efluentes.pdf>. Acesso em: 7 out. 2023.

14 BRASIL. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília, DF. Ministério do Meio Ambiente, 2011. Disponível em: <https://www.mpce.mp.br/wp-content/uploads/2015/12/Resolu%C3%A7%C3%A3o-CONAMA-n%C2%BA430-2011-Complementa-e-altera-a-Resolu%C3%A7%C3%A3o-n%C2%BA-357-2005.pdf>. Acesso em: 17 out. 2023.

15 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9800:** Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. Disponível em: <https://supremoambiental.com.br/wp-content/uploads/2018/07/nbr-n.-9.800-abnt-1987.-critérios-para-lancamento-de-efluente-liquidos-industriais.pdf>. Acesso em: 17 out. 2023.

16 VALENTE, José Pedro Serra; PADILHA, Pedro de Magalhães; SILVA, Assunta Maria Marques da. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de

poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP. **Ecletica Quimica**, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 49-66, 8 dez. 1997. *Ecletica Quimica*. <http://dx.doi.org/10.26850/1678-4618eqj.v22.1.1997.p49-66>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eq/a/8QYrd8YdJNYZ6SmTFyyJtRx/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 03 out. 2023.

17 MORKER, Hiralkumar; SAINI, Bharti; DEY, Anirban. Role of membrane technology in food industry effluent treatment. **Materials Today: Proceedings**, [S.L.], v. 77, p. 314-321, 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.406>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785322072571?fr=R-R-2&ref=pdf_download&rr=82639dd63b000303. Acesso em: 4 set. 2023.

18 JOUDAH, Al-Saadi Anmar; RACOVITEANU, Gabriel. Membrane Bioreactors Used for Treatment of Food Industry Effluents. **E3S Web Of Conferences**, [S.L.], v. 85, p. 07013, 2019. EDP Sciences. <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/20198507013>. Disponível em: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/11/e3sconf_enviro2018_07013/e3sconf_enviro2018_07013.html. Acesso em: 16 set. 2023.

19 GIORDANO, Gandhi. TRATAMENTO E CONTROLE DE EFLUENTES INDUSTRIAIS. **Abes**, Rio de Janeiro, v. 4, p. 1-84, jan. 2004. Disponível em: <http://metalcleanaguas.com.br/pdf/tratamento-controle-efluentes-industriais.pdf>. Acesso em: 18 set. 2023.

20 SILVA, Gilvan; DUTRA, Paulo Ricardo Santos; CADIMA, Ivan Marques. **Higiene na Indústria de Alimentos**. Recife: EDUFRPE, 2010. 134 p.

21 BRASIL. **Portaria nº888, 04 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF. Ministério da Saúde, 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 31 out. 2023.

22 AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Gov.br, 2021. **Quem Somos**. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/orgaos/agencia-nacional-de-vigilancia-sanitaria#:~:text=Tem%20por%20finalidade%20institucional%20promover,como%20o%20controle%20de%20portos%2C>. Acesso em: 24 set. 2023.

23 ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 275, de 21 de outubro de 2002**. Dispõe sobre o regulamento técnico de procedimentos operacionais padronizados aplicados aos estabelecimentos produtores/industrializadores de alimentos e a Lista de Verificação das Boas Práticas de Fabricação em estabelecimentos produtores/industrializadores de alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 out. 2002. Seção 1, p. 50-60.

24 BRASIL. **Resolução nº016, 08 de maio de 2001.** Dispõe sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos. Brasília, DF. Conselho Nacional de Recursos Hídricos, 2021. Disponível em: <https://www.mpce.mp.br/wp-content/uploads/2015/12/Resolu%C3%A7%C3%A3o-CNRH-n%C2%BA016-2001-Outorga-de-direito-de-uso-de-recursos-h%C3%ADdricos.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2023.

25 BRASIL. **Resolução nº048, 21 de março de 2005.** Estabelece critérios gerais para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Brasília, DF. Ministério do Meio Ambiente, 2005. Disponível em: <https://www.mpce.mp.br/wp-content/uploads/2015/12/Resolu%C3%A7%C3%A3o-CNRH-n%C2%BA048-2005-Cobran%C3%A7a-pelo-uso-dos-recursos-h%C3%ADdricos.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2023.

26 BRASIL. **Resolução nº140, 21 de março de 2012.** Estabelece critérios gerais para outorga de lançamento de efluentes com fins de diluição em corpos de água superficiais. Brasília, DF. Ministério do Meio Ambiente, 2012. Disponível em: <https://www.mpce.mp.br/wp-content/uploads/2015/12/Resolu%C3%A7%C3%A3o-CNRH-n%C2%BA140-2012-Outorga-lan%C3%A7amento-de-efluentes-dilui%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 11 set. 2023.

