



UNIRB-CENTRO UNIVERSITÁRIO ALAGOINHAS

BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ELIZABETE CRISTINA CERQUEIRA CARNEIRO

TRATAMENTO DE EFLUENTES DENTRO DA INDÚSTRIA CERVEJEIRA

Alagoinhas

2021

ELIZABETE CRISTINA CERQUEIRA CARNEIRO

TRATAMENTO DE EFLUENTES DENTRO DA INDÚSTRIA CERVEJEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia de Produção do UNIRB-Centro Universitário Alagoinhas

Orientador(a): Prof. M.e. Reiner Requião de Souza

Alagoinhas

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

BIBLIOTECA ZUZA PEREIRA/UNIRB – CENTRO UNIVERSITÁRIO ALAGOINHAS

Carneiro, Elizabete Cristina Cerqueira
Tratamento de Efluentes Dentro da Indústria Cervejeira / Elizabete Cristina
Cerqueira Carneiro – Alagoinhas, 2021.
56f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia de Produção,
UNIRB – Centro Universitário Alagoinhas.

Orientador: Prof. M.e. Reiner Requião de Souza

1. Tratamento de Efluente. 2. Indústria. 3. Efluente de Cervejaria. I. Título

CDD 670.42

ELIZABETE CRISTINA CERQUEIRA CARNEIRO

TRATAMENTO DE EFLUENTES DENTRO DA INDÚSTRIA CERVEJEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso, aprovado como requisito para obtenção de título de Bacharel em Engenharia de Produção do UNIRB-Centro Universitário Alagoinhas

Data de Aprovação

___/___/___

Banca Examinadora:

Prof. Me. Reiner Requião de Souza
UNIRB-Centro Universitário Alagoinhas

Prof. Me. Marcos Vinicius Almeida Narciso
UNIRB-Centro Universitário Alagoinhas

Prof. Me. Adson de Santana Gomes
UNIRB-Centro Universitário Alagoinhas

RESUMO

O setor cervejeiro é de grande relevância na economia do mundo, sendo responsável por 1,6% do produto interno bruto brasileiro, com uma produção anual estimada em 14 bilhões de litros/ano. Segundo (FILLADEAU, et al., 2006; MATHIAS, et al.,2014) o seu processo produtivo gera em torno de 4 a 11 litros de efluentes para cada litro de bebida produzido (apud, CAVALCANTI, et al, 2021) e com uma alta carga orgânica e subprodutos da cadeia produtiva. Esse potencial gerador de resíduos pode representar grandes riscos e impactos ao meio ambiente, principalmente se seu tratamento ou destino não ocorrerem de forma adequada, podendo representar também oportunidades de redução dos custos industriais através do seu reuso na lavagem de pisos e higienização de equipamentos como exemplos. Com isso torna-se imprescindível o correto tratamento destes resíduos e efluentes para a preservação dos recursos hídricos. Este trabalho buscou avaliar quais as formas de tratamento de efluente utilizadas pelas indústrias cervejeiras através da comparação dos resultados obtidos pelo uso das bactérias anaeróbicas, sistema de tratamento aeróbio, lodo ativado, tanino vegetal e seu percentual de pH, turbidez, DQO e DBO após os processos de tratamento.

Palavras chave: Resíduo. Reuso. Tratamento de Efluente. Comparação dos Resultados.

ABSTRACT

The beer sector is of great importance in the world economy, accounting for 1.6% of the Brazilian gross domestic product (GDP), with an estimated annual production of 14 billion liters/year. According to (FILLADEAU, et al., 2006; MATHIAS, et al., 2014), its production process generates around 4 to 11 liters of effluent for each liter of beverage produced (apud, CAVALCANTI, et al., 2021) and with a high organic load and by-products of the production chain. This potential generator of waste can represent great risks and impacts to the environment, especially if its treatment or destination does not occur properly, and may also represent opportunities for reducing industrial costs through its reuse in washing floors and cleaning equipment as examples. Thus, the correct treatment of these residues and effluents for the preservation of water resources becomes essential. This work sought to evaluate which forms of effluent treatment used by the brewing industries by comparing the results obtained by the use of anaerobic bacteria, aerobic treatment system, activated sludge, vegetable tannin and their percentage of pH, turbidity, COD and BOD after the treatment processes.

Keywords: Waste. Reuse. Effluent Treatment. Comparison of Results.

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ANA	Agência Nacional de águas;
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental;
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente;
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio;
DQO	Demanda química de oxigênio;
ETA	Estação de tratamento de água;
ETE	Estação de tratamento de efluente;
NTU	Unidade de Turbidez Nefelométrica;
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl;
pH	Potencial Hidrogeniônico;
PO₄	Fosfato;
UNT	Unidade de Turbidez Nefelométrica;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Média anual de utilização de água no Brasil	13
FIGURA 2 - Tratamento de efluentes da Cervejaria Germânia com Biorreator à Membrana	22
FIGURA 3 - Árvore e flor Acácia-Negra	31
FIGURA 4 - Fluxograma do processo de fabricação da cerveja	32

LISTA DE QUADRO

QUADRO 1 – Condições previstas pelo CONAMA.....	21
QUADRO 2 - Comparação genérica entre sistema aeróbio e anaeróbio no tratamento de águas residuárias	28
QUADRO 3 - Algumas situações particulares no funcionamento de uma ETE por lodo ativado	29
QUADRO 4- Composição qualitativa dos efluentes gerados nas principais fontes geradoras de um processo produtivo de cervejaria	35

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Tabela de consumo de água na produção de alimentos	14
TABELA 2 - Tabela de consumo de água na produção de bebidas no Brasil	15
TABELA 3 – Países com maior produção de cerveja em 2018	15
TABELA 4 - Características apresentadas dos efluentes de cervejaria	37
TABELA 5 - Características dos efluentes gerados em cervejaria	37
TABELA 6 - Valores de cor aparente medidos durante os ensaios em mgPtCo.L	39
TABELA 7- Valores de turbidez medidos durante os ensaios em UNT	39
TABELA 8 - Comparação das médias do pH de cada coagulante no ponto A e B	42
TABELA 9 - Resultados médios mensais dos parâmetros de auto monitoramento da estação de efluentes – ETE	43
TABELA 10 - Comparativo das médias de remoção da DQO	45
TABELA 11 - Síntese das eficiências médias de remoção de DQO e DBO da ETE	45
TABELA 12 - Valores médios de DQO e DBO do efluente cervejeiro	46
TABELA 13 - Média e desvio padrão dos resultados do DQO e afluente e efluente com redução do DQO	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Projeção de crescimento de cervejarias 2020-2025 e verificação 2020	16
Gráfico 2: Valores de turbidez obtidos para as diferentes concentrações dos coagulantes Tanfloc e sulfato de alumínio	38
Gráfico 3: Valores de pH obtidos para as diferentes concentrações dos coagulantes Tanfloc e Sulfato de Alumínio	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa	16
1.2 OBJETIVOS	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Legislações e Decretos Sobre Águas Residuárias.....	19
2.2 Efluente de Cervejaria	21
2.3 Tratamento nas indústrias	23
2.3.1 Sistemas físico-químicos	24
2.3.2 Sistemas biológicos	25
2.3.3 Sistema aeróbio e anaeróbio	25
2.3.4 Lodo ativado	27
2.3.5 Tanino vegetal (Tanfloc)	29
3 Processo produtivo da cerveja	31
3.1 Resíduos gerados na produção	33
4 METODOLOGIA	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1 Características do efluente pós produção	35
5.2 Características do efluente pós tratamentos	37
5.2.1 Cor e turbidez do efluente	37
5.2.2 PH	40
5.2.3 Remoção de DQO e DBO	42
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

A água é de fundamental importância para a existência da vida na Terra, sendo elemento básico para atividades domésticas, de agricultura, transporte, atividades industriais, entre outros segmentos. Segundo a ONU (Organização das Nações Unidas) (2018) se o consumo do planeta não diminuir, até o ano de 2025 cerca de 2,7 milhões de pessoas irão sofrer com a falta de água. Por outro lado, segundo um estudo realizado em 2017 pelo Índice de Segurança Hídrica (ISH) no ano de 2035 prevê-se que o total de 73,7 milhões de pessoas fiquem no grupo de risco com menos chances de acesso a água. A mesma situação ocorrerá com a economia do país nos setores da agropecuária e industrial onde já em 2017 num cenário de crise hídrica severa o risco era de R\$ 228,4 bilhões, cerca de 13% do PIB, e para o ano de 2035 prevê-se um aumento em R\$ 518,2% bilhões.

A água captada para o consumo é armazenada em reservatórios para posteriormente ser distribuída entre as residências, edifícios e indústrias. Antes do seu retorno ao meio ambiente faz-se necessário o tratamento da mesma para reduzir os danos tanto para a natureza quanto para o ser humano, assim como possibilitar o seu reuso.

A Figura 1, traz a média anual de utilização de água no Brasil de acordo dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (2017).

Figura 1. Média anual de utilização de água no Brasil.



Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), 2017.

Onde pode observar na Figura 1 que os setores de irrigação, abastecimento e industrial ficam responsáveis como maiores consumidores de água no país.

A água é um recurso de grande importância para o desenvolvimento das diversas atividades econômicas, incluindo as fábricas. Além disso, o descarte incorreto, a falta de tratamento após uso, gera grandes impactos ambientais por conta da poluição do efluente, pode-se observar a alteração das características do solo, e na água pode-se observar que por estar contaminada com dejetos industriais acaba por aumentar a temperatura do ambiente e reduzir o oxigênio presente na água e matando assim, o ecossistema local. Para os seres humanos além da chuva ácida, que causam asma e até câncer de pulmão, pode-se também ter tumores hepáticos, dermatoses, entre outras doenças (CONSEQ). Segundo a Companhia Ambiental de São Paulo (CETESB) grande parte dessa poluição fica por conta das empresas que ainda despejam seus resíduos sem tratamento prévio, contaminando com produtos tóxicos e sobrecarregando o tratamento de água e esgoto convencional.

O setor industrial de alimentos e bebidas é um dos que mais consomem água em todo seu processo produtivo conforme Tabelas 1 e 2 conseguimos obter os dados no seu processo produtivo.

Tabela 01. Tabela de consumo de água na produção de alimentos.

Alimento	Pegada hídrica (litros/quilo)
Tomate	214
Alface	237
Banana	790
Pão	1.608
Macarrão cru	1.849
Arroz cru	2.497
Frango	4.325
Manteiga	5.553
Carne bovina	15.000
Chocolate	17.196

Fonte: SOUTO, 2019.

Tabela 2. Tabela de consumo de água na produção de bebidas no Brasil.

Bebida	Consumo per capita anual médio no Brasil (L/hab)	Produção nacional (1 bilhão de L/ano)	Percentual de água	Indicador de consumo (média do segmento)
Refrigerante	74,5	14,148	78 – 90%	2 – 14
Cerveja	52,8	10,34	-	3 – 30
Água envasada	39,5	7,5	-	-
Suco	0,6 a 0,8	0,476	82 – 98%	-
Vinho	1,6	0,23	75 – 90%	-
Cachaça	6,2	1,2	50%	30

Fonte: CAVALCANTE et al, 2012.

Como pode ser observado na tabela 1 os grupos que mais consomem água em seu processo produtivo são os de carne bovina e chocolate, já no setor industrial de bebidas de acordo a tabela 2 os setores que mais consomem água é o de refrigerante e cerveja. Por estar no grupo de bebidas, as cervejarias utilizam grandes quantidades de água em toda sua produção, e por esse motivo essas empresas estão se adequando as legislações vigentes para reduzir o consumo da água e após seu uso oferecer um tratamento adequado antes de devolvê-la na natureza.

Conforme a Tabela 3 de classificação dos países que mais produzem cerveja, podemos notar que existe uma grande participação da mesma na economia de diversos países.

Tabela 3. Países com maior produção de cerveja em 2021.