27 BRASIL. **Lei nº6.437, 20 de agosto de 1977.** Configura infrações à legislação sanitária federal, estabelece as sanções respectivas, e dá outras providências. Brasília, DF. Congresso Nacional, 1977. Disponível em: https://www.gov.br/ebserh/pt-br/hospitais-universitarios/regiao-sul/husm-ufsm/governanca/superintendencia/setor-de-gestao-da-qualidade/nveh/legislacao/lei_6437_77.pdf/view. Acesso em: 22 out. 2023.

28 MIERZWA, José Carlos. **O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria:** estudo de caso da Kodak brasileira. 2002. 367 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-14112002-203535/publico/TeseJCM.pdf>. Acesso em: 26 out. 2023.

29 CEARÁ. **Lei nº 14.844, 28 de dezembro de 2010.** Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos - SIGERH, e dá outras providências. Fortaleza: Palácio Iracema, 2010. Disponível em: <https://belt.al.ce.gov.br/index.php/legislacao-do-ceara/organizacao-tematica/desenv-regional-recursos-hidricos-minas-e-pesca/item/379-lei-n-14-844-de-28-12-10-do-30-12-10#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20Pol%C3%ADtica%20Estadual,GVERNADOR%20DO%20ESTADO%20DO%20CEAR%C3%81>. Acesso em: 30 set. 2023.

30 CEARÁ. **Lei nº16.033, 20 de junho de 2016.** Dispõe sobre a política de reúso de água não potável no âmbito do estado do Ceará. Fortaleza: Palácio da Abolição, 2016. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/90/2019/11/LEI-N%C2%BA-16.033-DE-20-DE-JUNHO-DE->

2016-DISPOE-SOBRE-A-POL%C3%8DTICA-DE-REUSO-DE-AGUA-NAO-POTAVEL-NO-AMBITO-DO-ESTADO-DO-CEARA.pdf. Acesso em: 27 ou. 2023.

31 CEARÁ. **Resolução nº 02, 02 de fevereiro de 2017**. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as portarias semace nº154, de 22 de julho de 2002 e nº111, de 05 de abril de 2011, e altera a portaria semace nº151, de 25 de novembro de 2002. Fortaleza, 2017. Disponível em: <https://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/46/2019/09/COEMA-02-2017.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2023.

32 SILVA, Thaís Jordânia; BARRERA-ARELLANO, Daniel; RIBEIRO, Ana Paula Badan. Margarines: historical approach, technological aspects, nutritional profile, and global trends. **Food Research International**, [S.L.], v. 147, p. 110486, set. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110486>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996921003859?via%3Dihub>. Acesso em: 13 jun. 2023.

33 DAELS, Eva; RIGOLLE, Annelien; RAES, Katleen; BLOCK, Jan de; FOUBERT, Imogen. Monoglycerides, polyglycerol esters, lecithin, and their mixtures influence the onset of non-isothermal fat crystallization in a concentration dependent manner. **European Journal Of Lipid Science And Technology**, [S.L.], v. 117, n. 11, p. 1745-1753, 14 jul. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ejlt.201400554>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ejlt.201400554>. Acesso em: 1 jun. 2023.

34 GIACOMOZZI, Anabella S.; PALLA, Camila A.; CARRÍN, María E.; MARTINI, Silvana. Physical Properties of Monoglycerides Oleogels Modified by Concentration, Cooling Rate, and High-Intensity Ultrasound. **Journal Of Food Science**, [S.L.], v. 84, n. 9, p. 2549-2561, 21 ago. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.14762>. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1750-3841.14762>. Acesso em: 2 jul. 2023.

35 MANDARINO, José Marcos Gontijo; ROESSING, Antonio Carlos. **Tecnologia para produção do óleo de soja**: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos. Londrina: Embrapa, 2001. 40 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/462866/1/doc171.pdf>. Acesso em: 13 set. 2023.

36 NUNES, Cleiton Antônio. **Tecnologia de óleos e gorduras para engenharia de alimentos**. Lavras: Ufla, 2013. 69 p. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/41440/1/TA%2071%20-%20Tecnologia%20de%20%C3%B3leos%20e%20gorduras%20para%20engenharia%20de%20alimentos.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2023.

37 TIRITAN, Maria; BEUX, Simone. **Controle da Qualidade do óleo de soja degomado** – Artigo de revisão. Pato Branco, PR. 2006.