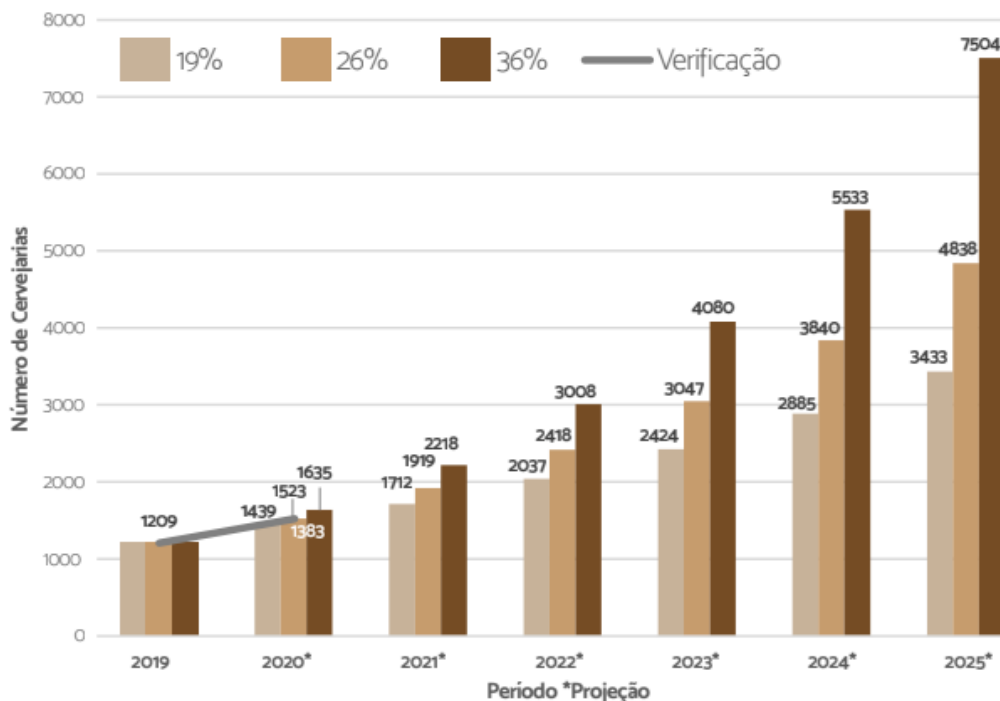
Classificação	País	Milhões de hl
1º	China	341
2º	EUA	211
3º	Brasil	151
4º	México	107
5º	Alemanha	87

Fonte: Freitas, 2021

Como pode-se observar na Tabela 3, o Brasil encontra-se entre os três maiores fabricantes de cerveja do mundo, com 151 milhões de hectolitros por ano. Com esse alto volume de crescimento nas suas produções e uma grande projeção de crescimento das empresas segundo dados da CERVBRASIL (2020) conforme pode ser observado no Gráfico 1, o volume de

resíduos gerados durante a produção da mesma faz com que as indústrias sejam consideradas pelos órgãos ambientais um potencial poluidor.

Gráfico 1. Projeção de crescimento de cervejarias 2020-2025 e verificação 2020.



Fonte: CERVBRASIL (2020)

De acordo com o gráfico 1 pode ser observado que o setor industrial teve crescimento em comparação aos anos de 2019 e 2020 e esse mesmo crescimento é esperado e projetado para os anos seguintes conforme o gráfico. Por conta desse crescimento, os resíduos gerados nas indústrias de bebidas são compostos por substâncias químicas, bagaço de malte, trub¹ e levedura de cerveja que faz com que as empresas tenham que se adequar as normas e leis vigentes para o tratamento e descarte correto da água residuária do seu processo de produção.

1.1 JUSTIFICATIVA

Através de um estudo de pesquisa bibliográfica realizado sobre a utilização da água na indústria, especificamente nos grupos cervejeiros, busca-se partilhar a importância do tratamento das águas residuárias fazendo comparativo das técnicas adotadas por empresas do

¹Para Marsarioli (2019) o trub é o resíduo formado após a primeira filtração por gordura vegetal e proteínas coaguladas e na segunda filtração sendo composta por gordura vegetal e levedura.

mesmo segmento mas com formas diferentes de tratar a mesma, como é feito o processo de despoluição para a sua devolução no meio ambiente sem gerar impactos negativos e o seu tratamento convencional, juntamente com a possibilidade de reutilização da mesma diminuindo a agressão acometida durante o processo de devolução da mesma na natureza.

Os tratamentos de remoção da matéria orgânica encontrada nas águas residuárias do processo produtivo da cerveja variam entre o físico-químico, vegetal, a biológicos sendo o último geralmente mais utilizado entre as empresas, por ser eficiente e tendo baixo custo para a remoção da carga orgânica. Os processos para remoções biológicas variam conforme a atividade industrial e as características desejadas (BARBOSA, 2019).

1.2 OBJETIVOS

Este projeto objetiva analisar a água residuária industrial, as condições corretas de descarte da água utilizada no processo de produção das indústrias cervejeiras apresentando também as leis vigentes, tendo como objetivo específico:

- Apresentar as técnicas de tratamento de água nas indústrias e os novos tratamentos;
- Demonstrar os comparativos de pH, DQO e DBO nos tratamentos abordados;
- Apresentar as leis vigentes que tratam sobre o descarte e tratamento das águas residuárias das indústrias cervejeiras.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Enfatiza-se a importância da água como elemento para sobrevivência desde os primórdios da humanidade, acreditava-se que a água nos séculos passados ser um bem de fonte inesgotável, mas não demorou muito tempo para perceber ser uma ideia errônea, pois várias partes do planeta já sofrem com a falta da mesma, seja por escassez ou pela poluição deixando a água inconsumível.

A água doce encontrada no mundo representa apenas 2,5% da água total sendo que, 69% deste percentual está em difícil acesso e apenas 1% está disponível para ser consumida encontrando-as em rios, aquíferos e lagos sendo considerada desse total apenas 0,5% explorável para tal fim. De modo que, é necessário destacar a importância de se preservar o meio ambiente aquático, evitando a degradação do mesmo (VON SPERLING 2014).

Segundo Von Sperling (2005) a poluição pode ser definida como “a adição de substâncias ou de formas de energia que, diretamente ou indiretamente, alterem a natureza do corpo d’água de uma maneira tal que prejudique os legítimos usos que deles são feitos”.

Um dos motivos dessa poluição, para Lustrosa (2010) é que a industrialização gerou grandes impactos no desenvolvimento tecnológico e econômico, fazendo com que fossem utilizados os recursos naturais de forma intensiva aumentando, dessa forma, a emissão de rejeitos no meio ambiente acima da capacidade regeneradora da mesma.

Um dos recursos naturais mais utilizados nas indústrias é a água, onde a mesma faz parte do produto final, do processo de produção ou até mesmo sendo utilizada nos processos complementares de fabricação. As indústrias podem precisar da água em diversos padrões sendo o mais alto grau de pureza, até mesmo a água ao qual não passou por nenhum processo de tratamento, conhecida também como água bruta (BARBOSA, 2019).

Ressalta-se que a qualidade e quantidade de água utilizada em todo o processo é de grande importância pois determinará o uso ou o conjunto de uso que dela será feito. “Não existe um requisito de qualidade da água genérico para todas as indústrias, pois cada uso específico apresenta requisitos particulares.” (BANDOCH, 2014).

Após a utilização da água na produção da cerveja gera-se os efluentes durante o seu processo de fabricação onde os mesmos são ricos em açúcares, pH alcalino em temperatura ambiente, tendo variância de acordo com as técnicas utilizadas durante o processo produtivo e suas etapas. Essa água residuária industrial tem um grande potencial poluidor devido aos processos que a água é exposta durante o processo de produção. O volume gerado pelos processos químicos e biológicos que resulta numa quantidade elevada de substâncias tóxicas, expandindo esse problema e prejuízo a saúde pública em diferentes formas (VON SPERLING, 2014). Dessa maneira, em função da alta carga orgânica e de sua composição gerados nessas indústrias, faz-se necessário um alto grau de tratamento da água, para que o processo de remoção dos agentes poluentes seja eficiente (PAIVA, 2011).

Muitas empresas estão buscando formas de reduzir o uso de água além de tratamentos dos efluentes antes de lançarem de volta ao meio ambiente como é determinado pela legislação vigente da Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305 de 2010. Para BORGES (2009), por conta do aumento de custos com o tratamento desses efluentes, as empresas estão buscando evitar produzir lixo, sendo estimuladas pelas leis que as obrigam ser responsáveis pelo impacto ambiental de seus produtos, desde sua produção até o descarte final.

Ainda de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305 de 2010, Decreto N° 9.177 de 2017 os fabricantes, comerciantes, importadores e distribuidores de

produtos são responsáveis por suas embalagens e outros produtos, geradores de resíduos, e são obrigados a implementar a logística reversa em seus processos podendo ser penalizados pela legislação ambiental pelo não cumprimento do acordo feito com a União.

Por esse motivo, a água tratada de efluentes secundários é vista para o setor industrial como um grande atrativo a custos vantajosos, pois as crescentes demandas têm levado as empresas a avaliarem as possibilidades de seu reuso. Quando não há externalização do efluente pela instalação industrial após passar por rigorosos tratamentos exigidos pela legislação brasileira e a água é reaproveitada diz-se que houve reciclagem da água (SEBRAE, 2016).

Segundo informações pela Companhia Ambiental de São Paulo (CETESB) nas indústrias, com frequência ocorre reuso pelo próprio emitente do efluente, para situações em que a qualidade da água pode ser inferior do que a do uso anterior. Existem diversos meios de reaproveitamento da água em locais de concentração industriais, que são basicamente: torres de resfriamento, caldeiras pois, a água não precisa ser tão fina para o resfriamento, lavagens de piso, irrigação de área verde, irrigação, lavagem de caminhões, descarga de sanitários, sistema de combate a incêndio e processos industriais (RESENDE, 2012).

Para que a empresa escolha o seu sistema de tratamento de suas águas residuárias se faz necessário ter conhecimento das características qualitativas e quantitativas dos efluentes produzidos por ela, além de considerar os impactos sociais, ambientais e legais da bacia hidrográfica, sem esquecer de levar em conta a questão econômica.

2.1 Legislações e Decretos Sobre Águas Residuárias

Para fins de esclarecimento a lei legal que norteia a gestão dos recursos hídricos do país é a Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Sendo responsável pela instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos, onde prescreve sobre a gestão dos recursos hídricos que deve ser sistemática e proporciona o uso múltiplo das águas.

Segundo essa norma, os comitês de bacia deverão cumprir a prática de reuso com as ações de saneamento ambiental e de uso da bacia hidrográfica. Tendo como objetivo assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões adequados de uso.

Com isso, empresas precisam realizar a prática de logística reversa ²em seus produtos, como recolhimento de suas garrafas de vidro com os parceiros de distribuição, recolhimento de paletes usados em suas entregas e reutilização da água residuária do processo de produção, onde poderá ser reutilizado na irrigação, nas torres de resfriamento, sanitários, lavagem de carros etc.; como está previsto no Decreto n° 7.404, de 23 de dezembro de 2010 que trata sobre a logística reversa em embalagens, água ou tudo que possa ser prejudicial à saúde pública e que precise de um tratamento específico para reintegração ou reutilização.

Para dar suporte às leis já existentes foi criada também a Lei n° 12.305 de 2 de agosto de 2010, onde institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, onde estão sujeitas a essa lei pessoas físicas ou jurídicas, responsáveis diretamente ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos diretamente ou indiretamente e as que desenvolvam ações relacionadas a gestão integrada ou ao gerenciamento do mesmo.

A água residuária do processo de produção de cerveja se encaixa na mesma lei no Parágrafo único do art. 13 que discorre sobre a classificação dos resíduos sólidos, que neste caso se enquadra nos resíduos industriais que são gerados nos processos produtivos e instalações industriais.

Na mesma lei, aborda-se no art. 47 sobre as proibições nas formas de descartes dos resíduos sólidos ou dejetos, sendo eles:

- I - Lançamento em praias, no mar ou em quaisquer corpos hídricos;
- II - Lançamento **in natura** a céu aberto, excetuados os resíduos de mineração;
- III - Queima a céu aberto ou em recipientes, instalações e equipamentos não licenciados para essa finalidade;
- IV - Outras formas vedadas pelo poder público.

Como forma de fiscalização do cumprimento de todos os regulamentos exigidos em lei, foi criado o Decreto n° 9.177, de 23 de outubro de 2017, onde a mesma discorre sobre as normas de fiscalização, as obrigações nas etapas de operacionalização, aos prazos, metas, aos controles e registros dos sistemas de logística reversa, os planos de comunicação, avaliações e monitoramentos dos sistemas, penalidades e às obrigações específicas aos fabricantes, importadores, distribuidores e aos comerciantes.

²Conjunto de procedimentos realizados pelas empresas após venda ou consumo de seus produtos, para recolhimento e encaminhamento para reaproveitamento ou destino correto dos resíduos.