38 PRADO, Eduardo Rasi de Almeida; LEMOS, Flavio Luis; LARA, Ivan; CLARO, Eduan de Oliveira; JORGE, Luiz Mario de Matos. **REFINO DE ÓLEOS VEGETAIS UTILIZANDO LAVAGEM ÁCIDA COM RECIRCULAÇÃO**. *Engevista*, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 384, 3 jan. 2014. Pro Reitoria de Pesquisa, Pos Graduacao e Inovacao - UFF. <http://dx.doi.org/10.22409/engevista.v16i3.523>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/326793635_REFINO_DE_OLEOS_VEGETAIS_UTILIZANDO_LAVAGEM_ACIDA_COM_RECIRCULACAO. Acesso em: 10 ago. 2023.

39 D'ARCE, Marisa Aparecida Bismara Regitano. O processamento industrial do óleo vegetal e do farelo. *Visão Agrícola*, [S.l.], n. 5, p. 1-2, jan. 2006. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va05-agronegocio04.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

40 RIBEIRO, Ana Paula Badan; MOURA, Juliana Maria Leite Nóbrega de; GRIMALDI, Renato; GONÇALVES, Lireny Aparecida Guaraldo. Interesterificação química: alternativa para obtenção de gorduras zero trans. *Química Nova*, [S.L.], v. 30, n. 5, p. 1295-1300, out. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422007000500043>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/YZkyX6j8cVSVvrJBbyLNWRy/?lang=pt>. Acesso em: 12 set. 2023.

41 DOMBROYSK, Lucas. **Manutenção de utilidades**: o que é, importância e diferenças. Tractian, [s.d]. Disponível em: <https://tractian.com/blog/manutencao-utilidades-industrial-importancia-diferencas>. Acesso em: 22 set. 2023.

42 TAMIETTI, Ricardo Prado. **Engenharia de projetos industriais**. Minas Gerais: Unileste, [s.d]. 528 p.

43 CYRINO, Luis. **Entenda o funcionamento das Caldeiras Industriais**. Tractian, [s.d]. Disponível em: <https://tractian.com/blog/entenda-o-funcionamento-das-caldeiras-industriais>. Acesso em: 14 out. 2023.

44 SENA, Marcelo Carvalho. **Simulação computacional de um vazamento em um sistema industrial de refrigeração amônia-água**. 2020. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2020. Disponível em: https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/24000/1/PG_COENQ_2020_1_10.pdf. Acesso em: 02 out. 2023.

45 EVAPCO. **Condensador Evaporativo cATC**. Disponível em: <https://www.evapco.com.br/pt-br/products/condensers/condensador-evaporativo-catc>. Acesso em: 01 nov. 2023.

46 BRASIL. **Portaria nº326, 30 de julho de 1997**. Estabelece os requisitos gerais (essenciais) de higiene e de boas práticas de fabricação para alimentos produzidos /fabricados para o consumo humano. Brasília, DF. Ministério da Saúde, 1997. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-de-produtos-origem->

vegetal/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/portaria-no-326-de-30-de-julho-de-1997.pdf/view. Acesso em: 19 set. 2023.

47 LI, Guozhen; TANG, Llewellyn; ZHANG, Xingxing; DONG, Jie. A review of factors affecting the efficiency of clean-in-place procedures in closed processing systems. **Energy**, [S.L.], v. 178, p. 57-71, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.123>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036054421930756X?via%3Dihub>. Acesso em: 28 out. 2023.

48 THOMAS, Amitha; SATHIAN, C. T. Cleaning-In-Place (CIP) System in Dairy Plant- Review. **Iosr Journal Of Environmental Science, Toxicology And Food Technology**, [S.L.], v. 8, n. 6, p. 41-44, 2014. IOSR Journals. <http://dx.doi.org/10.9790/2402-08634144>. Disponível em: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jestft/papers/vol8-issue6/Version-3/H08634144.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2023.

49 LINDGAARD, Christian Bøge; RASMUSSEN, Morten Arendt; ENGELSEN, Søren Balling; THAYSEN, Dorrit; BERG, Frans van Den. Moving from recipe-driven to measurement-based cleaning procedures: monitoring the cleaning-in-place process of whey filtration units by ultraviolet spectroscopy and chemometrics. **Journal Of Food Engineering**, [S.L.], v. 126, p. 82-88, abr. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.037>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877413005554?fr=R-R-2&ref=pdf_download&rr=827b194a5ebd00d5. Acesso em: 31 out. 2023.

50 SOARES, Edmilson. Seca no Nordeste e a transposição do rio São Francisco. **Revista Geografias**, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 75-86, 1 dez. 2013. Universidade Federal de Minas Gerais - Pró-reitora de Pesquisa. <http://dx.doi.org/10.35699/2237-549x.13362>. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13362/10594>. Acesso em: 02 nov. 2023.

51 FUNCEME. **Ceará passa pela pior seca prolongada desde 1910**. 2016. Disponível em: <http://www.funceme.br/?p=1403>. Acesso em: 02 nov. 2023.