Para que o descarte da água residuária esteja de acordo com o exigido foi criada a Resolução CONAMA n° 430, de 13 de maio de 2011 onde dispõe dos parâmetros, condições, padrões e diretrizes para o lançamento desse efluente de volta a natureza. Onde terá que ser observado a capacidade receptora do ambiente de devolução, fator de toxicidade, parâmetro de qualidade e a zona de mistura desse efluente tratado, com a verificação da diluição do mesmo no ambiente natural e testes para observar se a vida aquática, e do ecossistema ao redor do rio ou lago receptor mantém as mesmas condições de vida e equilíbrio.

Dessa forma, o lançamento só ocorrerá nas condições previstas dispostas na resolução do CONAMA, que poderá ser observada no Quadro 1.

Quadro 1. Condições previstas pelo CONAMA

Parâmetro	Condição
pH	Entre 5 e 9
Temperatura	Inferior a 4°C
Materiais sedimentáveis	Até 1mL.L ⁻¹
Regime de lançamento	vazão máxima de 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor
Óleos e Graxas	Até 20 mg.L ⁻¹ para óleos minerais
	Até 50mg.L ⁻¹ para óleos vegetais e gorduras animais
Materiais flutuantes	Ausente
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Remoção mínima de 60%
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg.L ⁻¹

Fonte: CONAMA n°430/2011

O não cumprimento dos acordos e normas previstas em leis e decretos firmados em termos de compromisso aplica-se as penalidades ambientais previstas na Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 que prevê o descarte incorreto da água causando poluição hídrica que interrompa o abastecimento de uma comunidade, dificultar ou impedir o uso das praias uma pena – reclusão, de um a cinco anos. Para as indústrias poderá ser efetuada uma cobrança de até R\$ 50 milhões como punição, que será extinto apenas após comprovação da recuperação do ambiente poluído, além de ficar com uma má reputação pelo descumprimento das leis ambientais.

2.2 Efluente de Cervejaria

Nas cervejarias por conta da necessidade de frequentes operações de limpeza seus efluentes gerados são provenientes da lavagem de piso, salas de fermentação, das linhas de

enchimentos de garrafas e latas, descartes de produtos que retornaram ao comércio, pasteurizadores e esgoto sanitário da empresa que geram grandes quantidades de efluente.

A composição desse efluente é influenciado pelo tipo de cerveja fabricada, levedura utilizada, qualidade dos processos de filtração, tipos de aditivos acrescentados e a eficiência da limpeza dos equipamentos utilizados, por conta desses fatores a taxa de geração dos rejeitos produzidos é muito variável tanto em volume quanto em características. Conforme relatado por Simate et al. (2001), Rao et al. (2006) e Seluy e Isla (2014), é de conhecimento que as características desses efluentes variam bastante, principalmente por consequência das diferentes condições operacionais e processos de fabricação, tecnologia utilizada, tipo de cerveja e da região de produção. Como exemplo podemos utilizar a lavagem de garrafas que gera grande volume de efluente, mas com pouca carga orgânica. Por outro lado, a fermentação e filtração geram apenas 3% do volume de efluente, mas são responsáveis por 97% da carga orgânica total (KOCHENBORGER, 2012).

Esses efluentes são ricos em açúcares e outros componentes das cervejas. Apresentando também partículas de terra, óleo, oriundos do processo de filtração do mosto e óleos minerais provenientes dos vazamentos de máquinas de processo e das oficinas de manutenção. Sólidos dissolvidos são principalmente provenientes do mosto, limpeza e desinfecção de equipamentos (PORTES, 2016). De acordo Sereno Filho et al. (2013), os efluentes gerados na indústria de bebidas apresentam elevados valores de DQO e DBO devido a alguns componentes como açúcares, amido, etanol e ácidos graxos.

Figura 2. Tratamento de efluentes da Cervejaria Germânia com Biorreator à Membrana



Fonte: PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA (2016)

Pode ser observado na Figura 2 como que o efluente cervejeiro chega nas estações de tratamento após produção da bebida.

Já para Seluy e Isla (2014), no que se diz respeito a geração de efluentes no segmento industrial de cerveja, pode-se dizer que são produzidos em duas correntes:

- Efluentes resultantes de operações de limpeza, que são elas: de instalações, de equipamentos, pisos e vasilhames, e das águas de sistemas de resfriamento; ou
- Efluentes gerados no processo de produção da própria cerveja, chamados de “trub”, aos quais são compostos principalmente pelo excesso de levedura entre outros ativos, resíduos sólidos de bagaço e a própria cerveja oriunda da perda na linha de produção.

Ainda segundo Seluy e Isla (2014) é descrito ainda que os trubs apresentam uma carga orgânica alta, da ordem de $170.000 \text{ mg.L}^{-1}$ em termos de DQO. Isso por causa da presença de etanol, glicerol e carboidratos remanescentes do processo de produção.

O pH do efluente geralmente apresenta tendência ácida ou neutra e a DQO pode atingir até $2.000 \text{ mgO}_2/\text{L}$. Sendo que alguns autores mencionam que o etanol pode ser responsável por até 60% da fração do DQO presente nesse efluente.

2.3 Tratamento nas indústrias

Os diferentes processos industriais e a grande variedade de produtos do setor cervejeiro acabam por desenvolver um quadro de diferentes tipos de efluentes. Logo, todas as cervejarias, independente de seu porte, tentam manter o baixo custo no tratamento e eliminação de resíduos, enquanto a legislação pertinente e fiscalização tornam-se cada vez mais rígidas (PORTES, 2016). Desta forma, uma estação de tratamento de água residuária que seja eficiente e com baixo custo de investimento e operação torna-se atraente para as empresas.

Por conta da alta carga orgânica e elevado grau de complexidade da composição dos efluentes gerados nesse seguimento, faz-se necessário um tratamento eficiente que demanda uma combinação de processos para remoção dos poluentes sendo efetiva e atenda aos padrões de descartes exigidos (SERENO FILHO et al., 2013).

De acordo KOCHENBORGER (2012) os sistemas de tratamento utilizados nas composições das ETE's é um conjunto de processos físicos composto por grade e decantadores e sistema biológico com lodo ativado e reatores anaeróbicos.

Além disso, o porte das instalações da estação de tratamento dos efluentes tem características físicas, químicas e biológicas de seus efluentes e de sua vazão. O pré-tratamento,

comumente se dá através de processos físicos e/ou químicos, podendo envolver ajuste de pH, coagulação e floculação, adsorção, entre outros processos (SIMATE et al., 2011).

Caso a indústria utilize o sistema de esgoto convencional para descarte de seus rejeitos faz-se necessário um pré-tratamento do efluente para que seja cumprido o que está previsto em lei para não sobrecarregar a rede pública de esgoto. Este pré-tratamento destina-se na alteração física, química e biológicas do efluente favorecendo o desempenho dos processos. Mesmo tendo alguns processos físicos e químicos frequentemente utilizados nas indústrias cervejeiras atualmente estão optando pelos processos biológicos, podendo ser aeróbicos ou anaeróbicos.

Geralmente o tratamento do efluente de cervejaria é constituído em duas etapas: a preliminar onde se retira a areia, separa a água e o óleo, ocorre o peneiramento e correção do pH, já no secundário é utilizado os processos anaeróbicos e aeróbico. Na etapa anaeróbica composta por biodigestão será separada em duas etapas a primeira utilizando a hidrólise ácida e a segunda ocorrendo a metanogênica. A eficiência complementar é obtida nos processos aeróbicos compostos por lagoa areada ou lodos ativados. Secundário simples, pode ser composto somente de processo aeróbio, no caso os lodos ativados (PEREIRA, 2010).

Usando o tratamento aeróbico será demandado uma maior quantidade de energia em relação ao tratamento anaeróbico, além disso, poderá resultar na geração de lodo de biomassa, ao qual necessita um adequado tratamento e disposição final, tornando-se uma alternativa menos interessante (TONHATO JUNIOR, 2015).

Outro fator é que alguns sistemas biológicos de tratamento de efluentes demandam um longo período de tempo para reinício após sua parada, sendo necessária uma alimentação contínua, fator que pode impor objeções ao tratamento em cervejarias onde a produção de efluentes é intermitente (PORTES, 2016).

2.3.1 Sistemas físico-químicos

No processo físico-químico os sólidos suspensos, materiais insolúveis, materiais não biodegradáveis, poluentes inorgânicos, metais pesados, óleo e graxas, cor e coloides não removidos, são processados para reduzir a carga orgânica a ser tratada nos processos biológicos além de remover o fósforo existente. As operações unitárias e processos do tratamento físico-químico são: peneiramento, correção de pH, desarenação, floculação, medição de vazão, decantação, retenção de gordura, equalização (VON SPERLING, 2007).

Na indústria cervejeira, a maior parte de matéria orgânica existente está presente da forma sólida, podendo ser reduzida pelo processo físico-químico por coagulação. Nesse

tratamento a clarificação do efluente fica por conta das forças de repulsão que existe entre as partículas coloidais. O processo de coagulação é de fácil controle operacional e de custo relativamente baixo (KOCHENBORGER, 2012).

No processo de coagulação pode-se utilizar diversos tipos de coagulante entre eles estão o cloreto férrico, sulfato ferroso, PAC³, sulfato ferroso e coagulante orgânico. Juntamente com o coagulante, se usa geralmente um auxiliar de floculação que ajuda a formar flocos para assim facilitar a sedimentação dos mesmos. A escolha do auxiliar de floculação depende do coagulante a ser usado no processo de tratamento físico-químico (KOCHENBORGER, 2012). Os parâmetros de maior importância na análise de um efluente são os DQO⁴, DBO⁵, nitrogênio, fósforo total, sólidos suspensos, óleos e graxas, cor e turbidez que geralmente são solicitados pelos órgãos de fiscalização para a liberação de licenças de operação.

2.3.2 Sistemas biológicos

2.3.3 Sistema aeróbio e anaeróbio

O tratamento biológico desempenha um papel importante no tratamento de efluentes industriais, onde os microrganismos têm o objetivo em converter os compostos orgânicos biodegradáveis solúveis em compostos mais estáveis de acordo o ponto de vista ambiental (ROVEROTO, 2019).

Os processos biológicos de tratamento reproduzem em escala de tempo e área os fenômenos de autodepuração que ocorrem na Natureza, podendo ser agrupados de acordo o metabolismo predominante, em aeróbios e anaeróbios. Segundo (RAMALHO, 1991) o objetivo principal desse procedimento é remover a matéria orgânica dissolvida e em suspensão, mediante a transformação desta em sólidos sedimentáveis (flocos biológicos) ou gases (apud LIMA, 2018).

Geralmente, o tratamento dos efluentes compostos de substâncias biodegradáveis, como o esgoto doméstico e da indústria de alimentos são preferidos nas fases de tratamento aeróbico e anaeróbico. O meio aeróbio utiliza o oxigênio dissolvido na água, como aceptor de elétrons em seus processos respiratórios podendo ser compactado para reter a biomassa ativa através da

³ Policloreto de alumínio.

⁴ Demanda química de oxigênio.

⁵ Demanda bioquímica de oxigênio.

recirculação do lodo ou pela introdução artificial de meio suporte inerte de biomassa, pode-se também ser usado equipamentos eletromecânicos nos tanques de aeração artificial para o fornecimento de oxigênio utilizado pelos microrganismos, que não é necessário no processo anaeróbio. Nos processos aeróbios de tratamento de efluentes é utilizado microrganismos que para biooxidar a matéria orgânica usa o oxigênio molecular, O₂, como receptor de elétrons.

De acordo Silva (2016) no tratamento de águas residuárias, existe uma grande variedade de sistemas aeróbios; as mais empregadas são as lagoas facultativas, lagoas aeradas, filtros biológicos aeróbios, valas de oxidação, disposição controlada no solo e a opção mais utilizada que é o lodo ativado.

No tratamento aeróbio convencional, o lodo é areado por um período num tanque aberto, sem aquecimento de difusores de ar ou equipamentos superficiais, podendo ser operado de forma contínua ou em batelada, sendo o último utilizado em plantas menores onde o lodo é areado e misturado por completo em um período de tempo estendido, seguido pela sedimentação. Nos sistemas contínuos, um tanque é separado para a decantação e concentração (ALCANTARA, 2012).

Na digestão aeróbia de alta pureza é uma modificação do processo, em que o oxigênio de alta pureza é usado no lugar do ar, sendo o lodo resultante desse processo similar ao que é digerido aerobicamente pelo modo convencional. Já a digestão termofílica, apresenta um outro tipo de processo de digestão aeróbica, onde as bactérias termofílicas são usadas em temperaturas que variam entre 25° a 50° acima da temperatura ambiente, podendo alcançar altas remoções da fração biodegradável (acima de 80%) em tempos de retenção muito curtos (ALCANTARA, 2012).

Nos processos de tratamento aeróbico imobilizado são normalmente utilizadas para remover a matéria orgânica de efluentes líquidos, também podendo ser usados para conseguir a nitrificação. Os processos com crescimento imobilizados incluem os filtros de percolação, os contactores biológicos rotatórios e os reatores de nitrificação com filme fixo (ALCANTARA, 2012).

Já os processos físico-químicos e anaeróbicos são os mais conhecidos e utilizados dentro das indústrias para abater a carga do efluente, mas esse processo anaeróbico possui algumas desvantagens como a possibilidade de aumento de maus odores nas empresas, tendo que ser utilizado queimadores de gases nas estações.

Esses processos anaeróbicos recorrem ao uso de microrganismos que apresentam respiração intramolecular, usando o hidrogênio como aceptor de elétrons na ausência do oxigênio dissolvido nas águas. Os processos anaeróbicos são conhecidos na digestão do excesso

de lodo biológico produzidos nas estações de tratamento através de lodos ativados ou filtros biológicos aeróbicos.

O sistema anaeróbico requer uma menor área de operação, além de ser simples, versátil e possuir uma boa segurança na sua operação. Além disso, o mesmo produz gás metano que pode ser usado para obter energia. Esse sistema oferece as vantagens de ter um baixo consumo de energia e na pequena produção de lodo excedente, em comparação com o tratamento aeróbico. Entretanto, necessita de um longo período de tempo para reinício após parada e necessitando de pessoas mais qualificadas para sua operação.

A etapa anaeróbica é composta por biodigestão em duas etapas, a primeira por hidrólise ácida e a segunda metanogênica. A eficiência complementar é obtida nos processos aeróbicos compostos por lagoa areada ou lodo ativado. Secundário simples, pode ser composto somente de processo aeróbico, no caso os lodos ativados (PEREIRA, 2010).

Para Alcantara (2012) a digestão aeróbia com oxigênio de alta pureza é uma modificação do processo de digestão aeróbia ao qual o oxigênio de alta pureza é utilizado no lugar do ar e com o processo utilizando bactérias termofílicas em temperaturas entre 25° e 50° acima da temperatura ambiente, é possível alcançar altas remoções da fração biodegradável.

Para (OLIVEIRA NETTO, 2012) Nos sistemas de alta taxa, ou seja, os que operam com alta carga orgânica, destacam-se os filtros anaeróbicos, reatores de lodo, reatores de leito expandido ou fluidizado, reatores compartimentados.

As vantagens da associação de ambos os sistemas vêm do fato que o sistema anaeróbico promove uma remoção inicial de carga substancial com baixa geração de lodo, fazendo com o que aumente a eficiência das unidades aeróbicas (BARBOSA, 2019). Podendo ser destacado também é que a geração de metano pelo tratamento anaeróbico pode ser aproveitada, como insumo no processo industrial ou até mesmo na geração de energia, suprimindo o processo de tratamento aeróbico (BARBOSA, 2019).

No Quadro 2, encontram-se as principais diferenças entre os dois sistemas.

Quadro 2. Comparação genérica entre sistema aeróbico e anaeróbico no tratamento de águas residuárias.

	Sistema Aeróbico	Sistema Anaeróbico
Consumo de energia	Alto	Baixo
Produção de energia	Não	Sim
Geração de lodo	Alta	Baixo
Remoção DQO (%)	90 - 98	70 - 85
Remoção de nutrientes (Nitrogênio/Fósforo)	Alta	Baixa
Espaço requerido	Grande	Pequeno

Fonte: GAUDENCIO (2013)

2.3.4 Lodo ativado

Uma das partes mais caras do processo de tratamento de efluentes líquidos fica por conta do lodo, pois o mesmo deve estar desidratado para reduzir os custos com transporte ou custos com energia nos casos de secagem ou incineração (REINOLD, 2011). Sendo que Barbosa (2019) reforça que todo o processo biológico ocorrido dentro dos tanques de lodo ativado é aeróbio.

Nesse tipo de sistema de cultura livre, as bactérias se aglomeram sob forma de flocos, que são compostos por polímeros liberados pelas bactérias que formaram os flocos e pelas bactérias filamentosas que servirão para o elemento estrutural. Segundo (HENZE et al., 1993) essa junção forma um equilíbrio entre os dois grupos de bactéria e por consequência eleva a capacidade de depuração e apresenta uma boa decantabilidade, proporcionando um efluente final com baixa turbidez e baixa concentração em matérias de suspensão (apud, ALCANTARA, 2012).

O mecanismo de retenção do lodo é tão importante que o mesmo é utilizado como forma de distinguir os sistemas anaeróbios, onde, se o lodo fica fixo na superfície de algum material sólido e inerte é um sistema de mobilização do lodo, e nessa categoria se encontra o filtro anaeróbio de fluxo ascendente ou descendente e reatores com leito granular de lodo; já o segundo tipo de sistema é baseada na separação da fase líquida e sólida, com retorno de lodo para o reator, tendo como exemplo o reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).

De acordo (MOTTA, 2003 apud ZOBY JUNIOR, 2018) depois das bactérias os protozoários também revelam um bom desempenho dentro das estações de tratamento, devido a sua sensibilidade as variações das condições do meio ao qual está, tornam-se excelentes indicadores do estado da estação. Para (GERARDI et al., 1995; CURDS et al., 1968 apud, ALCANTARA, 2012) além de reduzirem a turbidez do efluente final, estimulam o crescimento bacteriano, promove a floculação e algumas espécies eliminam a poluição.

Os sistemas de lodo ativado podem ser classificados, conforme a idade do lodo, sendo os mais utilizados os de lodo ativados convencionais e os de aeração prolongada (VON SPERLING, 2007). Segundo Von Sperling (2007), no sistema de lodo ativado convencional, a idade fica em torno de 4 a 10 dias e o tempo para detenção hidráulica no reator é da ordem de 6 a 8 horas. Já o sistema de aeração prolongada a biomassa permanece no sistema por volta de 18 a 30 dias, recebendo a mesma carga de DBO e o tempo hidráulico será em torno de 16 a 24 horas.

Desta forma, a composição do lodo ativado revela as tendências do processo, a eficiência na remoção dos sólidos suspensos – SS; as condições de sedimentação do lodo; eficiência da remoção da demanda bioquímica de oxigênio – DBO₅; o nível de aeração empregado no sistema; a presença de compostos tóxicos, tais como metais pesados e amônia; além de poder indicar a ocorrência de sobrecargas de nitrificação (ALCANTARA 2012).

O Quadro 3 abaixo representa uma relação entre o grupo de protozoários dominante e a eficiência biológica da estação, assim como os motivos para o mau funcionamento.

Quadro 3. Algumas situações particulares no funcionamento de uma ETE por lodo ativado.

Grupo Dominante	Eficiência	Causa possível
Pequenos flagelados	Baixa	Lodo pouco oxigenado; carga muito elevada; entrada de substâncias fermentescíveis.
Pequenos cílios nadadores (< 50 µm)	Baixa	Tempo de contato muito pequeno; lodo pouco oxigenado.
Grandes cílios nadadores (> 50 µm)	Baixa	Carga muito elevada
Cílios móveis de fundo	Alta	
Cílios sésseis + cílios móveis de fundo	Alta	
Cílios sésseis	Baixa	Fenômenos transitórios (carga descontínua; extração recente de lodo).
Pequenas amebas nuas e flagelados	Baixa	Carga muito elevada não facilmente biodegradável.
Amebas	Alta	Carga baixa; licor diluído; boa nitrificação

Fonte: ALCANTARA, 2012

Segundo Alcantara (2012) a identificação dessas espécies se faz através a contagem manual e observação visual, e o diagnóstico obtido através da microscopia do lodo ativado é utilizado para alterar as características operacionais do sistema como, a idade do lodo e a

concentração de oxigênio dissolvido no reator.

2.3.5 Tanino vegetal (Tanfloc)

Nos processos comuns do tratamento de efluentes o uso de coagulantes que possuem sais de alumínio e ferro que possuem uma alta eficiência no processo de coagulação, mas que gera um lodo não biodegradável, contendo resíduos de alumínio (CORAL et al., 2009). Desta forma, novas tecnologias vêm sendo abordadas e estudadas, com o intuito de sanar esse problema. Diante disso, os taninos que são compostos polifenólicos biodegradáveis, e que possui uma capacidade de complexar-se a proteínas, macromoléculas e até minerais, e tem em seu produto final um lodo biodegradável e de fácil disposição, está sendo um ótimo substituto aos produtos comumente utilizados (BASSETTI, 2009).

Apenas os países da Argentina, Paraguai e Brasil possuem a tecnologia do tratamento de efluente pelo tanino vegetal, sendo que sua produção no Brasil fica concentrada no Rio Grande do Sul (MANGRICH et. al, 2010), mas poucas empresas no país utilizam essa ferramenta nos processos de tratamento de efluentes (BASSETTI, 2009). Sendo muito competitivo no mercado com os outros produtos já existentes para o tratamento de efluentes, o tanino por muitas vezes traz desempenho melhores que os produtos comumente utilizados e ainda é biodegradável, podendo ser utilizado em solos, queimado em caldeiras, permitindo seu uso total nas etapas biológicas dos processos (ANDRES JUNIOR, 2015).

Sendo obtido através de raízes, galhos, frutos, flores e sementes da árvore *Acácia mearnsi*, e constituídos de carboidratos simples, fenóis, aminoácidos e goma hidroxicoloidais (TONHATO JUNIOR, 2015), quando dissolvido em água forma dissoluções coloidais, solúveis em solventes orgânicos.

Figura 3. Árvore e flor *Acácia-Negra*



Fonte: JANZ, 2018.

No tratamento dos efluentes o tanino age nos sistemas coloidais, neutralizando as cargas e formando pontes entre as partículas, assim realizando a formação de flocos mais densos e volumosos e por consequência, a sedimentação das impurezas (JANZ, 2018). Podendo também atuar como coagulante, floculantes e auxiliares de floculação e desestabilizando-as (ANDRES JUNIOR, 2015). Além disso, o tanino não altera o PH da água tratada, já que o mesmo não consome a alcalinidade do meio, ao mesmo tempo que é efetivo em uma ampla faixa de Ph, de 4,5 a 8,0 (BASSETTI, 2009).

De acordo a ABNT (NBR 15784) o tanino, também conhecido como Tanfloc líquido após os processos de extração, está em conformidade com o regulamento. Nesta norma, fica estabelecido os requisitos para a qualidade dos produtos químicos em sistemas de tratamento de água para consumo humano e os limites das impurezas nas dosagens máximas de uso indicadas pelo fornecedor do produto, de forma a não causar prejuízo a saúde humana (ABNT, 2014).

3. Processo produtivo da cerveja

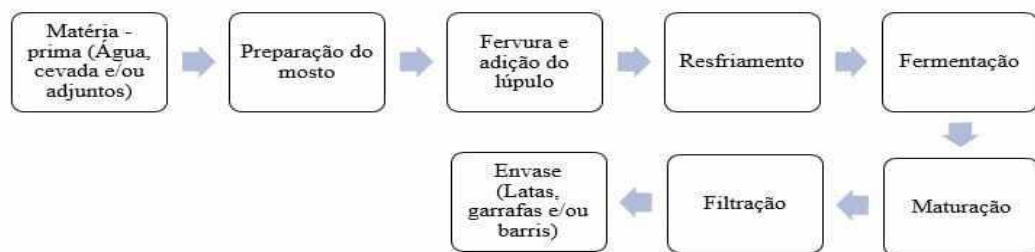
O processo produtivo da cerveja geralmente segue algumas etapas que são fundamentais em seu processo, podendo ser alteradas alguns pontos dependendo do objetivo da produção. A lei de pureza alemã (Reinheitsgebot), promulgada em 23 de abril de 1516, determina que para se fabricar cerveja só é permitido o uso de três ingredientes, sendo eles: água, malte

e lúpulo. Na época em questão a levedura ainda não era conhecida, desta forma, a mesma não é citada. Nos dias atuais, se atualizada essa lei, muito provável que ela iria fazer a inclusão da levedura, sendo esses ingredientes considerados a “fórmula básica” para a produção da cerveja.

Para Marsarioli (2019) a cerveja é uma bebida que possui dióxido de carbono em sua composição, possuindo baixo teor alcoólico e é preparada através da fermentação do malte de cevada, com incremento do lúpulo (flor seca, pastilha ou extrato) e água de boa qualidade, podendo ser incorporado na sua fabricação outras matérias primas como arroz, trigo ou milho.