52 FUNCEME. **Chuva média anual por município - 2011 a 2020**, 2020. Disponível em: <http://www.funceme.br/app-calendario/anual/municipios/media/2020>. Acesso em: 03 nov. 2023.

53 RODRIGUES, André. **Governo do Ceará inaugura obra do Plano de Segurança Hídrica que garante mais água para a população da RMF**. SOHIDRA, 2017. Disponível em: <https://www.sohidra.ce.gov.br/2017/01/26/governo-do-ceara-inaugura-obra-do-plano-de-seguranca-hidrica-que-garante-mais-agua-para-a-populacao-da-rmf/>. Acesso em: 02 nov. 2023.

54 CEARÁ. **Plano De Segurança Hídrica Da Região Metropolitana De Fortaleza**. Ministério Público do Ceará. Fortaleza, 28 de julho de 2016.

Disponível em: <https://www.mpce.mp.br/wp-content/uploads/2016/05/PLANO-SEGURANCA-HIDRICA-RMF-CAGECE-PDF.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2023.

55 RUBIM, Cristiane. O trabalho da flotação e aeração. **TAE: Especializada em tratamento de água & efluentes**, [S.l.], v. 12, abr. 2013. Disponível em: <https://www.revistatae.com.br/Artigo/352/o-trabalho-da-flotacao-e-aeracao>. Acesso em: 05 nov. 2023.

56 PEREIRA, A. R. (2016). **Reator biológico com membrana (MBR) aplicado ao tratamento de esgotos gerados por unidades residenciais unifamiliares**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM - 190/2016, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 164p.

57 MAESTRI, Rodrigo Silva. **Biorreator à membrana como alternativa para o tratamento de esgotos sanitários e reúso da água**. 2007. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologias de Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/89968/244815.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 nov. 2023.

58 GOUVEA, Carlos Alberto Klimeck; BERRETTA-HURTADO, Ana Lucia; BORZIO, Rivelino; FOLLETTTO, Marchiel Augusto. Uso de água tratada por osmose reversa para a Geração de vapor em indústria de tabaco. **Revista Produção Online**, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 522-536, 13 jun. 2012. Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO. <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v12i2.941>. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/941>. Acesso em: 06 nov. 2023.

59 VEXER. **Manual de operação e manutenção osmose reversa portátil**. Curitiba, 2009.

60 LI, Heng *et al.* Control of mineral scale deposition in cooling systems using secondary-treated municipal wastewater. **Water Research**, [S.L.], v. 45, n. 2, p. 748-760, jan. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2010.08.052>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135410006287?via%3Dihub>. Acesso em: 20 nov. 2023.

61 BENTO, Gabriel da Silva. **Influência das variáveis de operação em torres de resfriamento: uma revisão bibliográfica**. 2021. 37 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2021. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/27575/1/variaveistorresresfriamento.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2023.

62 VIEIRA, Franciele Cristine. **Viabilidade Técnica e Econômica do Reaproveitamento de Efluentes de Torres de Resfriamento**. 2011. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em:

<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/38411/000823845.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 nov. 2023.

63 ANDRADE, João Carlos de. Química analítica básica: os conceitos ácido-base e a escala de ph. **Revista Chemkeys**, [S.L.], n. 1, p. 1-6, 17 set. 2018. Universidade Estadual de Campinas.
<http://dx.doi.org/10.20396/chemkeys.v0i1.9642>. Disponível em:
<https://econtents.bc.unicamp.br/inpec/index.php/chemkeys/article/view/9642/5061>. Acesso em: 10 nov. 2023.

64 III, Hebert W. Stanford. **HVAC Water Chillers and Cooling Towers: fundamentals, application and operation**. Raleigh: Marcel Dekker, 2003. 309 p.

65 MOZART, Patricia C. **Corrosão por Cloreto em Aços Inoxidáveis Duplex (AID's)**. Departamento de Engenharia Química e de Materiais, PUC, Rio de Janeiro. [s.d]. Disponível em: https://www.puc-rio.br/ensinopesq/ccpg/pibic/relatorio_resumo2017/relatorios_pdf/ctc/DEQM/DEQM-Patricia%20Camelo%20Mozart.pdf. Acesso em: 21 nov. 2023.

66 ROSA, Débora Francesch da. **Aproveitamento de membranas de osmose inversa descartadas da indústria para o reuso da purga de torres de resfriamento**. 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Aelgre, 2012. Disponível em:
<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/61034/000863634.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 21 nov. 2023.

67 MOURA, Priscila Gonçalves *et al.* Água de reúso: uma alternativa sustentável para o brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 25, n. 6, p. 791-808, dez. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-4152202020180201>. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/esa/a/7888VSVHBqZK7Bnz85X5Z8x/>. Acesso em: 22 nov. 2023.