De forma geral, a cerveja passa por alguns processos que são repetidos nas indústrias mudando apenas alguns componentes para se obter o resultado que é desejado.

Figura 4. Fluxograma do processo de fabricação da cerveja.



FONTE: ROSA e AFONSO, 2012

Na maltagem é onde se aquece, areia e umidifica os grãos até que os mesmos comecem a germinar e gerem assim o malte verde, que logo em sequência é secado. Para se obter variedade de malte a temperatura é adaptada de acordo com o que é desejado, mas apesar disso tem-se uma quantidade fixa de 200 gramas para um litro de cerveja. Segundo Rabelo (2009), o malteamento consiste na ativação de grãos como trigo e cevada através da germinação forçada. Para Marsarioli (2019), o malteamento é realizado em instalações específicas para esse fim, chamadas de maltearias e consiste nas etapas de limpeza (remoção dos corpos estranhos) e seleção dos grãos conforme a granulação, embebição em água para o início da germinação e secagem do malte para inibição do processo de germinação, sendo que em alguns processos o malte ainda pode ser torrado. Depois de maltear ocorre a moagem onde o malte é moído mecanicamente de forma a expor o amido e outras substâncias, como as enzimas, dentro dos grão às próximas etapas.

Na brassagem converte-se o amido em açúcares que as leveduras podem degradar, através da adição de água e aquecimento gerando o mosto. Marsarioli (2019), relata que o mosto é uma solução aquosa de açúcares, fundamental para alimentar os microrganismos alcoólicos no processo da fermentação, obtido através da maceração do malte levemente moído (quebra da casca e exposição do conteúdo interno) com adição de adjuntos e água, que são submetidos à fervura para a ativação enzimática. Ferve-se o mosto, com adição do lúpulo que dá a identidade do sabor da cerveja e outros ingredientes específicos de acordo o tipo de cerveja, ocorrendo assim a liberação de outros açúcares. Depois da fervura, o mosto é filtrado através de peneiras para retirar as impurezas, como as cascas dos cereais. Após filtrado o mosto é novamente fervido, sendo adicionados ativos e clarificado em processo por decantação centrífuga conhecido como “Whirpool” ou por decantação para retirada das proteínas insolúveis e outras impurezas do líquido. Após clarificado o mosto é resfriado em trocadores de calor, sendo preparado para a fermentação, onde pode ocorrer a oxigenação da mistura.

Logo depois da clarificação realizada, ocorre a fermentação que é considerada a principal etapa da produção da cerveja, pois é onde adiciona-se as leveduras que consiste em fungos que são responsáveis pela fermentação, sendo as mais tradicionais a *Sacharomy cescerevisae* e *Sacharomy cescalsbergensis*. O tempo, temperatura e até mesmo o tipo de levedura estão relacionados com o tipo de cerveja a ser produzida. Além disso a utilização de açúcares acelera o processo de fermentação e ajuda no controle da cor da cerveja.

Na maturação que ocorre após a fermentação, armazena-se a cerveja por um tempo em tanques para que chegue no aroma, textura e complexidade desejados. Depois desse procedimento ocorre uma nova filtração pra que ocorra a retirada das partículas indesejadas da cerveja. Com a cerveja já pronta, deve ocorrer o envase da mesma, podendo antes disso mais algumas alterações, como carbonatar o líquido, principalmente quando os recipientes são de vidro. Para Marsarioli (2019) comentam que o processo de envase é o de maior complexidade e de maior risco para o produto por conta de contaminações e para os funcionários os riscos de acidentes. Normalmente o envase é apresentado em três formas: barril (chope), lata e garrafa, onde atualmente, as garrafas de vidro de 600 ml são retornáveis e apresentam a maior fonte de receita para a indústria cervejeira. No entanto, existem outras embalagens de vidro, sendo retornáveis ou não e em diferentes tipos e tamanhos. Após o envase a cerveja ainda passa pelo processo de pasteurização, onde submete-se o produto a rápidos aquecimentos e resfriamentos, a fim de esterilizar e aumentar o tempo de validade.

Além de todo esse processo a empresa terá que verificar sua fonte de água para produção, sendo ela responsável por mais de 90% de toda a matéria-prima utilizada na fabricação da cerveja (MENEZES, 2019), faz-se necessário testes para a utilização da água correta em sua produção, ou uma correção laboratorial para que a mesma fique da forma da água potável comum. O principal parâmetro para utilização dessa água é seu pH que deve estar entre 6,5 e 7,0 sendo levemente ácido pois, além de evitar a degeneração do malte, ele contribui para uma maior atividade enzimática na etapa de mostura, tendo um rendimento maior de maltose (SILVA, 2014).

Outro ponto importante são os íons da água, que podem acabar afetando o seu pH, tendo assim duas nomenclaturas: água dura que é mais indicada na produção de cervejas escuras por ter pH maior e uma alta concentração de íons e a água mole que é mais adequada e utilizada na produção da cerveja pilsen por ter menos pH mais baixo e menos íons dissolvidos. Essa análise de íons pode ser feita através da análise de dureza da água.

3.1 Resíduos gerados na produção

Em todo processo produtivo da cerveja geram-se grandes quantidades de resíduos sendo os principais: água, trub, levedura e bagaço de malte sendo que, a água é a que tem uma maior porcentagem, com cerca de 90 a 95% da sua massa total e tendo participação em quase todas as etapas da produção. O consumo médio de água depende basicamente das características dos equipamentos e processos de produção, ficando com um consumo médio entre 4 a 10 m³/m³.

Para Marsarioli (2019), o bagaço de malte, representa 85% dos subprodutos gerados na produção da cerveja e possui excelentes características para ser reaproveitado como matéria-prima de ácido láctico, xilitol e compostos fenólicos e como o malte tem alto valor nutritivo, esse acaba geralmente sendo enviado para outras empresas que produzem ração de animal.

Após finalizado o processo na tina de mostura⁶, o mosto que é peneirado com ajuda do malte, que por consequência, acaba representando o resíduo nesse processo.

Já no processo de clarificação, o aparecimento de resíduo fica por conta da fervura por centrifugação simples, sedimentando assim o trub ou trub grosso.

⁶ Mexedor com motorreductor destinado ao cozimento e mistura do malte já cozido.

No processo de envase, os resíduos são por conta dos rótulos de garrafas vazias ou que serão reutilizadas, vidros por conta da quebra de vasilhame e a própria cerveja que pode acabar vazando.

Destaca-se, portanto, a diferença de contribuição na geração de efluente em cada processo de produção. As informações da Companhia Ambiental de São Paulo (CETESB) mostram os componentes provenientes nas etapas principais da produção de cerveja e que podem estar presentes, nas águas residuárias, como explicitado na Quadro 4 (BARBOSA, 2019).

Quadro 4. Composição qualitativa dos efluentes gerados nas principais fontes geradoras de um processo produtivo de cervejaria.

Etapas do processo	Origem	Composição
Maltaria	Impurezas nas matérias primas	Restos de grãos, sólidos sedimentáveis, proteínas e açúcares
Cozimento do mosto	Restos de mosto e lavagem dos equipamentos	Açúcares, proteínas, taninos e resinas vegetais
Fermentação	Lavagem das dornas	Álcoois, ácidos orgânicos, aldeídos, cetonas, ésteres e leveduras
Maturação	Fundo das cubas	Proteínas e produtos de sua degradação

Fonte: CETESB (2005)

Conforme o Quadro 4 pode ser observado que o efluente cervejeiro tem em sua composição muitos componentes que são encontrados na cerveja que são gerados durante o processo produtivo e que são alguns dos agentes poluidores dessa água residuária.

4 METODOLOGIA

O trabalho foi elaborado pelo método dedutivo seguindo através de uma abordagem de pesquisa qualitativa, que está centralizada na objetividade descritiva e utiliza uma linguagem matemática como explicação das causas de um fenômeno.

Os procedimentos técnicos utilizados, trata-se de uma revisão de literatura com levantamento documental e bibliográfico, com artigos, sites, revistas, livros e trabalhos que realizaram pesquisa de campo com entrevistas e questionários em empresas onde estão instaladas, além disso, foi analisado trabalhos com pesquisa com abordagem quantitativa, onde

buscou-se trazer as diversas formas de tratamento da água residuária do processo de produção da cerveja, trazendo artigos e livros onde as opiniões de escritores são iguais ou são vistas por ângulos diferentes.

No presente trabalho foram incluídos artigos, teses, revistas, livros e sites datados entre 2009 e 2020, lidos entre agosto de 2020 e agosto de 2021 de língua portuguesa e inglesa como base mais abrangente sobre o tratamento dos efluentes nas indústrias, forma de reutilização e devolução da mesma ao meio ambiente. Foram excluídos dez artigos, cinco teses e quinze sites, cujo nível de abordagem visa apresentar o tratamento de efluentes industriais de forma geral e apresenta dados anteriores a 2000. Foram selecionados como base de pesquisa cinco artigos, onze teses, treze sites, dezesseis revistas, e seis livros os dados coletados foram codificados e transformados de qualitativos em quantitativos e posteriormente organizados em grau de relevância para a pesquisa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características do efluente pós produção

Para Barbosa (2019) a indústria cervejeira gera uma grande quantidade de água uma vez que a mesma é utilizada em diversas etapas do processo produtivo. Sendo sua composição influenciada pelo tipo de cerveja produzido e pelos insumos utilizados.

No entanto, a fermentação e filtragem geram somente 3% do volume final do efluente, mas representam 97% da carga total, incluindo resíduos como bagaço de malte e cevada (PAIVA, 2011).

Nos estudos realizados por Gaudêncio (2013) sobre o efluente das indústrias cervejeiras, foram destacadas as principais características geradas e apresentadas pelo efluente de acordo com diferentes literaturas, explicitadas na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4. Características apresentadas dos efluentes de cervejaria.

Parâmetro	Ahn et al (2001)	Alvarado - Lassman et al. (2009)	Cronin & Lo (1998)	Oktem & Tufekçi (2006)	Simate et al. (2011)
DQO (mg.L ⁻¹)	920 - 1910	2083	600 - 5600	870 - 5065	2000 - 6000
DBO (mg.L ⁻¹)	720 - 1470	1375	750 - 3000	350 - 4200	1200 - 3600
pH	6,3 - 7,0	10	4,0 - 12,0	5 - 11,2	3,0 - 12,0
Temperatura (°C)	-	-	-	-	18 - 40
NTK (mg.L ⁻¹)	16,4 - 36,5	116	300	13 - 50	25 - 80
Fósforo (mg.L ⁻¹)	5,3 - 12,5	4,8	-	1,75 - 7,20	10,0 - 50,0
SST (mg.L ⁻¹)	61 - 378	750	40 - 1000	190 - 970	2901 - 2000
SSV (mg.L ⁻¹)	43 - 200	-	40 - 600	-	-
N-amociacal (mg.L ⁻¹)	3 - 11,5	13,3	-	1,12 - 5	-

Fonte: GAUDENCIO (2013)

Já os estudos realizados por Roveroto (2019) destacam que o descarte de forma incorreta pode causar poluição d'água devido soa nutrientes presentes, levando ao crescimento de algas e esgotando o oxigênio que a vida aquática precisa.

Mostrando também em seus estudos que as características desse efluente apresenta uma grande variação em termos de demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio e concentrações de sólidos, conforme descrito na Tabela 5.

Tabela 5. Características dos efluentes gerados em cervejaria.

Parâmetros	Valores
pH	3 – 12
Temperatura (°C)	18 – 40
DQO (mg L ⁻¹)	2000 – 6000
DBO (mg L ⁻¹)	1200 – 3600
DQO/DBO	1,667
PO ₄ (mg L ⁻¹)	10 – 50
NTK (mg L ⁻¹)	25 – 80

Fonte: ROVEROTO (2019)

Onde= NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; PO₄: fosfato; DQO: Demanda Química de Oxigênio; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio.

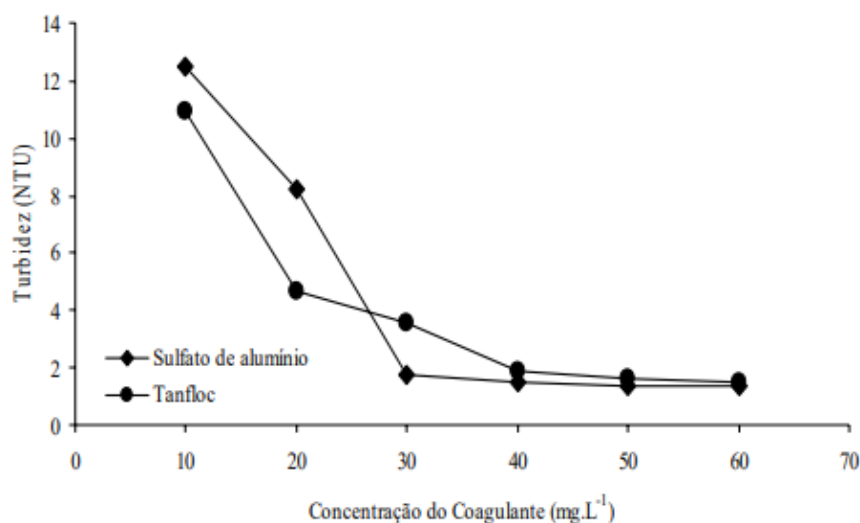
5.2 Características do efluente pós tratamentos

5.2.1 Cor e turbidez do efluente

A cor e turbidez da água estão ligadas diretamente aos sólidos suspensos nela existente, em relação ao estudo realizado por Bassetti et al (2009) com o coagulante TANFLOC (Tanino) o resultado em relação a turbidez foi bem próximo ao verificado “in natura”, 12,67 NTU ⁷ em comparado com o sulfato de alumínio que já é um processo físico-químico.

Ainda de acordo com o estudo de Bassetti et al (2009), a forma do floco originado pela adição de Tanfloc, possui forma irregular, sendo relativamente maior, fazendo com que o mesmo tenha uma maior área de contato se comparado ao floco gerado pela de sulfato de alumínio, fazendo dessa forma, que a clarificação seja mais eficiente, com uma menor cor e turbidez como pode ser observado no gráfico abaixo.

Gráfico 2. Valores de turbidez obtidos para as diferentes concentrações dos coagulantes Tanfloc e Sulfato de Alumínio.



Fonte: Bassetti et al (2009)

Como pode-se observar no Gráfico 2, o Tanino tem uma redução maior na turbidez do efluente até a concentração de 20 mg/L, quando em comparação ao sulfato de alumínio. E segundo o autor Bassetti et al (2009), o valor da turbidez inferior a 12,67 NTU, os valores obtidos permitem a percepção que a concentração de 40 mg/L seria um ótimo parâmetro, ou seja, concentrações superiores não iriam promover um aumento na redução da turbidez do meio.

⁷ Unidades nefelométricas de turbidez que é o instrumento que está medindo a luz dispersa da amostra em um ângulo de 90° em relação a luz incidente, fazendo referência ao método USEPA 180.1.

Por outro lado, o autor Janz (2018) realizou um estudo em duas lagoas facultativas, em três pontos de coletas diferentes, sendo classificadas como o ponto (A) o ponto de coleta após o tratamento preliminar do efluente, o ponto (B) a coleta após o tratamento anaeróbico e o ponto (C) a coleta realizada ao fim do tratamento do efluente, onde a tabela abaixo mostra o valor de cor aparente medidos durante os ensaios.

Tabela 6. Valores de cor aparente medidos durante os ensaios em mgPtCo.L.

Ponto de Coleta	Coagulante	Tempo (minutos)			
		3	13	23	33
A	Tanino	125	61.7	56.7	54
	Sulfato de Alumino	118.3	53	43.7	42
B	Tanino	783.0	741.7	721.7	706.7
	Sulfato de Alumino	786.7	735.3	720.3	702.0
C	Tanino	1290.0	1273.3	1296.27	1293.3
	Sulfato de Alumino	1216.7	1220.0	1223.2	1266.7

Fonte: Adaptado de JANZ (2018)

Onde pode-se constatar que o Tanino obteve um melhor desempenho em todos os testes realizados em comparação ao sulfato de alumínio, tanto pelos testes realizados e comprovados por Bassetti et al (2009), quanto pelos resultados obtidos por Janz (2018) em seus estudos.

Janz (2018) também traz comparativos referentes a porcentagens da redução da turbidez durante as pesquisas realizadas, conforme pode ser observado na tabela abaixo.

Tabela 7. Valores de turbidez medidos durante os ensaios em UNT⁸.

Ponto de Coleta	Coagulante	Tempo (minutos)			
		3	13	23	33
A	Tanino	29,7	13	11.4	10.5
	Sulfato de Alumino	30.8	12.5	10.4	9.8
B	Tanino	112.3	105.7	100.7	98.5
	Sulfato de Alumino	111.3	104.3	102.0	99.07
C	Tanino	115.7	116.0	113.3	113.7
	Sulfato de Alumino	108.7	106.3	109.7	108.7

Fonte: Adaptado de JANZ (2018)

No ponto A da coleta pode-se observar um melhor desempenho e valor nos resultados obtidos durante os testes realizados por Janz (2018), sendo que o efluente inicial possuía uma

⁸Unidades nefelométricas de turbidez que é o instrumento que está medindo a luz dispersa da amostra em um ângulo de 90° em relação a luz incidente.

turbidez de 98,9 UNT, tendo um resultado próximo de redução entre o Tanino (89%) e Sulfato de Alumínio (90%). Já o efluente B possuía inicialmente turbidez de 124 UNT, e o Tanino obteve 21% e o Sulfato de Alumínio 20% na redução do valor inicial. No ponto C a turbidez inicial era de 115 UNT, onde o Tanino obteve somente 1% e o Sulfato de Alumínio 6%.

Podendo ser observado que ao contrário do que foi exposto nos resultados obtidos por Bassetti et al (2009), a redução da turbidez nos testes realizados por Janz (2018) tem um melhor desempenho pelo Sulfato de Alumínio.

Já no estudo realizado por Arruda et al (2015) demonstra que a cor e turbidez nos testes realizados nas estações de tratamento de lodo ativado mostram que os resultados obtidos em valores entre 280,7 e 46,3 mgPt-Co/L para cor, não estão dentro das normas legislativas estabelecidas pelo CONAMA 357/05 para a devolução em corpos hídricos o que indica uma coloração muito forte após a saída do reator; onde a orientação por essa resolução é que o valor deve estar até 75 mg/L fazendo com que seja necessário nesse caso, um pós-tratamento físico-químico para diminuir essas concentrações pois as mesmas podem apresentar altas taxas de degradação.

No que se diz respeito a turbidez, no estudo realizado por Arruda et al (2015) o valor médio ficou entre 10,9 NTU e 10,8 NTU atendendo todos os requisitos para reúso e lançamento nos corpos hídricos, e em comparativo aos estudos realizados por Janz (2018), que nesse caso somente o efluente coletado no ponto A estaria de acordo com a legislação e poderia ser lançado novamente ao corpo hídrico, o destaque fica por conta do Sulfato de Alumínio com resultado de 9,8 NTU e o Tanino com 10,5 NTU, podendo assim ser observado que entre os três métodos comparados para turbidez a melhor opção seria o coagulante de Sulfato de Alumínio.

Já para os parâmetros de cor que estão estabelecidas em lei pelo CONAMA 357/05, os estudos realizados por BASSETTI et al (2009) ambos os procedimentos estão de acordo, por outro lado, os testes e estudos realizados por JANZ (2018) abordam que apenas o Tanino no ponto de coleta A está em acordo e poderia ser lançado de volta aos corpos hídricos. Arruda et al (2015) não aborda diretamente sobre cor do efluente em seu trabalho.

De acordo as legislação estabelecidas pelo CONAMA 357/05 que prevê um valor de até 100 NTU para turbidez e para cor em até 75 mg/L, e também estar de acordo com a Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, que trata sobre os Resíduos Sólidos, onde a cor e turbidez estão relacionadas diretamente aos sólidos suspensos, o não cumprimento desses quesitos e leis impactam negativamente na vida aquática pois, por conta da diminuição da penetração da luz na água, há a redução de fotossíntese dos organismos como a alga por exemplo e alteração de alguns microrganismos que fazendo com que a água fique impossibilitada a ser consumida,

além disso, com o descumprimento dessa lei a empresa ficará com uma má reputação até entrar no padrão solicitado.

Para os processos aeróbios e anaeróbios não foram encontradas nas literaturas utilizadas como base de pesquisa, dados relacionados para cor e turbidez nesses tipos de tratamentos para objeto de discussão.

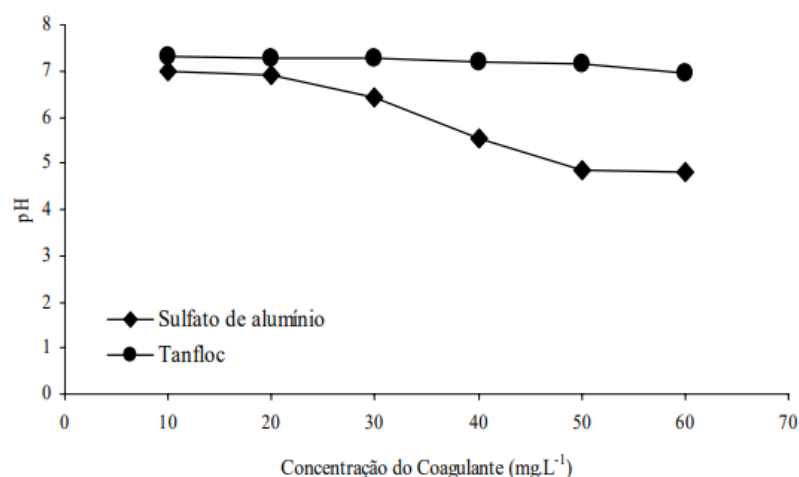
5.2.2 PH

Em relação ao pH do efluente cervejeiro, Bassetti et al (2009) mostra em suas pesquisas que o Tanino não altera o pH da água tratada por não absorver a alcalinidade do meio, mesmo sendo efetivo numa faixa de pH de 4,5 e 8,0, como pode ser observado no Gráfico 2. Além disso os tratamentos estudados como Tanino (vegetal) e Sulfato de Alumínio (físico-químico) influenciam o pH inicial superior ao obtido “in natura” que fica em média 6,93.

Nas pesquisas realizadas, Bassetti et al (2009) concluiu que o Tanfloc (Tanino) se mostra quase que constante em todas as duas concentrações utilizadas, já o Sulfato de Alumínio, observa-se uma redução do pH de acordo o aumento da concentração, onde se justifica no trabalho, pelo fato do Sulfato de Alumínio ser um coagulante ácido, podendo dessa forma reduzir drasticamente o pH da solução para o equilíbrio do mesmo.

Além disso, Bassetti et al (2009) informa em seu trabalho que mesmo com os valores constantes pelo Tanino, o mesmo foi bastante eficiente, por remeter a permanência dos valores constantes da alcalinidade.

Gráfico 3. Valores de pH obtidos para as diferentes concentrações dos coagulantes Tanfloc e Sulfato de Alumínio.



Fonte: BASSETTI et al (2009)

Já os resultados obtidos através das amostras comparativas pelo teste de Tukey entre Tanino e Sulfato de Alumínio por Jaz (2018) mostram também que há uma certa igualdade nas estatísticas representadas por letras na Tabela 8, mas que os valores diferem no ponto de coleta B.

Tabela 8. Comparação das médias do pH de cada coagulante no ponto A e B.

Ponto de Coleta	Coagulante	Média
A	Tanino	12.88 a
	Sulfato de Alumino	12.88 a
B	Tanino	6.875 b
	Sulfato de Alumino	6.5858 b

Fonte: Adaptado de JANZ (2018)

A comparação média realizada por Janz (2018) mostra que no ponto B o Tanino obtém um valor diferente em relação ao Sulfato de Alumínio.

Já nos estudos realizados por Arruda et al (2015) aponta que no sistema de lodo ativado não é possível fazer a correção do pH sozinho, necessitando assim um pós tratamento físico-químico pelo Sulfato de Alumínio, que apresenta eficiência entre os valores de pH entre 5,5 e 8,5 onde se passar disso, os íons do Sulfato de Alumínio ficam solúveis, tornando assim o coagulante ineficiente, apresentando assim a necessidade de utilização do Hidróxido de Sódio, para possíveis correções dos níveis de pH, de forma a atender a faixa ideal entre 6,5 e 8,0 para que os microrganismos não sejam afetados.

Já os testes realizados por Roveroto (2019) apresenta que os valores do afluente estão abaixo do ideal para as bactérias nitrificantes entre 7,0 e 9,0, e desnitrificantes entre 6,5 e 7,5,

onde se fez necessário o ajuste do pH, através da correção com carbonato de cálcio, atingindo dessa forma a faixa ideal para o funcionamento das bactérias. Onde pode-se observar que o pH do efluente é maior por conta do consumo de ácidos orgânicos pelos microrganismos no processo de decomposição da matéria orgânica.

Nos estudos realizados por Sereno Filho et al (2009) aborda que antes da realização do tratamento biológico necessita-se da correção do pH próximo a neutralidade para que o reator anaeróbio tenha um bom desempenho. Onde sugere-se que a alcalinidade esteja na faixa entre 1000 a 5000 mg/l, pois o monitoramento da alcalinidade no sistema anaeróbio é mais eficaz do que o pH, pois um é linear e o outro é logaritmo.

Ainda nos estudos realizados por Sereno Filho et al (2009) os efeitos do pH na digestão anaeróbia se manifestam afetando a atividade microbiana e a toxicidade dos compostos e os ácidos formados no processo tendem a reduzir o pH tornando-o ácido e inadequado aos processos anaeróbios. Desta forma, destaca-se a importância do efeito do tamponante de alcalinidade, que evita as quedas bruscas e oscilações frequentes pelo pH.

Nas pesquisas realizadas por Sereno Filho et al (2009) traz os resultados médios mensais dos parâmetros de auto monitoramento da estação de tratamento de efluentes, conforme Tabela 9.

Tabela 9. Resultados médios mensais dos parâmetros de auto monitoramento da estação de efluentes – ETE.

Parâmetros	Janeiro de 2009		Fevereiro de 2009		Março de 2009	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
pH	8,35	7,71	8.42	7,85	8,22	7,99

Fonte: Adaptado de SERENO FILHO et al (2009)

De acordo a Tabela 9 o pH do efluente monitorado por Sereno Filho et al (2009) estão dentro dos parâmetros exigidos pela resolução do CONAMA N° 430/2011.

Podendo assim fazer o comparativo que os estudos realizados por Janz (2018) e Bassetti et al (2009) trazem resultados parecidos de pH nos dois tipos de tratamentos observados que são os de Tanino (vegetal) e o físico-químico, podemos também observar que o sistema estudado por Arruda et al (2015) mostra que a estação de lodo ativado não consegue realizar a estabilização do pH da água sendo necessário realizar um pós tratamento com o sistema físico-químico e que no sistema anaeróbio apontado do Sereno Filho (2009) e Roveroto (2019), necessita-se antes do tratamento do efluente uma estabilização do pH para que as bactérias anaeróbicas consigam realizar seus processos.

Segundo as leis vigentes do CONAMA 357/05 o pH do efluente tratado para devolução ao meio ambiente tem que estar entre os valores de 5 e 9, valores acima ou abaixo disso impactam no meio ambiente e a vida aquática, os peixes por exemplo morrem quando o pH está abaixo do esperado e quando está alto os mesmos apresentam uma maior frequência respiratória, o não cumprimento dessa lei, impacta negativamente na imagem da indústria perante a sociedade, além da mesma ter que arcar com valores de multa pelo não cumprimento da lei. Além disso, a empresa terá que tratar toda água contaminada e comprovar através de testes para assim ser ter a punição descartada.

5.2.3 Remoção de DQO e DBO

Os testes realizados por Janz (2018) pelo sistema vegetal e físico-químico mostram que a demanda química de oxigênio (DQO) da primeira estação do efluente (A) em sua condição bruta tinha valor em 1450 mg.L^{-1} , onde após utilização dos coagulantes foi obtido redução do mesmo, sendo que o melhor resultado obtido foi com o coagulante Tanino, com redução em 33% do DQO final. Já os testes propostos com Sulfato de Alumínio tiveram resultado semelhante, com redução de 31% do DQO do efluente tratado.

Já na segunda estação de tratamento (B) o melhor coagulante foi o Sulfato de Alumínio, apresentando redução de 20% do DQO final, ao contrário do que aconteceu com o Tanino que em vez de diminuir o valor do DQO o mesmo aumento em 1%.

E por fim, os testes de Janz (2018) na estação do ponto C, mostram que o Sulfato de Alumínio, com redução de 8%, já o Tanino obteve 6% de redução do DQO final.

As tabelas abaixo representam os resultados com comparativos dos testes realizados por Janz (2018) nas diferentes estações de tratamento.

Tabela 10. Comparativo das médias de remoção da DQO.

Ponto de Coleta	Coagulante	Média
A	Tanino	32,6200 A
	Sulfato de Alumino	30,8406 A
B	Tanino	-0,1000 A
	Sulfato de Alumino	20,0000 B
C	Tanino	6,2232 A
	Sulfato de Alumino	8,0411 A

Fonte: Adaptado de JANZ (2018)

Podendo ser observado na Tabela 10 que no ponto de coleta A, o Tanino obteve uma melhor redução em comparação ao Sulfato de Alumínio que obteve um resultado próximo ao coagulante anterior. Já em comparação ao ponto de coleta B, o Sulfato de Alumínio obteve uma média maior, em comparação ao Tanino e por fim, no ponto C de coleta, os valores demonstram que existe pouca variância entre os coagulantes.

Já nos testes realizados por Sereno Filho et al (2009) pelos coagulantes aeróbio e anaeróbio, apresenta em seus estudos as eficiências de remoção do DQO e DBO (demanda bioquímica de oxigênio), da ordem de remoção entre 90% a 96%, mas que existem muitas oscilações no sistema, o que pode ocasionar variação na qualidade do efluente, e o comprometimento com os valores obtidos no final do tratamento que podem não ficar de acordo com as normas padrões ambientais conforme a Tabela 11.

Tabela 11. Síntese das eficiências médias de remoção de DQO e DBO da ETE.

Parâmetros	Janeiro 2009	Fevereiro 2009	Março 2009
Remoção DQO global (%)	85,8	90,7	90,3
Remoção DBO global (%)	91,6	90,7	92,9
Remoção DQO IC (%)	81,7	81,1	85,1
Remoção DBO IC (%)	77,9	79,5	84,5
Vazão (m ³ /h)	132,0	117,2	106,7

Fonte: SERENO FILHO et al (2009)

Arruda et al (2015) mostra em seus testes com lodo ativado que, a saída do efluente pós tratamento ainda apresentam médias de DQO e DBO altas, com $666 \pm 518,9$ mgO₂/L e $147 \pm 78,5$ mgO₂/L, sendo que dependendo do desvio padrão podem não atender os padrões exigidos, observando ainda que nos pontos mínimos apresentam os mesmos parâmetros de saída, em 80,0 para DQO e 40,0 para DBO.

De acordo com a Tabela 12 realizada por Arruda et al (2015) o efluente passou por processo anaeróbio de tratamento para que fosse diminuído a sua carga orgânica média para 3110 ± 782 mgO₂/L, obtendo uma eficiência de 98,3% em DQO e de 96,18% em DBO.

Tabela 12. Valores médios de DQO e DBO do efluente cervejeiro.

Variável	DQO	DBO
	Efluente Cervejeiro	Efluente Cervejeiro
Média (mgO ₂ /L)	3110	647
Mínimo (mgO ₂ /L)	1200	310
Máximo (mgO ₂ /L)	4540	1048
C.V. (%)	25,1	26
Desvio Padrão	782	168,1

Fonte: Adaptado ARRUDA et al (2015)

Já nos testes de Roveroto (2019) apresentam na Tabela 13 os valores médios de DQO do afluente e efluente pelos meios biológicos aeróbios e anaeróbios.

Tabela 13. Média e desvio padrão dos resultados do DQO e afluente e efluente com redução do DQO.

Experimento	DQO (mg.L-1)		Redução de DQO
	Afluente	Efluente	
1	2682 ± 30,08	209 ± 27,83	92,19
2	2252 ± 11,81	338 ± 11,63	82,75
3	2596 ± 79,61	729 ± 67,10	71,91
4	2354 ± 7,91	346 ± 31,48	85,26
5	2175 ± 60,70	566 ± 14,13	73,95
6	2294 ± 10,81	828 ± 2,65	62,87
7	2175 ± 60,70	615 ± 7,74	71,69
8	2196 ± 17,10	851 ± 3,62	61,22
9	2196 ± 17,10	1129 ± 3,06	48,58
10	2196 ± 17,10	842 ± 7,86	61,65
11	2196 ± 17,10	960 ± 5,30	56,26
12	2250 ± 10,82	1302 ± 7,40	42,13

Fonte: Adaptado ROVEROTO (2019)

Ao analisar os resultados de DQO do efluente, pode-se observar que quando maior o tempo de aeração, menor é o valor de DQO. No primeiro experimento de Roveroto (2019) foi o que apresentou o menor valor entre os demais, tendo uma eficiência de remoção da matéria orgânica em 92%.

Podendo assim ser observado que, de acordo o Decreto n° 7.404, de 23 de dezembro de 2010 que dispõe sobre a devolução das águas tratadas ao meio ambiente, observamos que a junção dos sistemas aeróbio e de lodo ativado testado por Arruda et al (2015) apresentam os melhores resultados, com redução de DQO em 98,3% e DBO em 96,18% e estando de acordo com o CONAMA 357/05 que especifica o valor de redução do DBO em no mínimo 60%. Já os testes e estudos realizados por Sereno Filho et al (2009) nos processos anaeróbios e aeróbios apresentam uma redução entre 90 a 96%. Os dados coletados por Rovoreto (2019) pelo sistema aeróbio também apresentam resultado próximo aos autores anteriores, com melhor resultado em 92%, e ficando com o pior resultado temos o processo físico-químico e vegetal apresentado por Jaz (2018) obtendo os melhores resultados com redução de apenas para o Tanino em 33% e para o Sulfato de Alumínio em 20%.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A água residuária de cervejaria apresenta uma alta concentração de matéria orgânica o que dificulta o seu tratamento. Podendo ser observado com os comparativos realizados dentro dos resultados e discussões com a apresentação de dados coletados de alguns autores.

Dessa forma podemos observar que, alguns processos se destacam em determinados momentos do estudo realizado. Como exemplo temos o destaque para Sulfato de Alumínio no processo físico-químico na melhoria da cor e turbidez do efluente em relação aos outros coagulantes demonstrados, com 9,8 NTU de resultado conforme apresentado por Janz (2018) e estando dentro das normas estabelecidas pelo CONAMA.

Pode-se observar também que os sistemas de lodo ativado, aeróbios e anaeróbios são ineficientes sozinhos no que se diz respeito ao tratamento do pH nas estações de tratamento, onde todos precisam que o pH seja estabilizado para que assim ocorra o procedimento. Onde temos também que o coagulante de lodo ativado tem um bom desempenho com o tratamento de pH após utilização de Sulfato de Alumínio, ficando com resultado entre 6,5 e 8,0. Por outro lado, observamos também que apenas o Sulfato de Alumínio tem eficiência completa no tratamento de pH, ficando com resultado dentro das normas estabelecidas pelo CONAMA e que o Tanino não influencia os dados referente ao pH.

Portanto, ao observar os resultados obtidos pode-se concluir que o sistema de lodo ativado com a junção do sistema físico-químico obtém os melhores resultados no que se refere a eficiência dos tratamentos de efluentes das cervejarias, pois ficam dentro dos padrões exigidos para reuso e lançamento dos corpos hídricos.

Além disso, observamos que o Sulfato de Alumínio e o Tanino mostram eficiência no tratamento de efluente, obtendo em vários momentos valores próximos. O Tanino por ser um coagulante novo e pouco explorado ainda precisa passar por outros testes e estudos como forma de avaliação para a verificação de sua possível substituição no lugar do Sulfato de Alumínio e sua eficiência, visto que inexistem a presença de metais na água tratada e no lodo gerado após passar pelo tratamento desse coagulante.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 15784 - **Produtos químicos utilizados no tratamento de água para consumo humano — Efeitos à saúde — Requisitos**. p. 33. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). O Índice de Segurança Hídrica (ISH). **PLANO NACIONAL DE SEGURANÇA HÍDRICA**. Brasília, DF: ANA. Disponível em: <<https://pnsh.ana.gov.br/seguranca>>. Acesso em: 07 dez. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (BRASIL). **Relatório da ANA apresenta situação das águas do Brasil no contexto de crise hídrica**. Brasília, DF: ANA. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias/relatorio-da-ana-apresenta-situacao-das-aguas-do-brasil-no-contexto-de-crise-hidrica>>. Acesso em: 07 dez. 2021.

ALCANTARA, Carem Vieira. **Estudo, monitoramento e avaliação de estações de tratamento de efluentes industriais: estudo de caso de indústria de polímeros e cervejaria**. Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE. 2012.

ANDRES JUNIOR, Décio Antonio. **Tratamento de águas de indústrias de bebidas utilizando tratamento convencional e processos de separação com membranas**. Pós-graduação. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões Uri Erechim. Erechim, Rio Grande do Sul. 2015.

ARRUDA, Claudia S. C. de, ORTIZ, Isabela G., PACHECO, Renan P., BUENO, Rodrigo F.. **Pós-tratamento de efluente cervejeiro com coagulantes naturais**. InterfacEHS – Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade - Vol. 10 no 1 – Junho de 2015. São Paulo, SP. Disponível em: <http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2015/06/130_InterfacEHS_ed-vol_10_n_1_2015.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2021.

BARBOSA, Laura Araújo Agapito. **Caracterização e análise do processo de tratamento de efluente de cervejaria para potencial reuso – Comparação entre indústria de grande porte e uma cervejaria artesanal.** TCC. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. 2019.

BANDOCH, Marcos Gutzaki. **Sistema de captação e aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis: uma aplicação no bloco 6ª e 6B da Univali, campos Balneário Camboriú.** TCC. Universidade do Vale do Itajaí. Itajaí, SC. 2014.

BORGES, Marcio Silva. **Gestão Socioambiental: um estudo de caso sobre a adoção de políticas públicas no aproveitamento de resíduos cervejeiros na pecuniária fluminense.** Mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ. 2009.

BRASIL. **Constituição Federal. Política Nacional de Recursos Hídricos.** Brasília, DF, 8 de jan., 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm> acesso em 16 nov. 2020.

BASSETTI, Fátima J., Corala, L.A., RB, R. Bergamasco. **Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC) em Substituição ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Águas para Consumo.** 2nd International Workshop | Advances in Cleaner Production. KEY ELEMENTS FOR A SUSTAINABLE WORLD: ENERGY, WATER AND CLIMATE CHANGE. São Paulo – Brazil – May 20th-22nd – 2009. Disponível em : <<http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4a/4/F.%20J.%20Bassetti%20-%20Resumo%20Exp.pdf>>. Acesso em: 17 dez. 2021.

CAVALCENTE, Luciana Miranda., MACHADO, Luiza Carla Girad Teixeira., LIMA, Aline Maria Meiguins. **Avaliação do desempenho ambiental e racionalização do consumo de água no segmento industrial de produção de bebidas.** Rev. Ambient. Água vol. 8 n. 3 Taubaté - Sep. / Dec. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/H9ZvPsJdJnFC3hdvjndKLTv/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 7 dez. 2021.

CAVALCANTI, Rafael Felipe Ramos de Rangel Moreira., FONTGALLAND, DA SILVA, José Erivaldo., Isabel Lausanne. Custos da água na produção de cerveja: **Uma análise econômica comparativa. Ano 2021.** Research, Society and Development, v. 10, n. 2. Campina Grande, Paraíba. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/12765>>. Acesso em 20 maio 2022.

CEBDS- **Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável.** Ano 2018. Rio de Janeiro. Disponível em <<https://cebds.org/escassez-de-agua/#.X6NFw4hKjIU>>, acesso em 15 jul. 2020.

CERVBRASIL - **Associação Brasileira da Indústria da Cerveja. Anuário 2020.** São Paulo. Disponível em < [https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/com-crescimento-de-14-4-em-2020-numero-de-cervejarias-registradas-no-brasil-passa-de-1-3-mil/anuariocerveja2.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/com-crescimento-de-14-4-em-2020-numero-de- cervejarias-registradas-no-brasil-passa-de-1-3-mil/anuariocerveja2.pdf)>. Acesso em 10 fev. 2022.

CONSEQCONSULTORIA. **Consequências do descarte incorreto dos efluentes.** Disponível em: <<https://conseqconsultoria.com.br/consequencias-descarte-incorreto-efluentes/>>. Acesso em: 07 dez. 2021.

DERISIO, José Carlos. **Introdução ao Controle de Poluição Ambiental.** Signus, 3. ed., São Paulo, v.1, p. 15-85, 2007.

FREITAS, Carlos Felipe. **Infográfico: As maiores cervejarias do mundo de 2020.** Disponível em: <https://catalisi.com.br/infografico-as-maiores-cervejarias-do-mundo-de-2020/>. Acessado em: 09 fev. 2022.

GAUDENCIO, Bruno Orlando et al. **Avaliação do desempenho de dois reatores anaeróbios de leito fixo e fluxo ascendente alimentados com efluente de indústria cervejeira.** Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013.

GRAYSON, D.; HODGES, A. **Compromisso social e gestão empresarial.** São Paulo: Publifolha, 2002.

JANZ, Fellipe Jhordã Ladeia. **Coagulantes orgânicos e sulfato de alumínio aplicados no tratamento de efluente de indústria cervejeira**. TCC. Faculdade Tecnológica do Paraná. Londrina, PA. 2018.

KOCHENBORGER, Guilherme. **Tratamento físico-químico para efluente de cervejaria**. TCC. Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, RS. 2012.

LEMONS, Jesus Rodrigues. **Tópicos integrados em botânica. Ponta Grossa-Paraná 2021**. Disponível em:
<<https://sistema.atenaeditora.com.br/index.php/admin/api/artigoPDF/45443>>. Acesso em: 10 dez. 2021.

LIMA, Thalita Lucindo Oliveira de. **Caracterização do efluente de uma indústria de suco e avaliação de métodos de tratamento com adsorção, coagulação e floculação**. TCC. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, PE. 2018.

MACIEL, Camila – Agência Brasil. **Produção de lixo no país cresce 29% em 11 anos**. São Paulo. Ano 2015. Disponível em <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-07/producao-de-lixo-no-pais-cresce-29-em-11-anos-mostra-pesquisa-da-abrelpe>>, acesso em 05 nov. 2020.

MENEZES, Clara Maria de Souza. **Reúso de efluente cervejeiro tratado para fins agrícolas – Um estudo de caso no município de Estância/Se**. TCC. Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, SE. 2019.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria: uso racional e reúso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 143 p.

MANGRINCH, A. S.;* Doumer, M. E.; Mallmann, A. S.; Wolf, C. R. **Química Verde no Tratamento de Águas: Uso de Coagulante Derivado de Tanino de Acacia mearnsii**. Rev. Virtual Quim., 2014, 6 (1), 2-15. Data de publicação na Web: 17 de julho de 2013. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v6n1a02.pdf>. Acesso em: 01 dez 2021.

MARSARIOLI, Mauricio. **Identificação e avaliação de geração de resíduos em processo de produção de cerveja em microcervejaria e proposição de reutilização**. Pós-Graduação. Universidade do Vale do Taquari. Lajeado, RS.2019

OLIVEIRA NETTO, Antonio Pedro de. **Reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo, com recirculação da fase líquida, aplicado ao tratamento de esgoto sanitário**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PAIVA, Gabriel Mafra. **Estudo do processamento e mercado de cervejas especiais no Brasil**. TCC (Tecnólogo) – Faculdade de Tecnologia Termomecânica, São Bernardo do Campo, 2011.

PEREIRA, Francisco Savio Gomes. **Química ambiental**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco-IFPE. Recife, PE. 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Pereira-57/publication/311994454_ENVIRONMENTAL_CHEMISTRY_in_portuguese_QUIMICA_AMBIENTAL/links/58683c9108ae329d620dfcd7/ENVIRONMENTAL-CHEMISTRY-in-portuguese-QUIMICA-AMBIENTAL.pdf. Acesso em: 11 fev. 2022.

Poluição das águas subterrâneas. CETESB – **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/informacoes-basicas/poluicao-das-aguas-subterraneas/>. Acessado em: 10 dez 2021.

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. **Tratamento de efluentes da cervejaria Germânia com biorreator à membrana**. São Paulo, SP. 2016. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/video/tratamento-de-efluentes-da-fabrica-da-cervejaria-germania-com-biorreator-membrana/>. Acesso em: 10 dez 2021.

PORTES, Amanda costa. **Pré-tratamento de efluente em microcervejaria por adsorção empregando adsorventes alternativos**. Pós Graduação. Universidade Tecnológica do Paraná. Curitiba, PR. 2016.

REBELLO, Flávia de F. P.. **Produção de Cerveja. Revista Agroambiental, Inconfidentes/MG: V01, n°3, 2009. Disponível em <<https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/224/220>>. Acesso em 28 jan. 2021.**

RESENDE, Letícia Passos. **Reuso de água nas indústrias de alimentos e bebidas.** Revista Hydro, São Paulo, ano 7, n.70, p.16-21, Agosto,2012.

REINOLD, Matthias Rembert. **Água: Base para uma boa cerveja**, 2011. Disponível em: <<http://www.cervesia.com.br/tratamento-de-efluentes.html>> Acesso em: 30 dez. 2021.

ROVORETO, Gabriela Pereira. **Tratamento secundário e terciário de água residuária de micro cervejaria em reator em batelada com aeração intermitente.** 2019. Pós Graduação. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, PR 2019.

ROSA, N.A; AFONSO, J.C. **Química e a sociedade: A química da cerveja.** Química Nova Escola. São Paulo – SP, n. 2, p. 98-105, maio 2015.

SANTOS, Mateus S.; RIBEIRO, Flávio M.. **Cervejas e Refrigerantes.** São Paulo: CETESB, 2005. Disponível em: https://www.cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/cervejas_refrigerantes.pdf. Acesso em 28 jan. 2021.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Reciclagem de água.** Disponível em: http://sustentabilidade.sebrae.com.br/Sustentabilidade/Para%20sua%20empresa/Publica%C3%A7%C3%B5es/2016_01_RECICLAGEM-DE-%C3%81GUA.pdf. Acesso em: 13 fev. 2022.

SERENO FILHO, José. A.; SANTOS, André Felipe M. S.; BAHÉ, Jackeline Maria C. F; GOBBI, Clarice N.; LINS, Gustavo A.; ALMEIDA, Josimar R. **Tratamento de efluentes da indústria de bebidas tem reator anaeróbio de circulação interna.** Revista internacional de ciências. Vol 3. n. 1 2013.

SELUY, Lisandro G.; ISLA, Miguel A. **A process to treat hogh-strength brewery wastewater via ethanol recovery and vinasse fermentation.** Industrial & Engineering Chemistry Research, v. 53, p 17043-17050, 2014.

SILVA, Claudenice Paulino da. **Influência do uso de coagulantes na concentração de metais do deságue por sistemas de geomembranas - Estudo em escala piloto.** Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE. 2016.

SILVA, João B. A.. Cerveja. In: Venturini Filho, Waldemar G.. **Tecnologia de Bebidas – Matéria-Prima, Processamento, BPF / APPCC, Legislação e Mercado.** 1 ed.. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

SILVA, David. **Água para produção de cerveja.** 2014. Disponível em: <<https://www.condadodacerveja.com.br/agua-para-producao-de-cerveja-minerais-e-dureza/>>. Acesso em: 20 maio 2022.

SIMATE, Geoffrey S.; CLUETT, John; IYUKE, Sunny E.; MUSAPATIKA Evans T.; NDLOVU, Sehliselo; WALUBITA, Lubinda F.; ALVAREZ, Alex E. **The treatment of brewery wastewater for reuse: state of art. Desalination.** Vol 273. P 235-437, 2011.

SOUTO, Ana Lucia. **A água usada na produção de alimentos.** São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://pt.khanacademy.org/science/5-ano/matria-e-energia-a-gua-na-terra/utilizando-a-gua/a/a-agua-usada-na-producao-de-alimentos>>. Acesso em: 10 dez. 2021.

TONHATO JUNIOR, Alcides. **Uso do tanino vegetal como agente flocculante de microalgas: estudo de caso de tratamento de efluente de cervejaria.** Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Pós-graduação. Toledo, Paraná. 2015.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos – 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental;** Universidade Federal de Minas Gerais. Ano 2005. Disponível em: <https://books.google.com.br/books/about/Introdu%C3%A7%C3%A3o_%C3%A0_qualidade>

[_das_%C3%A1guas_e_a.html?id=1pxhLVxVFHoC&printsec=frontcover&source=kp_read_button&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false](#)>. Acesso em 22 out. 2020.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 472 p.:il. – (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v. 1.

VON SPERLING, Marcos. **Basic Principles of Wastewater Treatment - Biological Wastewater Treatment Series** (v. 2). Paperback. 200p. 2007.

ZOBY JUNIOR, Luiz Carlos. **Estudo de estações de tratamento de efluentes industriais e domésticas: Avaliação físico-química e da microbiota**. 2018. Pós Graduação. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE.