



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

**CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO PROCESSO DE TRATAMENTO
DE EFLUENTE DE CERVEJARIA PARA POTENCIAL REÚSO -
COMPARAÇÃO ENTRE UMA INDÚSTRIA DE GRANDE PORTE E
UMA CERVEJARIA ARTESANAL**

LAURA ARAÚJO AGAPITO BARBOSA

BELO HORIZONTE

2019

LAURA ARAÚJO AGAPITO BARBOSA

**CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO PROCESSO DE TRATAMENTO
DE EFLUENTE DE CERVEJARIA PARA POTENCIAL REÚSO -
COMPARAÇÃO ENTRE UMA INDÚSTRIA DE GRANDE PORTE E
UMA CERVEJARIA ARTESANAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. MSc. André Luiz Marques Rocha

BELO HORIZONTE

2019

BARBOSA, Laura Araújo Agapito.

S---

Caracterização e análise do processo de tratamento de efluente de cervejaria para potencial reúso - comparação entre uma indústria de grande porte e uma cervejaria artesanal / Laura Araújo Agapito Barbosa, - Registro: 2019.

80f; --cm.

Orientador: Prof. Ms. André Luiz Marques Rocha

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2019

1. Tratamento de Efluente Industrial. 2. Cervejaria. 3. Potencial para Reúso de Água na Indústria I. Barbosa, Laura Araújo Agapito. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Caracterização e análise do processo de tratamento de efluente de cervejaria para potencial reúso - comparação entre uma indústria de grande porte e uma cervejaria artesanal.

CDD --- ---

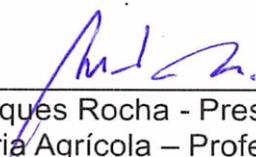
Laura Araújo Agapito Barbosa

CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE DE CERVEJARIA PARA POTENCIAL REÚSO DE ÁGUAS – COMPARAÇÃO ENTRE UMA INDÚSTRIA DE GRANDE PORTE E UMA CERVEJARIA ARTESANAL

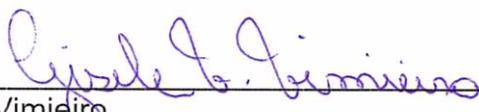
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Data de aprovação: 02 / 12 / 2019

Banca examinadora:



André Luiz Marques Rocha - Presidente da Banca Examinadora
MSc. Engenharia Agrícola – Professor CEFET-MG – Orientador



Gisele Vidal Vimeiro
DSc. Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Professora CEFET-MG



Daniel Brianezi
DSc. Ciência Florestal – Professor CEFET-MG

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e Nossa Senhora, por se fazerem presentes em minha vida, clarear meus pensamentos e iluminar sempre meu caminho, me fortalecendo perante os momentos de inseguranças e dando-me forças para continuar quando muitas vezes havia motivos para desistir. A Eles dirijo meus mais sinceros agradecimentos por estar, hoje, onde estou.

Aos meus pais, que me apoiaram em todos os momentos, me entenderam e me mostraram que sou capaz; agradeço por terem se doado tanto para que eu pudesse seguir em frente. Fizeram dessa caminhada mais segura, com a certeza de que eu teria sempre com quem contar.

Às minhas irmãs, Laís e Lívia, obrigada por todo apoio e carinho. Ao Gabriel, pelo constante incentivo e amor; por me tranquilizar sempre que precisei e enxugar minhas lágrimas nos momentos difíceis. A todos os meus amigos e família, que de uma ou de outra forma, estiveram comigo nesta jornada, em especial à Amanda e Laíssa por terem me ajudado tanto.

Ao meu orientador, Prof. Ms. André Luiz Marques Rocha, pelo imprescindível e valioso apoio prestado, além da confiança, carinho, paciência e ensinamentos em todas as fases deste trabalho. Agradeço por todos os momentos em que me tranquilizou perante os problemas ao longo do desenvolvimento deste estudo e, principalmente, por ter me direcionado quando foi necessário mudar completamente os caminhos.

Agradeço, também, à Empresa Cecrisa, onde o trabalho começou a ser realizado e devido a contratempos não pode dar continuidade. Obrigada por toda disponibilidade e solicitude apresentada.

Ao CEFET-MG, por ter me proporcionado uma experiência incrível de graduação; e a todos os professores do Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental a minha grata satisfação em conviver e muito aprender.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes.”

(Marthin Luther King)

RESUMO

BARBOSA, Laura Araújo Agapito, *Caracterização e análise do processo de tratamento de efluente de cervejaria para potencial reúso - comparação entre uma indústria de grande porte e uma cervejaria artesanal*. 2019. 80f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

As indústrias cervejeiras ocupam lugar de destaque no cenário econômico do Brasil, mas apesar da sua importância, esse ramo industrial ocasiona significativos impactos ao meio ambiente, dentre eles a poluição das águas pelo lançamento de efluentes líquidos não tratados e o alto consumo de recursos hídricos frente ao cenário atual de escassez. Em virtude da elevada carga orgânica desses efluentes, é fundamental que eles sejam tratados, minimizando os efeitos negativos ocasionados pelo lançamento, e, além disso, para que possam ser reutilizados dentro da própria empresa. Para isso, é essencial que as Estações de Tratamento operem de forma adequada. Assim, esse trabalho objetivou avaliar o sistema de tratamento de efluente industrial de uma indústria cervejeira e a potencial aplicação do reúso como prática sustentável, comparando uma empresa de grande porte com uma cervejaria artesanal. Para isso, foram realizadas pesquisas na literatura quanto ao efluente gerado e visitas técnicas à duas indústrias do ramo, analisando os dados a partir das informações obtidas. Os resultados indicaram que o sistema de tratamento adotado (Reator UASB acrescido de Lodos Ativados) pela Empresa A (grande porte) apresentou um desempenho satisfatório no atendimento aos limites de lançamento vistos em lei. Entretanto, no caso da Empresa B (artesanal), constatou-se a inexistência de sistema de tratamento do efluente. Dessa forma, concluiu-se a importância do mesmo, assim como do reúso de água como prática sustentável em indústrias do ramo e a influência do porte da indústria na adoção dessas práticas.

Palavras-Chave: Efluente Industrial. Cervejaria. Tratamento de Efluente. Reúso.

ABSTRACT

BARBOSA, Laura Araújo Agapito, Characterization and analysis of the brewery effluent treatment process for potential reuse - comparison between a large industry and a craft brewery. 2019. 80f. Monograph (Degree in Environmental and Sanitary Engineering) – Department of Environmental Science and Technology, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

The beer industries occupies a very significant place in Brazilian economic scenario, but, despite its importance, this industrial branch causes negative effects in the environment, such as the pollution caused by dispersal of effluents and high consumption of water resources in the current scarcity scenario. Due to the high organic loads of these effluents, it's essential that they should be treated, minimizing the effects caused by the release, and also be reused inside the company itself. For this, it is essential that Treatment Stations operate properly. Thus, this work aims to evaluate the industrial wastewater treatment system of a beer industry and the potential application of reuse it as sustainable practice, comparing a large company and a craft brewery. To this, research has been conducted into the literature about the generated vs effluent and technical visits to two industries in the area, analyzing the data from the information provided. The results indicate that the treatment system adopted (UASB Reactor plus Activated Sludge) by Company A (a large industry) presents a satisfactory performance in the release limits in attendance of the law. However, in the case of Company B (an artisan brewery), it is verified that there is no effluent treatment system. Thus, conclude its importance as well as the use of water as sustainable practices in industries of the industry and the influence of industry size in the adoption of these practices.

Keywords: Industrial Effluent. Brewery. Effluent treatment. Reuse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Enquadramento dos corpos d'água;

Figura 2 – Impurezas contidas na água;

Figura 3 – Produção de cerveja por país entre 1990 a 2016;

Figura 4 – Fluxograma esquemático do processo produtivo de cervejas;

Figura 5 – Desenho esquemático do funcionamento de um reator UASB;

Figura 6 – Localização dos municípios de Juatuba e Nova Lima em Minas Gerais e das respectivas cervejarias: Empresa A e B;

Figura 7 – Percentual de água retirada de cada fonte utilizada pela Empresa A em todas as unidades existentes pelo Brasil;

Figura 8 – Ilustração de um Tanque de Equalização;

Figura 9 – Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente semelhante ao observado na Empresa A;

Figura 10 – Ilustração de um reator aeróbico em processo de aeração;

Figura 11 – Decantadores secundários circulares com raspadores automáticos;

Figura 12 – Processo de tratamento de Esgoto industrial da Empresa A;

Figura 13 – Limpeza dos barris de chopp da Empresa B.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais aplicações de reúso de água na indústria;

Tabela 2 – Parâmetros requeridos para água de reúso;

Tabela 3 – Composição qualitativa dos efluentes gerados nas principais fontes geradoras;

Tabela 4 - Características dos efluentes de cervejaria;

Tabela 5 – Comparação genérica entre sistema aeróbio e anaeróbio no tratamento de águas residuárias;

Tabela 6 – Parâmetros obtidos em campo quanto à qualidade do efluente gerado da Empresa A;

Tabela 7 – Classificação de empreendimento produtor de cerveja de acordo com a DN COPAM 74/2004;

Tabela 8 – Parâmetros apresentado pela empresa A;

Tabela 9 – Caracterização de um efluente de cervejaria.

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA – Agência Nacional das Águas

ARSAE – Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais

CERH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

COV – Carbono Orgânico Volátil

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DN – Deliberação Normativa

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

ETEI – Estação de Tratamento de Efluente Industrial

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

FINJAN – Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

LO – Licença de Operação

MBR – Biorreatores a Membrana Submersa

NBR – Norma Brasileira

OD – Oxigênio Dissolvido

OMS – Organização Mundial da Saúde

P+L – Produção mais Limpa

pH – Potencial Hidrogeniônico

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

PRECEND – Programa de Recebimento e Controle de Efluentes Para Usuários Não Domésticos

PVPP – Polivinil polipirrolidona

RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte

RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte

SIAM – Sistema de Informações Ambientais

SINDCERV – Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja

SINDUSCON - Sindicato da Indústria da Construção Civil de Grandes Estruturas do Estado de São Paulo

SST – Sólidos Suspensos Totais

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. Contextualização do tema.....	14
1.2. Relevância e justificativa.....	16
2. OBJETIVO.....	17
2.1. Objetivo geral.....	17
2.2. Objetivos específicos.....	17
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3.1. Água como recurso.....	18
3.1.1. A escassez e gerenciamento de Recursos Hídricos.....	19
3.1.2. Água na indústria.....	20
3.2. Padrão de qualidade e lançamento.....	21
3.2.1. Parâmetros de análise da qualidade da água.....	23
3.3. Reúso de água.....	26
3.3.1. Legislação pertinente.....	28
3.3.2. Aceitabilidade e custos de processos de reúso.....	30
3.3.3. Benefícios da aplicação do sistema de reúso.....	31
3.4. A indústria cervejeira.....	32
3.4.1. Processo produtivo.....	35
3.4.2. Água na indústria cervejeira.....	38
3.4.3. Caracterização do efluente gerado.....	39
3.5. Tratamentos mais utilizados para efluente de cervejaria.....	41
4. METODOLOGIA.....	45
4.1. Método de Abordagem.....	45
4.2. Área de Estudo.....	45
4.3. Procedimentos de coleta e análise de dados.....	47
4.4. Visitas técnicas.....	48
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
5.1. Caracterização da Empresa A.....	49
5.1.1. Efluente gerado.....	49
5.1.2. Descrição do Sistema de Tratamento de Efluente.....	53
5.1.3. Parâmetros analisados.....	59
5.1.4. Análise do sistema apresentado.....	60
5.1.5. Reúso de água e práticas sustentáveis.....	66

5.2. Caracterização da Empresa B	67
6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
7. PROPOSTA DE CONTINUIDADE.....	74
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização do tema

O aumento do consumo de água gerado pelo conjunto das atividades humanas em seus múltiplos usos, associado ao crescimento demográfico, vem intensificando cada vez mais a problemática da escassez de recursos hídricos. Dessa forma, a redução da disponibilidade de água em quantidade e qualidade, se tornam fatores limitantes a serem enfrentados pela sociedade, afetando seu próprio processo de desenvolvimento (PHILIPPI JR, 2003).

Para restabelecer o equilíbrio entre oferta e demanda de água e garantir a sustentabilidade do desenvolvimento econômico e social, é necessária a aplicação de métodos e sistemas alternativos em função das diferentes características observadas (SAUTCHUK et al., 2004). Diversos são os instrumentos, mecanismos e tecnologias a serem empregados, no entanto, demandam de estudos e investigações para que se obtenham resultados satisfatórios no trato dessa questão. (PHILIPPI JR, 2003).

O conceito de “substituição de fontes” se mostra como uma alternativa para satisfazer às demandas menos restritivas, destinando as águas de melhor qualidade para usos mais nobres, como o abastecimento doméstico (MIERZWA; HESPANHOL, 2005). As águas de qualidade inferior, tais como efluentes de processos industriais, águas de drenagem de pátios, águas pluviais e salobras, associadas a tecnologias apropriadas, devem, sempre que possível, ser consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos. (SAUTCHUK et al., 2004). Neste princípio se baseia o reúso de águas, que está dentre as palavras-chaves mais importantes em termos de economia e gestão de recursos hídricos, sendo cada vez mais incorporado tendo em vista o cenário atual de escassez que vem sendo enfrentado atualmente (METCALF e EDDY, 2003).

Na realidade industrial, perante a necessidade do aumento de produção aliada à redução dos custos, o reúso e reciclo de águas servidas também vem ganhando terreno nos tempos atuais, em que a água descartada como resíduo pode retornar ao processo gerando economia financeira. Outro fator importante também levado em consideração na reutilização das águas residuárias de uma empresa, é a conscientização ambiental, que vem sendo cobrada cada vez mais nos diversos setores da sociedade (SAUTCHUK et al., 2004).

A cerveja é uma das bebidas alcoólicas mais consumidas no mundo (ABRALATAS, 2019), tendo grande participação na economia de vários países, e por isso, as indústrias cervejeiras são ramos industriais com características que muitas vezes se adequam à adoção de práticas de reúso. A água é usada em grande quantidade no processo de fabricação de cervejas, sendo que sua qualidade é essencial em certas etapas, como na preparação do mosto, ou seja, incorporada ao produto, e na lavagem das garrafas. Além de seu uso como parte integrante do processo, a água é utilizada nas operações de limpeza de pisos e de lavagem de máquinas, equipamentos e demais instalações industriais. Assim, para tais atividades, o reúso de água poderia ser utilizado de forma satisfatória sem interferir na qualidade do produto final, e dessa forma, reduzindo o consumo do recurso hídrico, muitas vezes proveniente de poços subterrâneos (OLIVEIRA; MAGANHA, 2006).

O processo de produção de cerveja gera grandes quantidades de águas residuais e resíduos sólidos, que devem ser eliminados e/ou tratados de maneira menos custosa e segura, de modo a cumprir com as regulamentações vigentes de descarga ou atingir parâmetros seguros para a reutilização, o que muitas vezes demanda um grande investimento financeiro, se tornando um problema para a maioria das cervejarias (SIMATE, 2012).

Como consequência, muitos fabricantes de cerveja estão procurando por alternativas financeiramente viáveis como maneiras de reduzir o uso da água durante o processo de produção de cerveja, e/ou tratar as águas residuárias viabilizando o reaproveitamento da água do processo para reduzir gastos com o consumo da mesma (SIMATE, 2012). No entanto, destaca-se a grande disparidade entre indústrias cervejeiras de grande porte e cervejarias artesanais, tanto no consumo de água, quanto na presença de sistemas de tratamento de efluentes (SANTOS, 2005).

O presente trabalho aborda sistemas de tratamento de efluente de cervejaria, assim como o consumo de água deste ramo industrial no Brasil, comparando-se indústrias de porte e sistema de produção diferentes, e ressaltando mudança nos padrões de produção e consumo, como por exemplo, o potencial para adoção de práticas como o reúso de água.

1.2. Relevância e justificativa

A problemática da escassez de água deixou há tempos de ser exclusiva das áreas áridas e semi-áridas, ocorrendo também naquelas em que há grande disponibilidade hídrica. Dessa forma, a problemática pode ser considerada, hoje, em escala global, o que a torna de grande relevância. O equilíbrio entre a necessidade dos usuários e a disponibilidade de água, é, neste caso, o grande desafio para a Gestão de Recursos Hídricos (RODRIGUES, 2005). Tem-se, portanto, de um lado a necessidade do controle de demanda, visando à preservação desse recurso essencial e do meio ambiente como um todo, e do outro a busca de recursos complementares. O reúso de água surge atuando nos dois aspectos, e do mesmo modo, a pesquisa que visa o aprofundamento em formas complementares se torna igualmente importante.

Para as empresas, justifica-se o fato do reúso atuar na economia financeira e redução de custos, além de maior visibilidade para o “marketing verde” aliado a responsabilidade ambiental, em especial para as indústrias do ramo cervejeiro, nas quais a água é utilizada como uma das principais matérias-primas e o consumo deste recurso é, portanto, alto. Desta forma, o estudo de empresas que adotam tal estratégia de redução do consumo de água ou possuem potencial a adotarem é interessante para confirmar os benefícios econômicos, sociais e ambientais adquiridos e estimular a mudança de pensamento e atitude de outros negócios. Para que seja possível a implantação das práticas de reúso em indústrias, muito se preocupa com o sistema de tratamento de efluente gerados, permitindo através deste, a recirculação de água dentro da própria empresa, em diversas etapas. Dessa forma, a análise de estações de tratamento que proporcione resultados significativos, aliados à viabilidade e eficiência é de igual importância.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo geral

Comparar a geração de efluente e o Sistema de Tratamento do mesmo de uma indústria cervejeira de grande porte com uma cervejaria artesanal.

2.2. Objetivos específicos

- Conhecer e descrever o Sistema de Tratamento de Efluente Industrial de duas indústrias cervejeiras de portes diferentes;
- Identificar as fontes geradoras de efluentes e os respectivos tratamentos utilizados na indústria cervejeira;
- Caracterizar o efluente gerado na indústria cervejeira qualitativamente e quantitativamente;
- Avaliar a importância de se implantar o reúso de águas em cervejaria como prática sustentável;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Água como recurso

A água é um recurso essencial à manutenção da vida na Terra, constituindo cerca de 70% do planeta e participando de forma direta ou indireta de todas as atividades desenvolvidas pelos seres humanos e animais. (SOUZA, 2014). Dentre a quantidade de água disponível existente, 97% está nos mares e oceanos, enquanto que 2,2% encontra-se em geleiras e apenas 0,8% na forma de água doce disponível, a qual pode ser utilizada pelo homem. Desta parcela disponível, grande parte são águas subterrâneas e uma pequena fração (3%) na forma de água superficial, sendo de extração mais fácil e a principal fonte de provimento das diversas funções e aplicações dos recursos hídricos. Dessa forma, destaca-se a importância de se preservar o ambiente aquático, evitando a degradação do mesmo (VON SPERLING, 2014).

Dentre suas aplicações e usos múltiplos, que vão além do suporte à vida, composição da paisagem e do meio ambiente, se destacam o abastecimento de água doméstico e industrial, a geração de energia, a irrigação, recreação, navegação, pesca, criação de animais e até mesmo como solvente de diluição e transporte de despejos e contaminantes (MIERZWA; HESPANHOL, 2005). No entanto, a importância da água não está interligada apenas às suas funções anteriormente citadas, também exerce papel importante fazendo parte da construção e desenvolvimento da sociedade e de civilizações, como a exemplo das civilizações mesopotâmicas e egípcias, que se desenvolveram ao longo de rios, apresentando, por essa razão, valores econômicos, sociais e culturais (SOUZA, 2014).

Contudo, por mais que a água seja considerada um recurso natural renovável, atualmente lida-se no mundo inteiro com situações de redução da disponibilidade da mesma, em quantidade e qualidade, sendo, portanto, um recurso limitado mediante às diversas atividades que necessitam de seu uso, o que faz com que a taxa de sua utilização supere a máxima capacidade de renovação pelo ciclo hidrológico (MIRANDA, 2017). O ciclo da água é a circulação da água na Terra, desde a evaporação até a precipitação, a infiltração e o escoamento superficial, provendo a renovação do recurso, porém, não garante a abundância do mesmo em todas as regiões do planeta (ALVES, 2009).

O Brasil, durante praticamente toda sua história, não possui índices críticos no que tange à disponibilidade de água, sendo privilegiado como um dos países com maior quantidade do recurso e uma das maiores redes fluviais do mundo, detendo a maior reserva de água doce de superfície do planeta, totalizando 11%. Esse fato contribuiu para o comportamento ambiental adquirido pela população quanto ao consumo desordenado e ao grande desperdício alarmante de água (OENNING JUNIOR; PAWLOWSKY, 2006).

No entanto, a distribuição espacial dos recursos hídricos no Brasil não se dá de forma uniforme, o que aliada ao rápido crescimento demográfico e conseqüentemente ao elevado consumo, faz com que seja cada vez mais difícil o abastecimento de algumas regiões (SAUTCHÚK, 2004). No Nordeste, a indisponibilidade de água potável ilustra uma questão que se desdobra historicamente, contudo, em decorrência de inúmeros fatores. O problema da escassez atualmente tem sido vivido até mesmo na região Sudeste, na qual se concentra o maior índice demográfico do país, exigindo a adoção de práticas e medidas que atuem no controle e atenuação do cenário que perpassa tanto pelo campo de políticas públicas quanto da gestão ambiental (SOUZA et al., 2016).

3.1.1. A escassez e gerenciamento de Recursos Hídricos

A inter-relação entre a quantidade de água disponível, a qualidade da mesma e a demanda de uso é direta, ou seja, os três fatores possuem certa dependência, assim como exerce influência um sobre o outro. Dessa forma, os tipos de uso da água podem ser classificados em mais nobre ou menos nobre, destinando a água de acordo com os requisitos de qualidade exigidos pela sua aplicação. O abastecimento doméstico, por exemplo, possui requisitos especiais em termos de qualidade, e assim, prioridade no uso dos recursos hídricos. Ressalta-se ainda, que diversos corpos d'água possuem múltiplos usos previstos, sendo necessária a satisfação simultânea de diversos critérios (VON SPERLING, 2014).

O gerenciamento dos Recursos Hídricos é uma medida fundamental para enfrentar a problemática da escassez e os diferentes cenários que se instalam em escala espacial e temporal. Nesse sentido, a gestão da demanda, redução de perdas e minimização da geração de efluentes se constituem, associadas às

práticas conservacionistas, nas ações mais importantes em termos de gestão de recursos hídricos e de redução da poluição (SAUTCHUK et al., 2004).

Um passo importante nessa direção foi a criação das políticas sobre gerenciamento de recursos hídricos, tendo como marco a Lei Federal nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, na qual a água passou a ser reconhecida oficialmente como um recurso limitado de grande valor econômico, instituindo a Política Nacional dos Recursos Hídricos - PNRH (MIERZWA; HESPANHOL, 2005). Também conhecida como Lei das Águas, institui a outorga e cobrança pelo uso da água, dentre outros instrumentos voltados à preservação e conservação desse recurso (BRASIL, 1997).

Outro marco importante foi a Resolução CONAMA nº 357 de 2005, que estabeleceu o enquadramento dos corpos hídricos em classes, segundo os usos preponderantes da água, e mais tarde alterada e complementada pela Resolução CONAMA 430 de 2011 quanto as condições e padrões de lançamento de efluentes, determinando parâmetros e limites aceitáveis de certos poluentes. (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011). Tais leis e resoluções foram essenciais para traçar estratégias de planejamento e gestão das águas, projetando e estimando cenários futuros, como o aumento da demanda de água, mudanças nos cenários decorrente do desenvolvimento da região e até mesmo as possíveis consequências das mudanças climáticas globais (SOUZA, 2014).

3.1.2. Água na indústria

No século passado, foram principalmente três os fatores que contribuíram para a crescente demanda de consumo de água, sendo eles: o crescimento demográfico, o desenvolvimento industrial e a expansão do cultivo irrigado (COSTA; BARROS Jr., 2007).

Em razão de diversas atividades desenvolvidas pelo ser humano, principalmente aquelas relacionadas à produção de bens de consumo a partir da transformação e do processamento de recursos naturais, as indústrias são grandes consumidoras de água. Para Beal, Ferreira e Rauber (2014), este setor é considerado o principal responsável pelo aumento da dificuldade na obtenção de água de qualidade para suprir as necessidades da sociedade, devido não só ao fato do setor industrial usá-la em grandes quantidades, mas principalmente pelo volume e qualidade que são devolvidas ao meio ambiente (TORRES et al., 2018)

Dependendo do processo industrial, a água pode ser tanto matéria-prima, incorporada ao produto final, como em indústria de bebidas, como um composto auxiliar na preparação de matérias-primas, fluido de transporte, fluido de aquecimento e/ou resfriamento e nos processos de limpeza de equipamentos e de setores da indústria, ou seja, como água de processo (MIRANDA, 2017).

Os padrões de qualidade para a água industrial dependem de como ela será aplicada. No caso de indústrias alimentícias e farmacêuticas, por exemplo, a água deve ter um elevado grau de pureza, caso venha a ser parte integrante do produto final ou entre em contato com as substâncias manipuladas em qualquer fase do processo. Esses padrões podem ser mais restritivos do que os padrões de qualidade da água de consumo humano (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

Para outras finalidades, como por exemplo, para a água utilizada em sistemas de refrigeração, o padrão de qualidade é diferente. O que ocorre, portanto, é que uma determinada indústria pode precisar de água com diversos padrões de qualidade, desde uma água com alto grau de pureza até uma que não tenha sofrido qualquer tipo de tratamento, conhecida como água bruta (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

3.2. Padrão de qualidade e lançamento

O conceito de qualidade da água é muito mais amplo do que a simples caracterização do recurso pela sua fórmula molecular. Devido às suas propriedades de solvente e à sua capacidade de transportar partículas, a água incorpora em si diversas impurezas. Tais impurezas contidas nas águas conferem às mesmas, propriedades positivas ou negativas que devem ser encaradas sob os aspectos físicos, químicos ou biológicos, e assim definem a qualidade das mesmas (VON SPERLING, 2014).

A qualidade da água tem grande impacto na saúde pública e, de modo mais abrangente, na qualidade de vida da população e no meio ambiente. Água com qualidade adequada é essencial para o equilíbrio e o funcionamento dos ecossistemas (ANA, 2017).

Os requisitos de qualidade da água buscam adequar os parâmetros em função de seus usos previstos (VON SPERLING, 2014). Assim como para o abastecimento, o qual requer água da melhor qualidade, ou seja, água potável,

também para o lançamento em corpos hídricos esses requisitos são imprescindíveis. Nos casos de corpos d'água com usos múltiplos, a qualidade da água deve atender os diversos usos previstos. Dessa forma, existem legislações no Brasil que classificam as águas em classes de acordo com seus usos e ainda definem padrões de lançamento de maneira tal que, a adição de substâncias e impurezas não prejudique os legítimos usos que delas são feitos.

A Resolução Conama nº 357 de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, dividindo as águas em quatro classes, e estipulando parâmetros de qualidade de acordo com estas classes, que vai da menos exigente na mais exigente (Figura 1) (ALMEIDA, 2011; BRASIL, 2005).

Figura 1 - Enquadramento dos corpos d'água segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005.



Fonte: Agência Nacional das Águas (ANA), (2017).

As águas doces, portanto, são classificadas de acordo com sua qualidade e exigências de uso em:

I – Classe especial: águas destinadas ao abastecimento para consumo humano em que apenas a desinfecção é suficiente, à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e dos ambientes aquáticos de unidades de conservação e proteção permanente.

II – Classe 1: águas destinadas ao abastecimento e consumo humano após tratamento simplificado, recreação de contato primário (como natação, esqui aquático e mergulho), irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e à proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.

III – Classe 2: águas que podem ser destinadas ao abastecimento e consumo humano após tratamento convencional, à proteção das

comunidades aquáticas, recreação de contato primário, irrigação de plantas frutíferas, jardins campos de esporte e lazer, aquicultura e atividade de pesca.

IV – Classe 3: águas destinadas ao abastecimento e consumo humano após tratamento convencional avançado, irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, à pesca amadora, à recreação de contato secundário e dessedentação de animais.

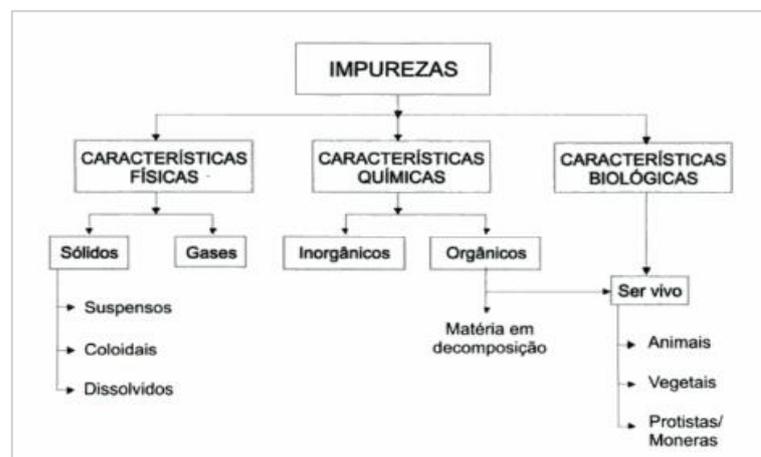
V – Classe 4: Águas com qualidade bastante inferior e que podem ser destinadas apenas à navegação e para compor a harmonia paisagística, que são usos menos exigente (BRASIL, 2005).

Tal resolução foi alterada e complementada pela Resolução CONAMA nº 430 de 2011, que dispõe sobre condições, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores. Determinando, assim, limites permitidos de certos parâmetros nos despejos em corpos receptores, assim como proíbe o lançamento sem o devido tratamento (BRASIL, 2011). Destaca-se ainda, em âmbito estadual, a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008, específica para o Estado de Minas Gerais, atuando juntamente com as Resoluções do CONAMA na gestão da qualidade das águas.

3.2.1. Parâmetros de análise da qualidade da água

Como dito anteriormente, as impurezas presentes na água podem ser avaliadas segundo os aspectos físicos, químicos e biológicos, como observado na Figura 2, e subdivididos em diversos parâmetros passíveis de serem analisados que atuam como indicadores da qualidade dos recursos hídricos.

Figura 2 - Impurezas contidas na água.



Fonte: Von Sperling (2014).

As características físicas englobam normalmente o impacto imediato ao consumidor, que inclui, em sua maioria, os sentidos da visão (turbidez e cor), paladar e olfato (sabor e odor), enquanto que as características químicas estimam contaminantes que podem promover reações, impossibilitar determinadas tecnologias de tratamento e exigir tratamentos mais específicos (LIBÂNIO, 2010).

Dentre todos os parâmetros possíveis, pode-se definir alguns para caracterização de corpos hídricos, águas residuárias ou para consumo, como cor, turbidez, temperatura, condutividade elétrica (físicos), pH, oxigênio dissolvido e matéria orgânica (químicos). No entanto, em casos de águas residuárias, tratadas ou não, outros parâmetros podem ser importantes, variando de acordo com o processo pelo qual o efluente foi gerado, que exerce influência direta na caracterização do mesmo.

Todos os contaminantes, exceto os gases dissolvidos, interferem na carga de sólidos presentes na água, e por isso, são analisados separadamente, antes de se apresentar os diversos outros parâmetros de qualidade, que por sua vez conseguem aferir indiretamente a carga de sólidos na água. Os sólidos também podem ser classificados quanto às características físicas (sólidos em suspensão, coloidais e dissolvidos) e químicas (sólidos orgânicos e inorgânicos), sendo também, bons indicadores de qualidade da água. Dessa forma, destaca-se o conceito de parâmetros como:

- **Cor:** A cor da água é produzida pela reflexão da luz em partículas muito pequenas, chamadas colóides, que se encontram dispersas. Sua origem é predominantemente da decomposição da matéria orgânica ou de atividades antrópicas, como descargas de efluentes domésticos ou industriais, lixiviação de vias urbanas ou agricultáveis (LIBÂNIO, 2010).
- **Turbidez:** É consequência da concentração de partículas suspensas na água obtida por meio da passagem de um feixe de luz através da amostra. Em outras palavras, é o grau de interferência com a passagem da luz pela água (VON SPERLING, 2014).
- **Sabor e odor:** O conceito de sabor envolve uma interação de gosto com o odor. Tem sua origem relacionada à matéria orgânica em

decomposição, micro-organismos, despejos industriais e gases dissolvidos (LIBÂNIO, 2010).

- **Temperatura:** Indica a magnitude da energia cinética do movimento das moléculas e demonstra o fenômeno de transferência de calor à massa líquida (LIBÂNIO, 2010). O aumento da temperatura interfere nas propriedades da água, como oxigênio dissolvido, que reduz sua concentração devido à diminuição da solubilidade dos gases na água, a densidade e viscosidade, além de aumentar a taxa das reações químicas e biológicas (VON SPERLING, 2014).
- **Condutividade Elétrica:** É consequência da quantidade de sais dissolvidos na água. A determinação da condutividade elétrica possibilita avaliar a quantidade de sólidos totais dissolvidos presente na água (CORDEIRO, 2008).
- **Potencial Hidrogeniônico (pH):** Representa a concentração de íons H^+ e indica a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do ambiente aquático. Varia de 1 a 14. Águas com pH menor que 7 são consideradas ácidas, águas com pH em torno de 7 são consideradas neutras e pH superior a 7, a água é considerada alcalina (LIBÂNIO, 2010).
- **Oxigênio Dissolvido (OD):** É um parâmetro relevante para expressar a qualidade de um ambiente aquático. Origina-se do ar e da atividade fotossintética de algas e outros vegetais aquáticos e é fundamental à sobrevivência dos organismos aeróbios, sendo que água com baixos teores de OD indicam que receberam uma carga de matéria orgânica (LIBÂNIO, 2010).
- **Demanda química e bioquímica de oxigênio:** Expressam a presença de matéria orgânica, sendo um importante indicador de qualidade das águas (LIBÂNIO, 2010). A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) expressa a quantidade de oxigênio que seria necessário fornecer às bactérias aeróbias para consumirem a matéria orgânica presente no líquido. Já a Demanda Química de Oxigênio (DQO), representa a quantidade de oxigênio necessária à oxidação da

matéria orgânica através de um agente químico. Para um mesmo líquido, a DQO é sempre maior que a DBO (VON SPERLING, 2014).

3.3. Reúso de água

O reúso da água é a reutilização da mesma, que, após perpassar por tratamento adequado ou não, destina-se a diferentes propósitos a fim de se garantir a preservação e conservação dos recursos hídricos, redução do consumo e até mesmo economia financeira (FIORI; FERNANDES; PIZZO, 2008). Dependendo do investimento e tecnologia empregada, pode ser utilizada para fins potáveis e não potáveis, para uso industrial, agrícola e urbano (PIZZANO; GONÇALVES, 2011).

Considerando os fins urbanos, a água pode ser reutilizada tanto para fins potáveis quanto para não potáveis, entretanto, a segunda opção se apresenta como a mais difundida, uma vez que se faz inviável o reúso para atividades em que se requer maior qualidade da água, sendo necessário, para tal, processos de tratamento altamente tecnológicos, podendo ocasionar gastos muito elevados para implantação (HESPANHOL, 2002). Contudo, para usos não potáveis, a água de reúso não necessariamente precisa seguir o mesmo padrão de qualidade, sendo suficiente um sistema que reduza sua carga orgânica e elimine os organismos patogênicos. Vale ressaltar que para fins urbanos, o reúso de água não visa à ingestão, sendo aplicado principalmente nas atividades de irrigação de pátios e jardins, gramados de praças ou residenciais, lavagem de automóveis, descargas de vasos sanitários e controle de poeira em centros urbanos.

Segundo diversos especialistas da área, as aplicações do reúso de água em uma indústria, objeto deste trabalho, também são variadas, como mostra a Tabela 1. Geralmente são destacadas as atividades que mais consomem água no setor industrial e cujos padrões de qualidade não são muito exigentes, no entanto, não impede que o reúso possa ser feito em qualquer outra atividade – desde que as características da água a ser utilizada atendam aos requisitos de qualidade exigidos (MIERZWA, 2002).

Tabela 1 - Principais aplicações de reúso de água na indústria.

Aplicação
Alimentação de caldeira e refrigeração
Água de processo
Construção pesada
Lavador de gases, equipamentos, pisos e peças
Irrigação de áreas verdes
Controle de poeira

Fonte: Mierzwa, 2002 (adaptado).

Segundo Mierzwa (2002) e Hespanhol (2002), autores reconhecidos pelos estudos envolvendo reúso, tratamento e utilização da água em diversos seguimentos, o reúso para fins industriais pode ser visualizado por diferentes aspectos, conforme as possibilidades existentes no contexto interno ou externo das indústrias. Dessa forma, utilizam de classificações nas modalidades de reúso macroexterno e macrointerno. No entanto, uma classificação mais usual, originada por meio da Organização Mundial da Saúde, seria os conceitos de reúso direto, indireto e reciclagem interna (MORUZZI, 2008).

O reúso indireto ocorre quando a água é despejada no meio ambiente, seja em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos, após uma ou mais utilizações de uso industrial ou doméstico. A redução da carga orgânica do despejo se dá por meio da própria autodepuração do corpo d'água, que posteriormente será utilizado a jusante em outra atividade. O reúso direto, geralmente o mais estudado e abordado, é quando ocorre o uso do efluente tratado em atividades industriais, irrigação, ou até mesmo recargas de aquíferos e usos potáveis. Neste caso, diferente do reúso indireto, a água deve atender requisitos de qualidade de acordo com a aplicação desejada, na maioria das vezes, tecnologias e tratamentos distintos podem ser utilizados para tal (HESPANHOL, 2002).

Sendo assim, o reúso direto também abrange duas outras duas classificações primordiais de reúso na indústria: reúso em cascata e reúso pós-tratamento. O reúso em cascata refere-se ao uso do efluente de um setor diretamente em outro sem que seja realizado tratamento, e por isso, a qualidade requerida fica limitada à qualidade de saída do setor anterior. Já o de pós-tratamento ocorre quando o efluente passa

por um tratamento total ou parcial para se adequar às características necessárias do processo no qual ele será reutilizado (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

Por último, define-se como reciclagem interna quando a água é utilizada em determinada atividade com a finalidade de reduzir os custos com a extração da mesma ou para controle da poluição. Sendo assim, destaca-se um sistema fechado pelo qual a água recircula, repostada por fontes externas apenas quando necessário ou em caso de perdas no sistema operacional (HESPANHOL, 2003).

3.3.1. Legislação pertinente

A partir da promulgação da Lei nº 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), fundamentos jurídicos foram oferecidos para a conservação e racionalização do uso e, conseqüentemente, condicionantes legais para o reúso como alternativa viável. Um dos objetivos da Lei é “a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável”, e ainda, estabelece metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e a melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis. Posteriormente, foi dada importância especial ao reúso na Agenda 21, a qual recomendou aos países participantes da Conferência ECO 92, a implementação de políticas de gestão dirigidas para o uso e reciclagem de efluentes, integrando a proteção da saúde pública e de práticas ambientais adequadas (ALMEIDA, 2011).

No entanto, no Brasil, ainda não há normalização específica para os sistemas de reúso da água. O que se tem praticado é a adoção dos padrões internacionais ou mesmo a adoção de orientações técnicas produzidas por instituições públicas ou privadas. Dessa forma, destaca-se, por exemplo, o manual elaborado pela Fundação Nacional de Saúde (Funasa), que trata diversos aspectos da água reciclada. São estabelecidos pelo manual, inclusive, aspectos estéticos da água a ser reutilizada vinculados ao adorno arquitetônico, que exige certo grau de transparência, ausência de cor, odor, espuma ou qualquer outra substância ou componentes flutuantes (FUNASA, 2004).

Posteriormente, em 2005, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), publicou a Resolução 54, estabelecendo critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água (FIRJAN, 2006). Contudo, ainda não existe no Brasil legislação que define critérios específicos para tal, apenas ações que podem

servir como base para a formulação de um aparato legal sobre o tema. As leis existentes sobre lançamento de esgotos e qualidade da água potável, bem como a divisão da água em classes podem balizar e fornecer subsídios para a elaboração de critérios, padrões e códigos de prática, adaptados às características nacionais.

Mesmo com o aparato legal referente aos recursos hídricos e tendo possibilidade de implantar novas leis relativas ao reúso, de acordo com Hespanhol (2003), é pouco provável que se estabeleça no país um programa de reúso de águas único em nível nacional. Iniciativas regionais talvez sejam mais adequadas devido às proporções geográficas, às características e necessidades distintas de cada região. Os projetos serão bem sucedidos quando houver um esforço conjunto das secretarias municipais e estaduais com as companhias de saneamento.

A temática ainda é abordada no item 5.6 da NBR 13.969/97, que dispõe sobre tanques sépticos e trata sobre reúso local de efluentes. A norma estabelece que o reúso local de esgoto deve ser planejado de modo a permitir seu uso seguro e racional, para minimizar os custos de implantação e operação. Para que isto aconteça, devem ser definidos os usos previstos para o efluente tratado, volume, grau de tratamento necessário, sistema de reservação e distribuição.

O manual publicado pela Agência Nacional das Águas (ANA) em 2005, juntamente com a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) e o Sindicato da Indústria da Construção Civil de Grandes Estruturas do Estado de São Paulo (SindusCon/SP), define as águas de reúso em quatro classes, segundo os seguintes usos preponderantes:

- Classe 1: descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais, lavagem de roupas e de veículos;
- Classe 2: lavagem de agregados, preparação de concreto, compactação do solo e controle de poeira;
- Classe 3: irrigação de áreas verdes e rega de jardins;
- Classe 4: resfriamento de equipamentos de ar condicionado (torres de resfriamento).

Também são estabelecidos, pelo mesmo manual, os limites de concentração de alguns parâmetros essenciais para determinação e controle da qualidade da água de reúso das classes 1, 2 e 3, apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros requeridos para água de reúso.

Parâmetros	Unidade	Classe 1	Classe 2	Classe 3
pH	-	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0
Cor	uH	≤ 10,0	-	-
Turbidez	NTU	≤ 2	-	≤ 5,0
DBO	mg/L	≤ 10,0	≤ 30,0	-
Coliformes Fecais	NMP/100mL	Não detectáveis	≤ 1000	≤ 200
Carbono Orgânico Volátil (COV)	-	Ausentes	Ausentes	-
Sólidos Suspensos Totais (SST)	mg/L	≤ 5,0	30	≤ 20
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	mg/L	≤ 500	-	-
Fósforo	mg/L	≤ 0,1	-	-
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	≤ 20,0	-	-

Fonte: ANA/FIESP e SINDUSCON (2005).

3.3.2. Aceitabilidade e custos de processos de reúso

Apesar de ser reconhecida como opção segura e confiável na racionalização dos recursos hídricos, e ser uma prática cada vez mais difundida, as tecnologias de reúso da água ainda necessitam da aceitação e aprovação perante a sociedade. Além de questões políticas para se efetivar como tecnologia sistemática, fatores econômicos e culturais também afetam essa decisão. (BARROS FILHO; MESSANY JÚNIOR, 2014).

Para uma prática segura de reúso, os padrões a serem estabelecidos devem englobar parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, os quais ainda podem sofrer influência de crenças e preconceitos que a população possa ter sobre a questão, o que pode até determinar negativamente a aceitação da água de reúso. Um exemplo disso são as especificações publicadas no manual elaborado pela Funasa, que trata, entre outros fatores, dos aspectos estéticos da água reciclada, considerados de grande importância (ALMEIDA, 2011).

No Brasil, importantes iniciativas já foram tomadas a respeito deste tema, cujo início foi nos engenhos de cana de açúcar, nos quais os proprietários destas

plantações usavam efluentes das destilarias de álcool para fertilizá-las. Atualmente, diversas indústrias e até mesmo ambientes domésticos já compartilham a ideia de se estabelecer práticas de reúso, dessa forma, tal atividade vem se difundindo cada vez mais no cenário brasileiro e internacional.

3.3.3. Benefícios da aplicação do sistema de reúso

Dentre os vários benefícios de se implantar o reúso de águas, o principal é minimizar os impactos causados pelo lançamento de esgotos sem tratamento nos rios. Em vários países do mundo, o reúso planejado da água já é uma solução adotada com sucesso em diversos processos (FIORI; FERNANDES; PIZZO, 2008).

Nessas condições, considerando o cenário de escassez e racionalização do uso da água, o reúso pode permitir uma solução mais sustentável. Assim, o conceito de “substituição de fontes” mostra-se como a alternativa mais plausível para satisfazer a demandas menos restritivas, liberando as águas de melhor qualidade para usos mais nobres. Em 1985, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas estabeleceu uma política de gestão para áreas carentes de recursos hídricos, que suporta este conceito: “a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior”.

No Brasil, impera uma cultura de desperdício em relação à água que precisa ser modificada. Entende-se por desperdício deixar a água potável escoar pelo “ralo”, sem reutilizá-la. Até mesmo pequenos vazamentos podem desperdiçar grande quantidade de água. Por exemplo, um vazamento que enche uma xícara de 125 ml em 10 minutos desperdiçará 6.750 litros de água por ano (ANA, 2014).

A água proveniente de pias, lavatórios e chuveiros pode ser reutilizada, sem tratamento, para descarga de bacias sanitárias e lavagem de pisos. A água originária de efluentes com resíduos de bacias sanitárias só deve ser utilizada novamente para os mesmos fins após tratamento (HESPANHOL, 2003).

A grande vantagem da utilização da água de reúso é a de preservar a água potável, reservando-a exclusivamente para o atendimento das necessidades que exijam a sua potabilidade para o abastecimento humano. Outra vantagem relevante do reúso é a eliminação de descarga de esgotos nas águas superficiais, já que há um tratamento na água e os produtos resultantes do processo são destinados a

locais adequados, sem contar a economia financeira que tal prática representa às indústrias e domicílios que a praticam.

Boas práticas ambientais para produção industrial são apresentadas, por exemplo, nos guias da série Programa de Produção Mais Limpos (P+L) elaborados em parceria pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e pela Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP). O P+L visa incentivar e orientar a adoção de tecnologias limpas nos diversos setores produtivos da indústria paulista e a consequente economia de matérias-primas, água e energia, enquadrando, dessa forma, o reúso como uma alternativa sustentável.

3.4. A indústria cervejeira

O aparecimento da cerveja se funde com a própria história do desenvolvimento humano. Há mais de 10.000 anos, o homem primitivo conheceu o fenômeno da fermentação e obteve, em pequena escala, as primeiras bebidas alcoólicas. Há 5.000 anos, os sumérios e os assírios produziam, a partir de cereais, uma bebida fermentada, utilizando o processo de malteação de grãos, tal como é feito agora (SILVA; LEITE; DE PAULA, 2016).

No entanto, os principais responsáveis pela disseminação da cerveja foram os Egípcios, que levaram a bebida para o Mediterrâneo e, posteriormente para toda Europa, destacando-se principalmente a região dos Alpes, do sul da Alemanha, da República Tcheca, Áustria e Eslováquia, que ficaram conhecidos como regiões com grande número de produtores (ROSA; AFONSO, 2015).

A industrialização desse mercado começou no século XVIII, quando James Watt criou a máquina de vapor e Carl Linde a refrigeração artificial. Logo após esse processo de industrialização, no século XIX, surge uma técnica desenvolvida por Louis Pasteur denominada de pasteurização, que permitiu uma maior preservação da cerveja. Pasteur foi responsável pela descoberta de que microrganismos presentes no ar, na água e nos aparelhos podem contaminar o produto e, dessa forma, a higienização do ambiente passou a ser fator de alta importância na produção cervejeira (GAUTO; ROSA, 2011).

No Brasil, a cerveja foi introduzida quando a coroa Portuguesa se mudou para o País. A cerveja era, até então, importada, mas a partir desse momento, começaram a surgir produções artesanais. Em 1853, no Rio de Janeiro, foi fundada a primeira cervejaria brasileira, a Bohemia. No ano de 1888, foi fundada a

Manufatura de Cerveja Brahma Villigier e Cia., no Rio de Janeiro, e pouco tempo depois a Companhia Antarctica Paulista, em São Paulo. Em 1999 essas empresas se fundiram originando a AmBev, que em 2004, a partir de fusões de empresa do mesmo ramo, formou-se a AB Inbev, cervejaria que tem o maior volume de produção mundial (GAUTO; ROSA, 2011).

Segundo pesquisas realizadas pelo Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja - Sindcerv (2008), o Brasil é o terceiro maior fabricante mundial de cerveja, sendo estimada uma produção anual de 13,3 bilhões de litros, como mostra a Figura 3, estando entre os maiores produtores de cerveja do mundo, perdendo apenas para a China, que produz cerca de 46 bilhões de litros de cerveja, e para os Estados Unidos, com produção de 22,1 bilhões de litros por ano. De forma geral, a indústria gerou R\$ 77 bilhões em faturamento no último exercício fechado (dado de 2016), equivalente a 2% do PIB e 14% da indústria de transformação nacionais. Além disso, contribuiu com R\$ 25 bilhões em impostos (Figura 3).

Figura 3 - Produção de cerveja por país entre 1990 a 2016.

	Produção/Ano (em milhões de hectolitros)			
	1990	2000	2010	2016
 China	70.000	220.000	448.304	460.000*
 EUA	238.997	232.500	228.982	221.353
 Brasil	58.000	82.600	128.700	133.346
 Alemanha	120.161	110.429	95.683	94.957
 Rússia	**	54.900	102.930	78.200

* Estimativa ** Dado indisponível

Fonte: Sindcerv (2016).

Pesquisas mostram que o mercado cervejeiro no Brasil apresenta algumas características particulares. Dentre essas características, tem-se que a mulher é responsável pelo consumo de 33% de toda cerveja produzida no país. Pesquisas

mostram também que elas preferem o chope claro e que 29% das mulheres entre 30 e 39 anos consideram a cerveja como a bebida predileta. (REINOLD, 2011).

Em relação às cervejas artesanais, pode-se afirmar que elas ocupam 5% do mercado, destacando-se pelo aroma, pela cor e pela textura. A sua elaboração tem como foco a qualidade do produto, levando em consideração a qualidade dos seus ingredientes e através de um processo de fermentação mais lento (KLEBAN, NICKERSON, 2012). São produzidas geralmente em menor escala, contudo, vem sendo difundidas cada vez mais entre os que apreciam a cerveja no Brasil, especialmente a partir de 1990, sendo observada uma notável mudança no comportamento de uma parcela dos consumidores de cerveja, os quais têm se mostrado mais sofisticados, exigentes quanto à qualidade da bebida e dispostos a pagar preços acima do mercado convencional por produtos diferenciados (MORADO, 2009).

No Brasil, a cerveja é definida e regulamentada pela Lei Federal nº 8.918/94 e pelo Decreto 2.314/978, que estabelece a cerveja como a bebida originada pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro. Este se trata de um líquido oriundo do malte de cevada e água potável, que recebe a ação da levedura, juntamente com a adição do lúpulo. Dessa forma, destacam-se os principais componentes de uma indústria cervejeira: o malte, a água, a levedura e o lúpulo (BRASIL, 2009).

Não há uma classificação única para os vários estilos existentes dessa famosa bebida. Assim, depende da legislação de cada país e as respectivas tradições quanto ao consumo da cerveja. Contudo, a classificação de Jackson é amplamente aceita por vários especialistas e grupos de referência, e assim, divide a cerveja em três grandes famílias de acordo com seu tipo de fermentação: as de baixa fermentação (Lager); as de alta fermentação (Ale); e as de fermentação espontânea (Lambic). Dentro de cada uma das classificações é englobada uma ampla variação de cervejas (MORADO, 2009).

Já de acordo com o SINDCERV (Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja) e pela Lei Federal nº 8.918/94 e Decreto nº 2.314/978, as cervejas são classificadas segundo a fermentação (alta ou baixa); a cor (clara ou escura); e o teor alcoólico, sendo não alcoólicas as de teor abaixo de 0,5% e alcoólicas as de teor acima de 0,5%.

3.4.1. Processo produtivo

O processo de fabricação da cerveja consiste em diversas etapas conforme o fluxograma apresentado na Figura 4 e posterior descrição.

Figura 4 - Fluxograma esquemático do processo produtivo de cervejas.



Fonte: Portal Química Nova Interativa (QNInt), (2019).

Uma das primeiras etapas do processo se baseia na obtenção do malte. Os grãos de cevada são embebidos em água fria e reservados em ambientes com condições monitoradas para a germinação, em um período de 5 a 8 dias. Dessa forma, ocorrerão as mudanças físico-químicas desejadas para esta matéria-prima. A cevada germinada é, então, encaminhada para um forno de secagem onde, através da elevação da temperatura o processo de germinação é interrompido, ocorrendo o que denomina-se geralmente como a “caramelização parcial do malte”, que é responsável pela caracterização da cor e do sabor da cerveja (JUNIOR; VIEIRA; FERREIRA, 2009).

Os processos de maltagem variam em determinadas fases conforme o tipo de cerveja que se deseja obter, por exemplo, o malte claro origina cervejas do tipo Pilsen; o malte caramelizado, as cervejas tipo Bock, Hércules e Chopp Escuro; enquanto o malte preto origina as cervejas escuras tipo Porter, dentro outras. A maltagem geralmente não é realizada na indústria. O malte é comprado pronto e armazenado na fábrica em silos (ou até mesmo nos próprios sacos) e em ambientes fechados e devidamente higienizados, para posteriormente ser moído.

A moagem compõe a etapa denominada brassagem, assim como as etapas seguintes que antecedem a fermentação. Tal processo corre em moinhos apropriados, que podem ser de rolos ou martelo, que trituram o malte sem moê-lo por inteiro, favorecendo o contato do mesmo com a água, ativando a ação enzimática através da solubilização dos constituintes solúveis presentes no interior do grão do malte. Esse processo visa à obtenção de uma mistura líquida açucarada, chamada mosto, que é a base para a futura cerveja (SILVA, et al., 2008).

Na etapa de mosturação, ou preparação do mosto, há a transformação do amido em monossacarídeos (glicose) pelas enzimas do malte mediante o aquecimento da mistura (hidrólise). A temperatura é controlada e deve atingir no máximo 72 °C para evitar a inativação das enzimas. Assim como a temperatura, também são controlados o tempo, a concentração e a agitação da solução. Nesta etapa é também onde são adicionados os componentes adjuntos ao malte, como o gritz de milho ou arroz (cozidos anteriormente em uma caldeira durante 1,5 horas a 120 °C) (ROSA; AFONSO, 2015).

Em seguida, ocorre a filtração em tinas de clarificação ou filtro prensa, separando as cascas do malte e dos adjuntos presentes, onde passa a denominar-se mosto. Basicamente, portanto, a filtração do mosto consiste na sua clarificação por meio da sedimentação do bagaço. Em produções não industriais, esta etapa pode também ser realizada por meio da sedimentação natural da casca do malte (ROSA; AFONSO, 2015). O bagaço, também chamado “dreche”, é armazenado em silos para posterior comercialização como ração animal.

A próxima etapa consiste na adição do lúpulo (que pode ser opcional) e fervura do mosto para dissolução do mesmo. Ocorre, portanto, a solubilização e extração de componentes do lúpulo produzindo o aroma e transformando o aspecto e paladar do mosto, dando as características de amargor à cerveja. Além disso, ocorre também a esterilização e inativação das enzimas responsáveis pelas etapas anteriores, o controle da concentração do mosto no grau desejado e a precipitação das proteínas indesejáveis. O processo leva em torno de 2 horas (JUNIOR; VIEIRA; FERREIRA, 2009).

O lúpulo pode ser acrescentado quando a fervura vai ao meio ou mesmo no final. Ou também adicionado em parcelas durante o processamento, para que os óleos essenciais responsáveis pelo desenvolvimento do aroma não volatilizem. A

quantidade de lúpulo utilizada varia com a forma em que este se encontra e a cerveja que se deseja produzir (JUNIOR; VIEIRA; FERREIRA, 2009).

O mosto decantado é a seguir resfriado entre 9 a 15°C em trocadores de calor. Durante o resfriamento, o mosto é intensamente aerado com ar estéril, por meio de uma introdução forçada de ar, permitindo condições ideais para a realização da fermentação pelas leveduras que são injetadas através de dosadores especiais e controladas por meio da medição da turbidez e da dosagem de levedura por mililitro de solução (ROSA; AFONSO, 2015).

A etapa de fermentação consiste na ação das leveduras, que decompõem o mosto em álcool e gás carbônico. É nesta etapa que o característico mosto doce é transformado na cerveja propriamente dita. Trata-se de uma etapa importante do processo produtivo cervejeiro por se trata da atuação de organismos vivos e, por isso, requer maior controle. Aspectos como o inóculo de microrganismo a ser utilizado, o tipo de fermentação (baixa ou alta), temperatura (10 a 25°C) e o tempo conferem o diferencial a este processo em cada indústria ou produtora da bebida em questão (ROSA; AFONSO, 2015).

O processo possui duração total de 6 a 10 dias, sendo a primeira etapa (aeróbia), na qual ocorre a reprodução da levedura, durando 24 a 36 horas, enquanto a segunda etapa (anaeróbia) é onde ocorre a fermentação propriamente dita. Após o término da fermentação, a levedura deposita-se no fundo do tanque de onde é retirada e estocada para reutilização em novo processo, no entanto, não pode ser infinitamente reutilizado (JUNIOR; VIEIRA; FERREIRA, 2009).

A formação de espuma é inevitável neste processo, sendo composta por substâncias que conferem turbidez e que contém proteína e resíduos de lúpulo. E o gás carbônico produzido em excesso pode ser conduzido para um sistema de recuperação e purificação para ser utilizado posteriormente no processo de envasamento (JUNIOR; VIEIRA; FERREIRA, 2009).

Ao final das etapas descritas, a solução já se denomina cerveja, que é então resfriada e transferida para os tanques de maturação, onde a temperatura é mantida abaixo de 0 °C. A maturação pode durar de 6 a 30 dias, variando de uma cervejaria para outra, ou até semanas, ocorrendo alterações químicas que auxiliam a clarificação e melhoram o aroma e sabor da bebida. Nesta etapa, são removidos os resquícios de fermento que permaneceram e que são posteriormente enviados para a linha de despejos líquidos (ROSA; AFONSO, 2015).

Após a etapa de maturação, a cerveja passa por uma filtração, que se dá através de um meio filtrante chamado terra diatomácea, que retém partículas de maior porte, como leveduras, resinas do lúpulo e colóides, deixando a bebida com aspecto cristalino (ROSA; AFONSO, 2015). A cerveja recebe também estabilizantes e antioxidantes que mantêm as características da cerveja e da espuma da mesma, além de prevenir a oxidação de ésteres e outras substâncias presentes, aumentando a validade do produto (FERREIRA et al., 2011).

Para partículas de médio porte, geralmente proteínas, pode ser empregado o PVPP (Polivinil polipirrolidona) como agente de filtração, buscando-se assim a estabilidade da cerveja, ou também pode ser realizada utilizando-se uma centrífuga seguida de filtro de areias com terra diatomácea (ROSA; AFONSO, 2015).

Por fim, a cerveja acabada é estocada em tanques e depois segue para o envasamento, passando por etapas de enchimento de garrafas ou enlatamento, rotuladora e pasteurizador, que elimina microrganismos prejudiciais à qualidade da cerveja por meio de um aquecimento e consecutivo resfriamento. A cerveja em barris não é pasteurizada, tendo sua validade reduzida para no máximo 15 dias e recebendo o nome de chope. Após todo o processo relatado a bebida é encaminhada para a expedição e comercialização (ROSA; AFONSO, 2015).

As cervejas artesanais são cervejas que possuem atributos diferenciados quando comparadas às cervejas populares e comerciais. De acordo com Gonçalves (2010), as cervejas artesanais se diferem pelo uso de matérias-primas nobres e processos de fabricação mais refinados. Este se trata de um pequeno segmento de mercado, com volumes bem menores de produção, mas que vem conquistando cada vez mais o público apreciador de cervejas.

3.4.2. Água na indústria cervejeira

A maior parte da constituição da cerveja é a água, cerca de 90% em peso, assim, é fundamental que a água utilizada na produção da cerveja seja de qualidade elevada e específica para o tipo de cerveja que se deseja produzir. Com relação à quantidade, estima-se que a produção tenha uma pegada hídrica de, em média, 10 litros de água para se produzir 1 litro de cerveja. Além de ser utilizada no processo, incorporada ao produto, a água é utilizada também na limpeza dos barris, garrafas, dos equipamentos e áreas da indústria, e na malteação da cevada (GAUTO; ROSA,

2011). Segundo Santos (2005), a água é também utilizada no processo de resfriamento ou aquecimento de tanque.

O recurso é utilizado na indústria cervejeira diretamente no processo e deve ser potável, inodora, transparente, incolor, sem sabor, neutra e também seguir as especificações para o processo produtivo. Além disso, a água não pode conter substâncias nocivas e/ou que possam influenciar na atividade das enzimas e leveduras. As substâncias minerais e os sais que estão dissolvidos naturalmente determinam o grau de dureza da água e são outro fator importante para a quantidade (REINOLD, 1997).

De maneira geral, uma água de boa qualidade para indústria cervejeira deve apresentar as seguintes características: pH entre 6,5 e 7,0; teor de sulfato de cálcio entre 250 e 600 mg.L⁻¹; teor de cloreto de sódio entre 200 e 300 mg.L⁻¹; teores de carbonato de cálcio ou magnésio menores que 100 mg.L⁻¹; traços de magnésio que estejam preferencialmente sulfatados; teores de ferro menores que 1 mg.L⁻¹ (AQUARONE; LIMA; BORZANI, 1983).

É possível que algumas alterações sejam feitas na composição de qualquer água para que ela passe a ter as características desejadas, isso por conta do desenvolvimento tecnológico. Porém esses procedimentos podem ser muito caros, o que faz com que ainda hoje a localização de muitas fábricas seja determinada com base na qualidade de água disponível na região (GAUTO; ROSA, 2011).

3.4.3. Caracterização do efluente gerado

A indústria cervejeira gera efluente em grande quantidade, uma vez que a água é utilizada em diversas etapas do processo produtivo, seja na confecção da própria cerveja, seja nas operações de limpeza ou como fluido de aquecimento e resfriamento. A composição desses efluentes é fortemente influenciada pelo tipo de cerveja produzida, pelos insumos utilizados, como a levedura, o malte, o milho, pelos tipos de aditivos eventualmente acrescentados e a eficiência dos processos de limpeza de equipamentos. Sendo assim, considera-se um efluente amplamente variável em questões de volume e características (GAUDENCIO, 2013).

A lavagem de garrafas, por exemplo, gera grande parte do efluente em volume, mas confere baixo teor de carga orgânica e muitas vezes concentrações de produtos químicos. No entanto, a fermentação e filtragem geram apenas 3% do volume de efluentes, mas representam por volta de 97% da carga orgânica total,

incluindo resíduos como bagaço de malte e cevada (GUERREIRO, 2006; PAIVA, 2011).

Posto isto, os efluentes de indústria cervejeira caracterizam-se por elevadas cargas orgânicas, e por isso, são potencialmente poluidores. Além disso, possuem alto teor de sólidos em suspensão e presença de fósforo e nitrogênio, o que pode dificultar algumas tecnologias de tratamento, sendo crucial a adoção de sistemas adequados (GUERREIRO, 2006).

Destaca-se, portanto, a diferença de contribuição na geração de efluente proveniente de cada etapa processual. Informações da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) mostram os componentes provenientes de cada etapa principal da produção de cerveja e que podem estar presentes nas águas residuárias desse tipo de indústria, como explicitado na Tabela 3 (SANTOS, 2005).

Tabela 3 - Composição qualitativa dos efluentes gerados nas principais fontes geradoras de um processo produtivo de cervejaria.

Etapa 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)

Em um estudo sobre efluente de indústria cervejeira, Gaudencio (2013), foram destacadas as principais características apresentadas pelo efluente gerado de acordo com diferentes literaturas, apresentadas na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Características 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-amoniaco (mg.L-1)	3 - 11,5	13,3	-	1,12 - 5	-

Fonte: Gaudencio (2013).

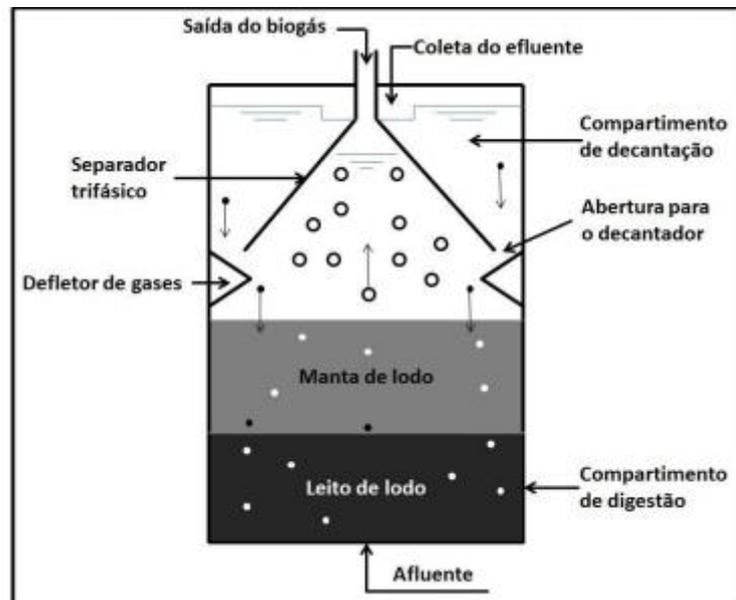
3.5. Tratamentos mais utilizados para efluente de cervejaria

Segundo Santos (2006), os sistemas de tratamento mais utilizados na composição das Estações de Tratamento de Efluentes Industriais de cervejarias são constituídos por um processo físico composto por grade e decantadores (tratamento preliminar), e um sistema biológico, composto por reatores anaeróbios (tratamento secundário) e lodos ativados, ou seja, lagoa aerada seguida de decantação (pós-tratamento).

Antes do tratamento biológico, deve-se construir um tanque de neutralização, onde o pH deve ser corrigido buscando as condições necessárias para o bom funcionamento e desempenho do reator anaeróbio. As etapas seguintes ao reator supracitado servem como etapas de polimento e clarificação do efluente que será lançado ou reutilizado. (SANTOS, 2006).

O **Reator Anaeróbio de Manta de Lodo de Fluxo Ascendente**, mas conhecido pela sigla em inglês **UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket** – é composto por uma camada de lodo biológico, no qual o efluente entra na parte inferior do reator e é retirado pela parte superior, em movimento ascendente, atravessando esta camada. Dessa forma, define-se que tais reatores são constituídos por três partes: leito de lodo, zona de sedimentação e separadores trifásico, como ilustra a Figura 5.

Figura 5 - Desenho esquemático do funcionamento de um reator UASB.



Fonte: Adaptado de CHERNICHARO (1997).

O efluente, ao entrar em contato com o leito de lodo, inicia sua degradação pela atividade dos microrganismos presentes no lodo, ou seja, por meio da digestão anaeróbia. Os sólidos orgânicos suspensos são degradados e digeridos, enquanto a massa microbiana aumenta. A massa microbiana está relacionada aos parâmetros que determinam a capacidade de um reator anaeróbio, são estes os fatores microbiológicos (atividade microbiana, crescimento microbiano). Os fatores microbiológicos estão ligados a parâmetros como temperatura, pH, alcalinidade e a presença de compostos inibidores. Além desses, fatores físicos, como a capacidade de retenção de microrganismos, também são limitantes.

O uso de reatores do tipo UASB apresenta diversas vantagens, como o baixo custo e a menor geração de lodo ao ser comparado com os sistemas de tratamento biológico aeróbios. Além disso, é de simples operação e exige uma pequena demanda de área de instalação. Portanto, sua implantação torna-se uma boa alternativa para países em desenvolvimento, tais como o Brasil (CAMPOS et al., 2006). Como desvantagem, destaca-se a produção de gás metano, que pode ser convertida posteriormente em biogás, não significando, portanto, uma desvantagem propriamente dita. Cerca de 70 a 90% do material biodegradável é convertido em biogás e pode ser amplamente aproveitado em inúmeras aplicações, como na utilização na própria operação industrial de empresas que adotam este tipo de

tratamento de efluente. Caso não seja reaproveitado, o metano pode ser queimado para que seja lançado na atmosfera na forma de gás carbônico, menos prejudicial ao ambiente e à saúde humana (VON SPERLING, 2014; CHERNICHARO, 1997).

Segundo Von Sperling (2014), a concentração de biomassa no reator é bastante elevada, requerendo assim um volume inferior em comparação com os demais sistemas de tratamento biológico. Além disso, a idade do lodo também é bastante elevada, devido à retenção de sólidos, permitindo uma maior estabilização do lodo que é posteriormente descartado, e o Tempo de Detenção Hidráulica pode ser reduzido, sendo em torno de 6 a 10 horas.

Apesar de todas as vantagens inerentes aos reatores anaeróbios do tipo UASB, estes necessitam de um pós-tratamento para se obter um efluente dentro dos padrões de lançamento ou de reutilização. A dificuldade se encontra, portanto, na utilização desta unidade isoladamente. Outra desvantagem é a baixa eficiência na remoção de nutrientes e patogênicos presentes nas águas residuárias, confirmando assim a necessidade de etapas seguintes ao processo de tratamento como, por exemplo, tratamentos físico-químicos ou processos biológicos aeróbios seguidos de decantadores secundários (SILVA; PETTER; SCHNEIDER, 2007).

Entre as alternativas de pós-tratamento, destaca-se o uso das lagoas de polimento ou tanques de aeração, pelo fato de se manter, em todo o sistema, a simplicidade conceitual já assumida pelos reatores anaeróbios (VON SPERLING, 2014).

Os tanques de aeração são parte integrante dos **Sistemas de Lodos Ativados Convencionais**. O processo biológico que ocorre dentro do tanque é todo aeróbio. A aeração pode ocorrer por ar difuso ou por agitação mecânica, proporcionando o oxigênio necessário à atividade microbológica do sistema e evitando a deposição dos flocos bacterianos, a fim de misturá-los homogeneamente com o efluente (VON SPERLING, 2014).

Após passar pelo tanque de aeração, o efluente é enviado continuamente a um decantador secundário, onde o efluente tratado é separado do lodo, que sedimenta ao fundo. A produção de lodo nos sistemas de lodos ativados é consideravelmente maior se comparada à produção dos reatores anaeróbios. Dessa forma, o lodo geralmente é recirculado ao tanque de aeração, a fim de aumentar a concentração de microrganismos para estabilizar a matéria orgânica (VON SPERLING, 2014).

O sistema de lodos ativados é amplamente utilizado para o tratamento de despejos domésticos e indústrias, em situações em que é necessária uma elevada qualidade do efluente. A biomassa permanece mais tempo no sistema do que o líquido, o que garante uma elevada eficiência na remoção de DBO. Quando a produção de lodo atinge os níveis estabelecidos em projeto, o mesmo é adicionado pela recirculação de lodo sedimentado nos decantadores, uma vez que há a necessidade da remoção de parte dessa camada. O lodo que é removido necessita de uma estabilização, sendo necessária uma etapa de tratamento, composta geralmente pelo adensamento e desidratação do lodo (MENDONÇA, 2002).

As vantagens da associação de um sistema anaeróbio seguido de um aeróbio vêm do fato do sistema anaeróbio promover uma remoção inicial de carga orgânica substancial com baixa geração de lodo, aumentando assim, a eficiência das unidades aeróbias. Outra vantagem do sistema é que a geração de metano pelo tratamento anaeróbio pode ser aproveitada futuramente, como insumo no próprio processo industrial ou até mesmo na geração de energia para suprir o processo de tratamento aeróbio (SANTOS, 2006). Na Tabela 5, encontram-se as principais diferenças dos dois sistemas abordados.

Tabela 5 - Comparação genérica entre sistema aeróbio e anaeróbio no tratamento de águas residuárias.

	Sistema Aeróbio	Sistema Anaeróbio
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: Gaudêncio (2013).

4. METODOLOGIA

4.1. Método de Abordagem

O presente estudo trata de uma pesquisa exploratória de natureza aplicada, que visa observar os fenômenos que envolvem o funcionamento de Estações de Tratamento de Efluente Industrial e a aplicabilidade do reúso de água na indústria cervejeira, procurando descrevê-los e interpretá-los por meio de uma abordagem qualitativa, preocupando-se não com a representatividade numérica, mas com o aprofundamento da compreensão de um processo de uma organização (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

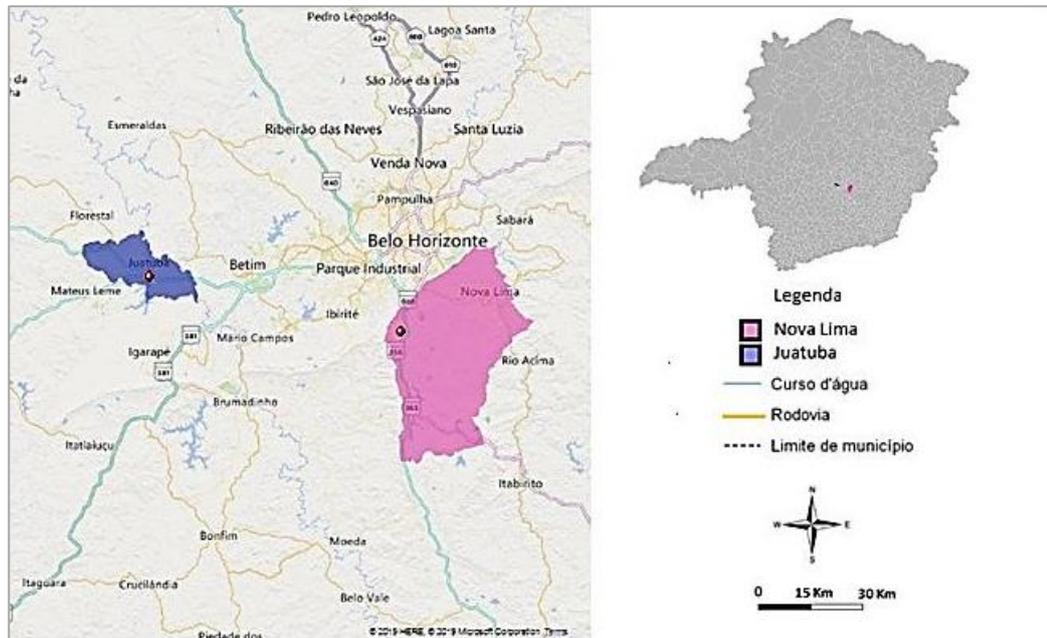
Conforme Nascimento e Sousa (2017), pesquisas exploratórias tem por objetivo familiarizar o pesquisador com o problema objeto da pesquisa, permitindo assim, tornar a questão mais clara a partir da construção de hipóteses e da análise crítica do fenômeno estudado.

Com o levantamento dos dados acerca do tema e informações obtidas com o estudo das empresas selecionadas, obteve-se correlações que expliquem situações identificadas como problemáticas, como o consumo excessivo do recurso hídrico, para que sejam pautadas reflexões e, posteriormente, sugestões de soluções com potencial de melhoria na gestão do consumo hídrico e das questões ambientais do ramo industrial abordado.

4.2. Área de Estudo

A pesquisa foi realizada em duas empresas do ramo cervejeiro da Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH, indicada na Figura 6, sendo comparado o sistema apresentado por uma empresa de grande porte e uma cervejaria artesanal de pequeno porte. Para facilitar a fluência dos textos, adotou-se como Empresa A e Empresa B, respectivamente.

Figura 6 - Localização dos municípios de Nova Lima e Juatuba em Minas Gerais e das respectivas cervejarias.



Fonte: Autoria própria.

A Empresa A é uma grande indústria brasileira do ramo de bebidas, incluindo as cervejas. Criada em 1999, atualmente é uma grande produtora de cerveja no Brasil e uma das maiores empresas do país em receita líquida, controlando cerca de 68% do mercado brasileiro de cerveja, segundo informações prestadas pela própria empresa.

Sediada em São Paulo, possui atuações em todo o Brasil e pelo mundo, totalizando 19 países com operações da empresa, sendo 16 pertencentes às Américas, como Bolívia, Chile, Panamá, Paraguai, Uruguai, Canadá e diversos outros. Dentre as diversas unidades distribuídas por todo Brasil, contando ao todo com 35 mil colaboradores, destaca-se a Unidade Juatuba, localizada na cidade de Juatuba, em Minas Gerais, e para onde foram direcionados os estudos do presente trabalho.

A escolha foi realizada considerando-se o fato de serem cervejarias que se enquadram dentro do porte escolhido para a avaliação e comparação, além da disponibilidade em receber visitas técnicas, de forma a viabilizar o trabalho por meio de informações fornecidas.

Já a Empresa B, é uma produtora de cerveja artesanal, localizada no bairro Jardim Canadá, em Nova Lima. Inaugurada em 1997, foi a primeira cervejaria artesanal de Minas Gerais e, segundo informações prestadas pela empresa, foi criada por um austríaco, que veio para o Brasil e decidiu dar continuidade na tradição familiar: as cervejarias.

Com diversas linhas de cervejas e chopes, e premiações em concursos, a produção da cervejaria cresceu consideravelmente desde a sua inauguração até o momento, sempre com a preocupação de incrementar a bebida com sabores diferentes que se adequem ao paladar brasileiro e linhas festivas especiais. Possui 80% de sua produção com foco para Minas Gerais e pontos de vendas por vários outros Estados do Brasil.

4.3. Procedimentos de coleta e análise de dados

Para o desenvolvimento do trabalho, foi realizado inicialmente um levantamento de dados bibliográficos buscando a compreensão dos assuntos pertinentes ao tema escolhido, proporcionando um maior embasamento teórico como suporte para futuras proposições. As informações foram buscadas em artigos técnicos, dissertações, livros, normas e legislações vigentes, sendo subsídios para as análises posteriores.

Posteriormente, o levantamento de dados foi realizado diretamente com as empresas citadas (item 4.2 deste trabalho) por meio de visitas *in loco* nas indústrias a serem estudadas, que proporcionaram a possibilidade de realizar inspeções visuais em campo e questionamentos aos responsáveis, para maior conhecimento da organização, produção e geração de efluente das mesmas, assim como outros aspectos envolvidos no tema deste trabalho. Foram questionados dados quanto à caracterização e a quantificação dos recursos hídricos utilizados nos processos convencionais do empreendimento, ao processo produtivo da cerveja, à produção e tratamento do efluente e por fim, quanto às possíveis práticas de reúso.

Após o levantamento de dados, os mesmos foram analisados de acordo com os objetivos propostos neste estudo e observações feitas *in loco*, a fim de se avaliar, de acordo com as situações encontradas, formas de alcançar um melhor aproveitamento das fontes disponíveis de água. Além disso, buscou-se avaliar alternativas com menores índices de desperdício e perdas no sistema e a otimização

do uso dos recursos hídricos para as empresas escolhidas e para o setor produtor cervejeiro em geral.

4.4. Visitas técnicas

Foi realizada uma visita a cada empreendimento escolhido, sendo estas guiadas pelo funcionário responsável pela ETEI na Empresa A e pelo mestre cervejeiro e sócio na Empresa B. Assim, foi possível observar os sistemas presentes nas unidades em funcionamento e aplicar os questionamentos elaborados pela autora para direcionamento da visita. As visitas ocorreram nos seguintes dias:

- Empresa A (Ambev - Unidade Juatuba): Dia 09/10/2019, de 13h – 15h.
- Empresa B (Krug Bier): Dia 23/10/2019, de 14:30 – 16h.

Foi elaborado um direcionamento, contendo perguntas para auxiliar na compreensão do sistema de tratamento de efluentes das empresas escolhidas e nas práticas direcionadas ao meio ambiente, caso possuíssem. Não trata-se de um questionário, apenas um guia seguido durante as visitas, a fim de direcionar os questionamentos importantes e não deixar de fazê-los. De forma geral, foram abordadas as questões pertinentes ao tema, como informações sobre o processo produtivo das empresas; o consumo de água e a existência de programas de redução; a quantidade de efluente líquido gerada; e a existência de prática de reúso.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Caracterização da Empresa A

5.1.1. Efluente gerado

No que diz respeito às etapas e segmentos industriais de produção de bebidas da Empresa A, os efluentes são gerados principalmente nas etapas de lavagem de garrafas, instalações, vasilhames, tanques e da planta da indústria, além das águas provenientes do processo de resfriamento ou aquecimento de tanques, águas utilizadas diretamente no processo industrial, do descarte de produtos que não atendem ao padrão de qualidade ou lotes de devolução, e esgotos sanitários dos colaboradores. Dessa forma, pode-se perceber o alto consumo de recursos hídricos em diversas etapas do processo que envolve o ramo de cervejaria, em comparação com outros ramos industriais.

Os efluentes gerados na operação da Cervejaria Ambev - Unidade Juatuba são ricos em açúcares, possuem majoritariamente pH alcalino, podendo apresentar-se na faixa de 6 a 7,5, e temperatura ambiente. Nos descartes da água de caldeiras ou de resfriamento, há pequena alteração na temperatura do efluente, porém, alega-se que essas alterações são imperceptíveis após a homogeneização. Tais características advêm da utilização de soda cáustica, ácido fosfórico e outros produtos químicos nos processos industriais. A exemplo, a soda é bastante utilizada na lavagem das garrafas, atividade que gera grande quantidade de efluente.

As águas residuárias são também caracterizadas por elevada carga orgânica (DBO, DQO e sólidos totais), proveniente do processo produtivo da cerveja e das outras bebidas. Na unidade visitada, a maior produção concentra-se em cervejas, e desta forma, envolvem a utilização de leveduras, malte, milho, dentre outros, contribuindo assim para o elevado teor de carga orgânica observado. Na Tabela 6, apresentada a seguir, são apresentados os resultados dos parâmetros obtidos em campo quanto à qualidade do efluente gerado. Ressalta-se que não foi disponibilizado pela empresa dados de outros parâmetros também importantes e de análises laboratoriais realizadas.

Tabela 6 - Parâmetros obtidos em campo quanto à qualidade do efluente gerado pela Empresa A.

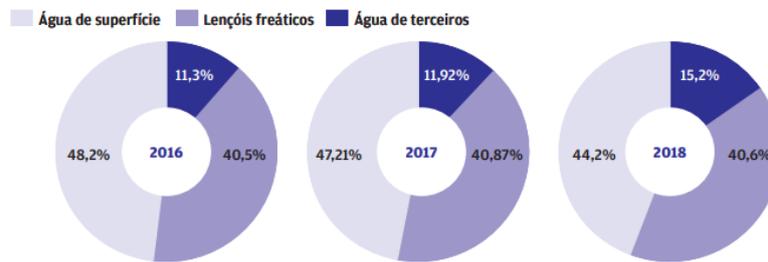
		Parâmetro de entrada da ETEI	Parâmetro de saída da ETEI	Eficiência	Legislação (DN COPAM nº 430/2011)
DQO	(mg/L)	4.000	40 – 50	98,8% – 99,0%	–
DBO	(mg/L)	1.800	10 – 15	99,2% – 99,4%	120
Turbidez	uT	146	6,9	95,30%	–
pH		7,5 – 8	6,5 – 7	–	5 – 9

Fonte: Autoria Própria.

Em termos quantitativos, foi informado que há uma geração de 100.000 a 150.000 litros de efluente/hora, que varia segundo o funcionamento industrial e o tipo de produção. No entanto, no dia em que foi realizada a visita, a vazão que chegava na ETEI era de 57.000 L/h, devido à pausa em uma operação industrial. Há procedimentos na indústria abordada que estabelecem que o setor produtivo deve informar o tipo de produção do dia e qualquer imprevisto que haja no processo, isso faz com que a Estação de Tratamento de Efluente Industrial – ETEI seja monitorada da melhor forma possível, uma vez que é diretamente impactada pela liberação de efluente advindo da produção das bebidas.

Destaca-se que a geração de efluente está intimamente ligada ao consumo de água na indústria, que se dá por meio de três fontes: águas superficiais, lençóis freáticos (poços) e água de concessionária. A Figura 7 retrata o percentual de água retirada de cada fonte, considerando a empresa de forma abrangente, e não só a Unidade estudada, de maneira a ilustrar o consumo total do empreendimento e situar-se na questão abordada. Já na Empresa A, onde está sendo realizado o estudo, o percentual é de 60% do consumo de água de superfície, sendo captada no Ribeirão Serra Azul (Classe II), a montante do empreendimento, e 40% de água subterrânea, compreendendo sete poços, e da Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA, comprada de acordo com a quantidade utilizada.

Figura 7 - Percentual de água retirada de cada fonte utilizada pela Empresa A em todas as unidades existentes pelo Brasil.



Fonte: Relatório de Sustentabilidade da Empresa A (2018).

O volume de água consumido é mensurado por meio de medidores calibrados. É realizado um acompanhamento diário do consumo em cada planta, que precisam cumprir uma meta mensal estipulada. Esta meta é definida na Unidade estudada a partir da relação a seguir, demonstrada pela Equação 1, na qual ambas as variáveis se encontram em hectolitros.

$$\frac{\text{Consumo de água na indústria}}{\text{Evasão de produto}} = \text{Meta mensal} \quad (\text{Equação 1})$$

A meta para o mês de outubro (mês em que foi realizada a visita) era de 3,39. Dessa forma, uma maior produção industrial acarretaria consequentemente um maior consumo, não sendo este informado durante a visita em valor absoluto.

Sendo assim, foi estimado o consumo para posterior análise da seguinte forma: segundo pesquisa no Sistema de Informações Ambientais – SIAM, base de dados sobre regularização ambiental de empreendimentos em Minas Gerais, a empresa em questão se enquadra como classe 5, tratando-se, portanto, de um empreendimento de grande porte e médio potencial poluidor geral, conforme indicado na Tabela 7. A classificação considerou a Deliberação Normativa (DN) do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) nº 74/2004, uma vez que as licenças concedidas são datadas anteriormente à promulgação da DN COPAM 217/2017, que revogou a Deliberação supracitada.

Cabe ressaltar que, de acordo com a DN COPAM nº 74/2004, fica definido que empreendimentos caracterizados pelo código D-02-04-6 (Fabricação de cervejas, chopes e maltes) serão considerados sempre como de médio potencial poluidor levando-se em consideração os aspectos gerais (ar, água e solo).

Tabela 7 - Classificação de empreendimento produtor de cerveja de acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº 74/2004.

CÓDIGO DN COPAM nº 74/2004	POTENCIAL POLUIDOR	CAPACIDADE INSTALADA (CI) (L DE PRODUTO/DIA)	PORTE	CLASSE
D-02-04-6 (Fabricação de cervejas, chopes e maltes)	M	2.000 < CI < 20.000 L de produto/dia	P	1
		20.000 ≤ CI ≤ 1.000.000 L de produto/dia	M	3
		CI > 1.000.000 L de produto/dia	G	5

Fonte: Minas Gerais (2004).

Atualmente, consta no Sistema de Informações Ambientais – SIAM requerimento de Revalidação de Licença de Operação (LO) para a Ambev - Unidade Juatuba, ainda aguardando formalização, e com isso, o enquadramento passa a obedecer a DN nº 217/2017. No entanto, como a revalidação da licença ainda não foi deferida, foi considerado o último enquadramento constatado no sistema mencionado e, portanto, utilizada a antiga DN, nº 74/2004. Encontram-se também registros de outorga de recursos hídricos para a unidade da cervejaria abordada, porém não foi possível acessar os arquivos para obter as informações contidas nos mesmos, como vazão outorgada, dentre outras.

A partir dos valores encontrados na Deliberação Normativa (Tabela 7), foi estimado o consumo de água da Empresa A. Como citado anteriormente, a indústria é classificada como classe 5, ou seja, uma produção maior a 1.000.000 de litros de produto por dia, e estabelece metas de consumo baseadas em uma razão de duas variáveis, como explícito na Equação 1. Dessa forma, adotou-se o valor de 1.000.000 de litros por dia, a fim de se obter um valor estimado do consumo da empresa. Para tornar possível o cálculo, considerou-se a unidade padrão hectolitro, sendo que 1 hectolitro equivalem a 100 litros. Depois de transformar o valor de 1.000.000 de litros de produto por dia, para a unidade hectolitros por dia, multiplicou-se o valor por 30 dias, e assim, foi utilizado o consumo mensal, como explicitado a seguir pela Equação 2.

$$1.000.000 \text{ L}/\text{dia} = 10.000 \text{ hl}/\text{dia} = 300.000 \text{ hl}/\text{mês} \quad (\text{Equação 2})$$

$$\frac{\text{Consumo de água na indústria}}{300.000} = 3,39$$

$$\text{Consumo de água na indústria} = 3,39 \times 300.000$$

$$\text{Consumo de água na indústria} = 1.017.000 \text{ hl/mês}$$

Portanto, de acordo com os valores adotados devido à carência de informações fornecidas, chegou-se a uma estimativa de consumo mínimo de 1.017.000 hectolitros de água no mês. Este resultado ilustra a importância da utilização do recurso hídrico para a indústria cervejeira, uma vez que se trata de uma vazão relativamente alta. Deste valor, parte é incorporada ao produto, consumida pelos trabalhadores locais e utilizada nas atividades correlacionadas às atividades industriais, como já mencionado anteriormente no presente estudo, sendo esta última, a principal responsável pela geração de efluente.

5.1.2. Descrição do Sistema de Tratamento de Efluente

A primeira etapa do tratamento na Estação de Tratamento de Esgoto Industrial - ETEI é uma unidade de gradeamento, responsável por reter os sólidos grosseiros presentes no efluente, o qual é, em seguida, direcionado a três canais de areia e terra infusória, que permitem uma filtração simplificada e decantam o excesso de sólidos das águas residuárias. Após essa etapa, o efluente que foi separado a partir do processo anterior é bombeado para outra unidade da ETEI. Tal etapa possui uma estação elevatória composta por três bombas, com 3 metros de altura manométrica cada, que são usadas alternadamente e de acordo com a vazão a ser tratada.

Em seguida, o efluente é enviado para a etapa composta por peneiras estáticas. O efluente gerado chega à peneira por meio de um canal de entrada, logo após a estação elevatória. O objetivo da peneira estática é, novamente, a remoção de sólidos grosseiros que ainda se mantiveram no efluente a ser tratado, que se constituem principalmente grãos, tampinhas, bagaço, dentre outros. Neste equipamento, o efluente passa por grades metálicas de menor espessura,

comparadas à etapa anterior, que separam a fração líquida, dando continuidade ao tratamento na etapa posterior. Os resíduos sólidos, isto é, o lodo gerado após o processo de tratamento, juntamente com os sólidos retidos nas grades, são descartados como rejeito em aterro sanitário industrial terceirizado, e outra parte, principalmente quando o “bagaço do malte” é despejado no efluente após etapa do processo de produção, destinada à compostagem. Informações como a classe do aterro industrial não foram prestadas pela Empresa A, no entanto, destaca-se que, pode ser considerado resíduo perigoso (Classe I), o lodo do tratamento de efluente industrial que possui características como toxicidade, patogenicidade, inflamabilidade, corrosividade ou reatividade. Caso contrário, o lodo é considerado resíduo Classe II.

Após a passagem pela peneira estática, o efluente segue para os tanques de equalização, como ilustrado pela Figura 8, que realizam a mistura do efluente doméstico (menor vazão) com o efluente industrial.

Figura 8 - Ilustração de um Tanque de Equalização.



Fonte: Soluções industriais (2019).

A estação contém quatro tanques com tempo de detenção hidráulica de 7 horas cada um. A passagem por este tanque é importante para a regulação da vazão de tratamento e para ajudar a homogeneizar as características do efluente a ser tratado, que seguem posteriormente para o tanque de acidificação. Nesta etapa do tratamento, é feito o ajuste do pH do efluente por meio da adição de soda cáustica (NaOH), que é controlada por meio de um medidor de pH e diretamente ligado a um dosador do produto químico mencionado, fazendo assim a dosagem

automática de acordo com o pH aferido no momento. A mistura do efluente é realizada por meio de hélices mecanizadas. É essencial que o pH do efluente esteja entre 6,8 e 7,2 para que as etapas posteriores do tratamento não sejam prejudicadas.

O reator anaeróbio é de fluxo ascendente do tipo UASB, e recebe o efluente advindo do tanque de acidificação. O principal objetivo do reator é a decomposição de matéria orgânica e, conseqüentemente, a diminuição do nível de DBO. Esta etapa do tratamento possui uma eficiência de cerca de 90% na remoção de matéria orgânica, segundo informações prestadas pela empresa durante a visita de campo. A Figura 9 ilustra um reator UASB circular semelhante aos encontrados na Empresa A estudada.

Figura 9 - Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente semelhante ao observado na Empresa A.



Fonte: Glastec (2019).

No funcionamento do reator, o efluente entra pela parte inferior e passa por um leito de lodo no qual há uma alta taxa de atividade microbológica que realiza a decomposição anaeróbia da matéria orgânica. O efluente segue sobre um fluxo ascendente, onde é vertido e coletado por calhas laterais ao decantador, de maneira a separar o efluente líquido, das partículas sólidas de lodo, que voltam a sedimentar no reator.

Este processo gera o biogás devido à decomposição anaeróbica da matéria orgânica, e este é coletado e muitas vezes aproveitado como energia, sendo então encaminhado para queima no forno de aquecimento da caldeira no processo produtivo da cervejeira e para produção de vapor. Quando não é possível o

aproveitamento, os gases gerados são apenas queimados, para serem liberados, portanto, na forma de CO_2 , menos prejudicial ao meio ambiente. Quanto à produção de lodo, como é comum nos reatores anaeróbios, a taxa de produção do mesmo é muito baixa, não havendo necessidade de um processo de remoção frequente. Após a passagem pelo reator, 30% do efluente retorna para o tanque de acidificação para auxiliar no controle do pH e diminuir a DQO do efluente que entra no reator anaeróbico.

A quarta etapa do tratamento de efluentes é o reator aeróbio, onde é removida a matéria orgânica que não foi totalmente degradada na etapa anaeróbica do tratamento. O reator aeróbio é composto por três tanques, aonde chega o efluente por uma tubulação central e, logo em seguida, passa por processo de aeração realizada por sopradores de ar difuso localizados nas laterais da estrutura, com o objetivo de criar condições ideais para a atividade das bactérias aeróbias (oxidação da matéria orgânica). A Figura 10 ilustra um reator aeróbio em processo de aeração.

Figura 10 - Ilustração de um reator aeróbio em processo de aeração.



Fonte: Bioproj (2019).

Como é característico de reatores aeróbios, há uma alta formação de lodo que sedimenta no fundo do reator. Dessa forma, existem estruturas responsáveis pela raspagem do fundo do reator para retirada do lodo, que é coletado e parte dele retorna para o reator aeróbio e o excedente segue para o adensador de lodo.

O adensador de lodo é do tipo prensa de rosca e recebe o lodo excedente proveniente do reator aeróbio e do decantador secundário. Esta etapa é necessária

para tornar mais denso o lodo para que seja feito um desaguamento mais eficiente na centrífuga. O lodo passa por uma rosca que aumenta a pressão separando parte da água presente no lodo. A água retorna para a fase inicial do tratamento e o lodo desidratado segue para centrífuga.

A centrífuga é responsável pela secagem do lodo, para que este possa ser descartado como resíduo sólido ou estabilizado na compostagem, seguindo os parâmetros de higiene e de controle de ação microbiológica do processo de maturação. A importância desta estrutura está na diminuição do teor de umidade do lodo, reduzindo assim custos com transporte e descarte do resíduo. Nesta estrutura, o lodo entra em uma espécie de peneira que gira em alta velocidade, expulsando a água presente devido à ação da força centrífuga sobre a massa úmida. Desta forma, a fase sólida fica retida na peneira e a fase líquida é coletada e também retorna para etapa inicial do tratamento. O lodo a ser de fato descartado é devidamente destinado à aterros sanitários industriais, como já mencionado anteriormente.

A última etapa do processo de tratamento de efluente industrial – ETEI da Empresa A conta com três decantadores secundários, cujo objetivo é remover os sólidos ainda presentes nas águas residuárias e os resquícios de lodo que tenham permanecido no efluente, provenientes do reator aeróbio. Nesta etapa, o efluente entra pela parte inferior do tanque, que possui estrutura circular, semelhante aos Decantadores de Estações de Tratamento de Esgotos Domésticos da Copasa. Os sólidos sedimentáveis movem-se para o fundo do decantador (sedimentação) e o efluente já clarificado verte para calhas existentes nas bordas laterais (decantação). Registra-se uma eficiência informada de 97% a 99% de remoção de carga orgânica.

O decantador conta, também, com uma estrutura de raspadores para remoção dos sólidos depositados nos fundos, que podem ser observados na Figura 11. Estes seguem para o adensador de lodo, enquanto o efluente tratado é descartado no Ribeirão Serra Azul após cloração e parte é armazenada na caixa de recuperação, para ser posteriormente reutilizada.

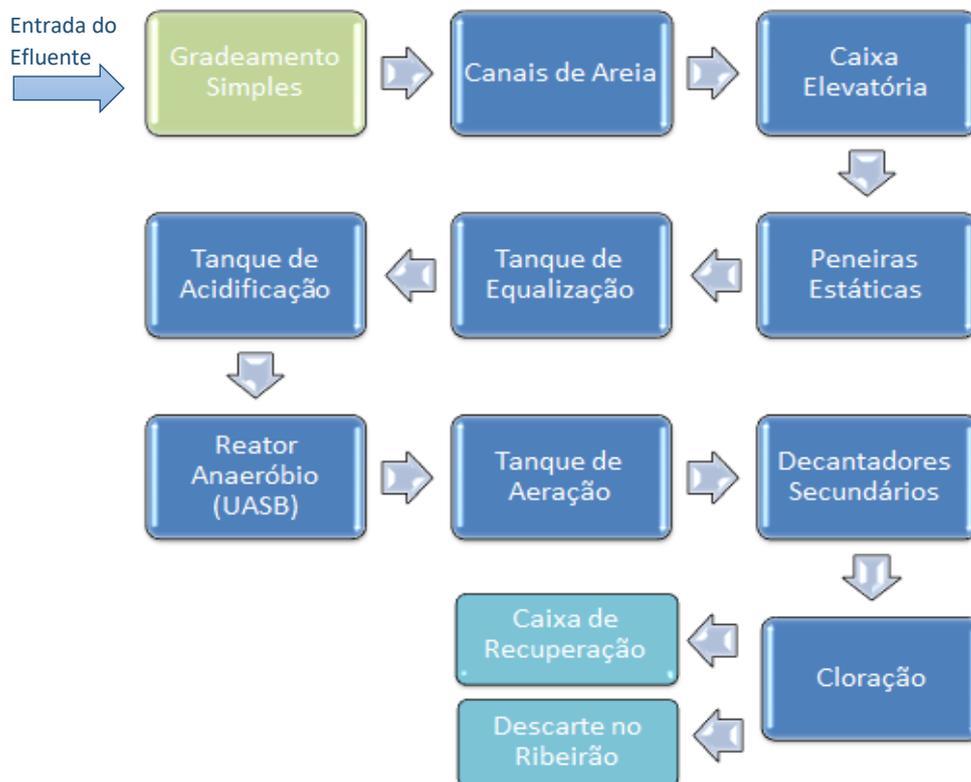
Figura 11 - Decantadores secundários circulares com raspadores automáticos.



Fonte: Sesamm (2019).

Na Figura 12 a seguir, está o sistema de tratamento apresentado, de forma a facilitar a visualização desse como um todo.

Figura 12 - Processo de tratamento de Esgoto industrial da empresa A.



Fonte: Autoria própria.

A estação de tratamento apresenta funcionamento contínuo (24 h/dia, 7 dias/semana) e seu funcionamento é indispensável para a operação da fábrica. Por isto, existem empregados que trabalham exclusivamente na manutenção preventiva e corretiva nos sistemas elétricos, mecânicos e hidráulicos da ETEI. Todas as manutenções são realizadas sem que seja necessária a interrupção do funcionamento da estação. Para isto, a ETEI conta com um ou mais equipamentos de *back-up* para cada equipamento necessário para o funcionamento (bombas, dosadores, sopradores).

Não são necessárias limpezas frequentes no reator anaeróbio, como já mencionado anteriormente, uma vez que a geração de lodo do mesmo é baixa e este, deve ser conservado para que seja mantida a eficiência do tratamento. Segundo informações coletadas em campo, são realizadas limpezas periódicas no canal de entrada, no tanque de acidificação e nas paredes do tanque de aeração, para garantir um melhor funcionamento destas estruturas e evitar entupimentos de tubulações ou danificação de bombas.

5.1.3. Parâmetros analisados

Dentre os parâmetros analisados com certa frequência na ETEI da indústria estudada, tem-se:

- DQO: analisada diariamente, uma amostra a cada turno (3 turnos);
- DBO: analisada semanalmente;
- Turbidez e cor: analisada diariamente, uma amostra a cada turno (3 turnos)
- pH: aferido a cada duas horas;
- Acidez volátil e Alcalinidade total: análises diárias, uma amostra a cada turno (3 turnos);
- Sólidos Suspensos Totais: análises semanais;
- Sólidos Sedimentáveis: análises diárias;

Estes parâmetros são extraídos de amostras de pontos de coleta específicos, sendo estes a entrada do efluente bruto na ETEI; saída do tanque de equalização; saída do tanque de acidificação; entrada e saída do reator anaeróbio e saída dos decantadores, onde o efluente já foi completamente tratado após perpassado por

todo o processo. Este último ponto referido é importante por se tratar de como o efluente está sendo liberado depois da ETEI e qual a eficiência da mesma, se atende aos requisitos legais estabelecidos em lei para lançamento em corpo d'água e se é própria para reúso.

No entanto, os outros pontos citados são igualmente importantes, permitindo analisar a eficiência das etapas do sistema de tratamento, detectar possíveis alterações e definir as respectivas soluções.

Como já referido anteriormente, foi informado pela empresa que o tratamento utilizado alcança uma eficiência de 97% a 99%, tendo como resultado um efluente visualmente clarificado, e que, segundo a empresa, atende aos parâmetros exigidos.

5.1.4. Análise do sistema apresentado

Considerando inicialmente a Deliberação Normativa Resolução CONAMA n° 430/2011, foram analisados os valores apresentados em visita técnica para alguns parâmetros, destacados na Tabela 8. Vale ressaltar que não foram disponibilizados todos os dados qualitativos e de eficiência analisados pela empresa. Dessa forma, serão julgados de acordo com a legislação apenas os dados informados.

Tabela 8 - Parâmetros relativos ao efluente apresentado pela empresa A, antes e depois do tratamento.

	Unid.	Parâmetro de entrada da ETEI	Parâmetro de saída da ETEI	Eficiência	Legislação (DN COPAM n° 430/2011)
DQO	(mg/L)	4.000	40 – 50	98,8% – 99,0%	–
DBO	(mg/L)	1.800	10 – 15	99,2% – 99,4%	120
Turbidez	uT	146	6,9	95,30%	–
Cor	uC	–	–	–	–
pH		7,5 – 8	6,5 – 7	–	5 – 9

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que os valores apresentados pelos parâmetros DBO e DQO, estão na faixa de 40 a 50 mg/L e 10 a 15 mg/L, respectivamente, o que implica no

atendimento da Resolução 430/2011 do CONAMA que estabelece o valor orientador de 120 mg/L de DBO ou um efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60%. De acordo com a legislação supracitada, só é permitido valores acima dos mencionados mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.

Destaca-se que os outros parâmetros fornecidos pela empresa e apresentados na Tabela 7, não se encontram na Resolução supracitada, não sendo estabelecidos limites permissíveis para tais para que um efluente seja lançado em um corpo d'água, com exceção do pH, o qual abrange uma ampla faixa permissível para lançamento, e portanto, é atendido pela Empresa A em estudo.

Não sendo possível ter acesso à todas as informações e séries históricas das diversas análises de parâmetros de qualidade da água realizadas pela Empresa A, foram avaliados os dados apresentados anteriormente na Tabela 8 em comparação com dados encontrados na literatura. Alguns autores, como Von Sperling (2014) e Kochenborger (2012), caracterizam o efluente de indústria cervejeira segundo alguns parâmetros principais, como a taxa dos Sólidos em Suspensão, que segundo os mesmos, está compreendida, na maioria das vezes, entre 100 – 800 mg/L de acordo com o tipo de produção; o Nitrogênio Total; além de elevada concentração de carga orgânica, com DBO que varia na faixa de 800 – 6.000 mg/L.

Von Sperling (2014) ainda enfatiza a característica de toxicidade dos efluentes de indústria cervejeira, uma vez que se trata de um parâmetro variável, e que, caso possua constituintes tóxicos ou inibidores, pode afetar a atividade dos microrganismos utilizados no tratamento biológico. É importante ressaltar o amplo intervalo de valores que pode apresentar um efluente industrial para determinados parâmetros. Cada processo industrial existente gera um tipo de efluente que se diferencia nas características e quantidade. Até mesmo dentro de uma mesma tipologia indústria, como as cervejarias, há variação na qualidade e quantidade das águas residuárias, de acordo com o produto e o processo industrial empregado, a idade da indústria e a adoção ou não de práticas conservacionistas.

Em um estudo realizado e publicado no ano de 2015, foram feitas análises de amostras de efluente de cervejaria, proveniente de uma Indústria multinacional do ramo de bebidas, localizada no município de Jacareí – São Paulo, obtendo-se valores apresentados na Tabela 9, a qual busca ilustrar a caracterização de um

efluente do mesmo ramo abordado neste presente trabalho, em comparação com os dados fornecidos pela Empresa A (ARRUDA, et al., 2015).

Tabela 9 - Caracterização de um efluente de cervejaria.

Variáveis	Resultado	Unidade
Temperatura	19,7	°C
pH	5,2	-
Oxigênio Dissolvido	4,1	mgO ₂ /L
DQO total	4540	mgO ₂ /L
DBO 5,20	1048	mgO ₂ /L
N-NH ₃	12,6	mgN/L
N-NO ₂	0,8	mgN/L
N-NO ₃	8,4	mgN/L
P-PO ₄ total	180	mgN/L
P-PO ₄ SOLÚVEL	128	mgN/L
Cor aparente	500	mgPt-Co/L
Cor Verdadeira	250	mgPt-Co/L
Turbidez	124	NTU
Sólidos Sedimentáveis	0,5	mg/L
Sólidos Totais	1110	mg/L
Sólidos Suspensos Totais	560	mg/L
Sólidos Suspensos Voláteis	210	mg/L
Sólidos Suspensos Fixos	350	mg/L
Sólidos Dissolvidos Totais	550	mg/L

Fonte: Siqueira; Bolini; Macedo (2009).

Observa-se que os valores de DBO e DQO apresentados (1048 mg/L e 4540 mg/L, respectivamente) são próximos aos que foram informados em visita técnica à indústria de bebidas Ambev – Unidade Juatuba (DBO = 1800 mg/L e DQO = 4000 mg/L). Além disso, a turbidez informada também é semelhante ao valor encontrado a partir de análises laboratoriais do efluente de cervejaria e apresentado na Tabela 9. Apenas os resultados quanto ao parâmetro pH divergiram consideravelmente dos valores comparados. No entanto, foi destacado pelo técnico da Ambev durante a visita realizada, que o efluente pode chegar à ETEI com característica levemente mais ácida ou mais básica, dependendo dos produtos utilizados no processo produtivo. O polivinil-polipirrolidona (PVPP), por exemplo, é um polímero utilizado

pela Ambev na fabricação da cerveja. Com a finalidade de prevenir ou retardar o aparecimento da turbidez no produto final a ser engarrafado, que advém da degradação dos complexos protéicos, o uso de agentes estabilizantes é muito difundido na indústria cervejeira. O PVPP remove os polifenóis de maior peso molecular, por ter uma estrutura muito semelhante à do aminoácido prolina (SIQUEIRA; BOLINI; MACEDO, 2009).

Quanto ao sistema de tratamento apresentado pela empresa em estudo e descrito no item 5.1.2 deste trabalho, observa-se que é um sistema robusto composto por várias etapas de tratamento. No entanto, dentre as etapas destacadas, ressalta-se duas: o reator UASB e o tanque de aeração. As duas tecnologias de tratamento supracitadas ocorrem de formas diferentes, sendo um processo de tratamento biológico anaeróbio e outro aeróbio, respectivamente.

O Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo, sendo chamado no meio técnico e científico pela sigla UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), constituem a principal tendência atual para tratamento de água residuárias no Brasil. Podem ser utilizados como unidades únicas ou seguidos de outras unidades de tratamento. Neste método, não há necessidade da decantação primária (VON SPERLING, 2014). O efluente liberado, após o reator UASB, é relativamente clarificado. Contudo, a limitação se encontra na eficiência de remoção da DBO (JORDÃO; PESSOA, 2005).

Ainda segundo Von Sperling (2014), a eficiência desses reatores situa-se em torno de 70% a 80%, o que é menor do que a eficiência informada pela Empresa A para o mesmo tipo de tecnologia adotada, que chegava a 91% de eficiência na remoção de matéria orgânica, o que é consideravelmente acima dos valores de referência. Além disso, ressalta-se a necessidade de se utilizar o pós-tratamento do efluente após o reator anaeróbio UASB, podendo adequar-se dentre os diversos tipos de processos de tratamento secundários existentes, sendo estes biológicos ou até mesmo físico-químicos. Ao optar-se por um pós-tratamento com sistema de aeração, a estrutura pode ser bem mais compacta e o consumo energético bem menor, comparado ao mesmo sistema utilizado isoladamente, uma vez que 70% da DBO já foi removida na etapa anterior. Dessa forma, a presença do mesmo na linha de tratamento de águas residuárias proporciona economia nos custos de implantação e operação em comparação com outros sistemas de tratamento onde não há uma etapa anaeróbia inicialmente.

Em contrapartida, o tanque de aeração por ar difuso, etapa sequencial ao reator UASB na Empresa A, é um dos itens do sistema de lodos ativados. Este sistema apresenta, segundo a literatura, eficiência de 85% a 95% de remoção de DBO, equivalente ao valor informado pela indústria durante a visita. Sendo assim, uma associação de um sistema anaeróbio seguido por uma etapa aeróbia, como os lodos ativados, proporcionam uma melhoria no processo, isto é, na eficiência apresentada, sendo adequada ao tratamento de um efluente com alta carga orgânica, como os de cervejaria. Entretanto, é necessário cuidado quanto ao sistema de tanque de aeração por ar difuso, uma vez que pode ocorrer a formação de zonas mortas, a colmatagem ou entupimento dos sistemas de distribuição e a grande geração de lodo (JORDÃO; PESSOA, 2005).

Os decantadores secundários estão diretamente interligados ao tanque de aeração, sendo outra estrutura do sistema de lodos ativados (VON SPERLING, 2014). Estes ocupam um papel de relevância no processo de tratamento biológico, onde ocorre a sedimentação dos resquícios de lodo presentes no efluente. O lodo sedimentado é recirculado para o tanque, e por isso, são mais utilizados os decantadores circulares, que possuem braços raspadores que se movem ao longo do raio da estrutura (JORDÃO; PESSOA, 2005). Dessa forma, ressalta-se novamente a eficiência de um tratamento anaeróbio aliado à etapa aeróbia, como é realizado pela Empresa A.

A última etapa do processo também merece uma atenção especial. Trata-se da cloração, método de desinfecção que é utilizado após todo o processo de tratamento da ETEI da Empresa A. Considerando o intervalo de DQO e DBO apresentados pelo técnico da empresa para o efluente tratado e descritos na Tabela 6, considera-se que a remoção de matéria orgânica do efluente não é completa, ainda que se obtenha alta eficiência com o sistema de tratamento. Sendo assim, segundo Von Sperling (2014), o cloro reage com a matéria orgânica presente nas águas residuárias, formando compostos organoclorados e cloramina. Estes compostos organoclorados (trihalometanos) são carcinogênicos e afetam a biota aquática, devido à toxicidade.

“O cloro, quando empregado em águas que contenham compostos orgânicos, como efluentes de ETEs, pode levar à formação de compostos potencialmente prejudiciais à saúde humana, tais como: trihalometanos, haloacetoneitrilas, etc. Adicionalmente, baixas concentrações de residuais de cloro são tóxicas a várias espécies aquáticas.(VON SPERLING, 2014)”

Neste caso, a Empresa A poderia estar contribuindo para redução da qualidade do curso d'água para onde é direcionado o lançamento de efluente tratado: o Ribeirão Serra Azul. Uma alternativa seria a descloração do efluente tratado anteriormente ao lançamento, prática bastante difundida e que tem sido amplamente utilizada para reduzir impactos ao meio ambiente relacionados à disposição do efluente. Geralmente a descloração se dá com o uso do dióxido de enxofre. No entanto, poderia ser esta etapa retirada do sistema de tratamento da Empresa A e substituída por outros processos de desinfecção, como a ozonização ou ultravioleta, uma vez que a cloração está sendo utilizada devido a vontade, ou até mesmo necessidade, de se realizar a desinfecção do efluente gerado. Apesar de apresentarem um maior custo, são métodos de desinfecção que não geram subprodutos prejudiciais ao meio ambiente, como os organoclorados.

O sistema de Lodos Ativados Convencional, que é este adotado pela Empresa A, analisada no presente estudo, apresenta elevada eficiência na remoção de DBO, além de reduzir os maus odores provenientes do processo de tratamento e atração de insetos ou vermes, assumindo vantagens ideais para a implantação em indústria de cervejaria. O mau odor pode tornar-se um problema, tanto para os trabalhadores locais, quanto para os visitantes. Contudo, uma alternativa a ser estudada é a adição das etapas de coagulação e floculação como etapas adicionais ao processo, resultando em melhoria nos parâmetros obtidos em relação à remoção de sólidos suspensos e DBO. Ou seja, processos de tratamento físico-químicos aliados à processos biológicos.

No entanto, a adição de unidades de tratamento físico-químico necessita de áreas consideráveis, contudo, dados de literatura mostram que a implantação desse tratamento físico-químico em empresas que já dispõem de um sistema completo e robusto, não demandaria uma necessidade de área muito superior a área necessária para a implantação do tratamento sem essa etapa. Este não seria o problema da unidade estudada, uma vez que conta com uma grande área destinada à ETEI, no entanto, pode ser o problema enfrentado por diversas cervejarias de menor porte, que apresentam espaço limitado. Além disso, o lodo proveniente dessas alternativas não sai adensado/estabilizado, e requer também a inclusão de processos de tratamento do lodo para sua destinação completa, com etapas de adensamento, estabilização (digestão anaeróbia) e desidratação. Em se tratando da Empresa A, todas as etapas de tratamento de lodo já são executadas, sendo esta, apenas uma

contextualização da existência de outros processos que, acrescidos ao tratamento biológico, acarretam aumento da eficiência de tratamento da Estação de Tratamento de Efluentes Industriais. A eficiência de tratamento apresentada pela Empresa A, é, todavia, consideravelmente alta.

5.1.5. Reúso de água e práticas sustentáveis

Segundo informações coletadas em campo, o reúso de água residuárias vem sendo adotado na Ambev, apresentando a preocupação com as questões ambientais, assim como a adoção de práticas mais sustentáveis, as quais vêm se intensificando nos últimos tempos nas atividades da empresa. Para alcançar tais objetivos, são traçadas metas, que são divulgadas periodicamente, afirmando um compromisso “público”.

De acordo com o Relatório de Sustentabilidade, em 2018, a Empresa A deu início a um novo ciclo de metas de sustentabilidade, que compreende o período entre os anos de 2018 a 2025, e são divididas em cinco pilares: gestão da água, agricultura sustentável, mudanças climáticas, embalagens circulares e empreendedorismo. Juntamente a estes pilares, soma-se o cuidado com o consumo inteligente. Dentre os pilares estabelecidos, focou-se no tema que é abordado no presente estudo: a água. Como principal matéria-prima do ramo, deve de fato estar no topo da lista de preocupações socioambientais. Dessa forma, são apresentadas pela empresa informações sobre a preservação desse recurso natural no meio industrial e o fomento ao acesso a ele, visando reduzir o impacto das operações no meio ambiente com ações que também contribuem para a perenidade do negócio.

O uso da água mantém-se dentro dos volumes outorgados pelos órgãos competentes, os parâmetros de lançamento respeitam às normas e legislações e o consumo se encontra dentro de metas estipuladas para redução do mesmo. Ainda segundo o Relatório de Sustentabilidade de 2018, nenhuma das bacias de onde se retiram água para a indústria são consideradas de alto risco hídrico, mas, mesmo assim, a empresa busca que todas as áreas de captação tenham, de forma mensurável, uma melhor qualidade e disponibilidade de recurso hídrico, estabelecendo projetos relacionados à conservação de bacias hidrográficas e investimento em sustentabilidade.

Dentro dos investimentos em sustentabilidade, destaca-se o reúso de águas como água de processo dentro da indústria cervejeira. Para a Ambev Juatuba, conforme informações prestadas em campo, o efluente tratado é reutilizado para limpeza de pátios externos na fábrica, irrigação de áreas verdes do empreendimento, diluição de carga orgânica no tanque de equalização, nas caldeiras e equipamentos de resfriamento. O restante do efluente, como já mencionado anteriormente, é lançado no Ribeirão Serra Azul.

Graças a essas ações, nos últimos 15 anos, a Companhia reduziu em 46% o índice médio de volume necessário de água para a produção das bebidas. Atualmente, são utilizados 2,92 litros de água para envasar 1 litro de bebida, valor consideravelmente abaixo do encontrado nas referências, que é 1:10 litros. Este dado esteve presente nas metas de sustentabilidade de 2013 (chegar ao índice de 3,2 litros para cada litro de bebida), que foi atingida em 2016 e superada posteriormente, chegando a este valor apresentado. Com isso, a Empresa A é considerada uma empresa referência na gestão de recursos hídricos, mesmo consumindo vazões consideravelmente altas deste recurso, segundo o Relatório de Sustentabilidade da própria empresa.

5.2. Caracterização da Empresa B

A Empresa B, como explicitado na metodologia deste presente estudo, se trata de uma cervejaria artesanal. Durante a visita à fábrica, constatou-se a inexistência de processo de tratamento do efluente gerado, e ainda, a falta de preocupação e consciência ambiental por parte da empresa ao lançar o efluente na rede convencional de esgoto sem seguir os critérios estabelecidos para tal, como a elaboração do Programa de Recebimento e Controle de Efluentes Para Usuários Não Domésticos (PRECEND) da Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA.

O PRECEND é regulamentado pela Resolução nº 40/2013 da Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais - ARSAE-MG e considera, de acordo com artigo 117 da mesma, conduta irregular do usuário e exige o atendimento aos padrões de lançamento determinados pela norma técnica da COPASA 187/6, documento homologado também pela ARSAE-MG (COPASA, 2018).

Destaca-se que as concentrações encontradas de DQO e SST quando acima dos valores impostos pela COPASA, de 450 mg/L e 300 mg/L, respectivamente, acarretam no acréscimo na cobrança referente ao descarte do efluente na rede coletora, ou seja, multas direcionadas à empresa. O efluente liberado não é caracterizado e nem possui controle de parâmetros, sendo informado em visita que é aferido apenas o pH, que varia de acordo com a cerveja produzida.

Considerando as pesquisas realizadas e apresentadas no item de referencial teórico deste presente trabalho, efluentes de cervejaria possuem características de elevada carga orgânica, presença de sólidos e pH variável, sendo possível mensurar a irregularidade do lançamento da fábrica em questão. As cervejarias artesanais mesmo não produzindo em grande quantidade, apresentam efluentes com concentrações de DBO e DQO maiores que as das grandes indústrias cervejeiras, pois estas geralmente possuem um sistema de produção, de tratamento e monitoramento mais eficientes e muitas vezes aplicam técnicas de reúso de águas como práticas sustentáveis em atividades que não afetam a qualidade do produto final (SANTOS, 2006).

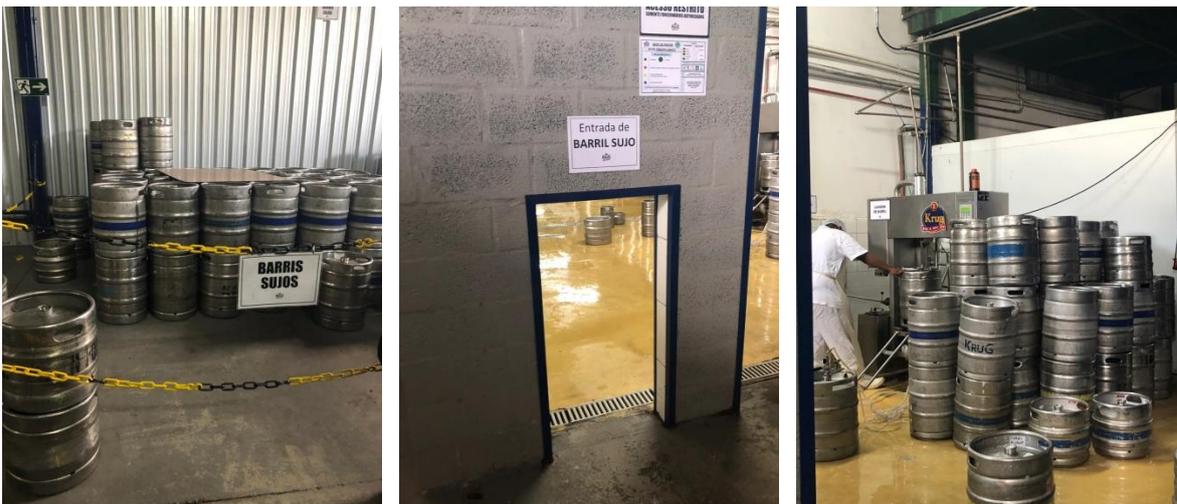
Pode-se afirmar que um grande problema está nas cervejarias artesanais, que assim como a empresa estudada, geralmente não possuem sistema de tratamento adequado ou apenas descartam seus efluentes de modo irregular na rede pública de esgotos ou nos cursos d'água, ocasionando a sobrecarga no sistema público de tratamento de esgoto doméstico ou poluindo os corpos hídricos. Além das fábricas de cervejas artesanais, ressalta-se ainda, a existência de produtores da bebida que não destinam a sua produção a comercialização, e sim ao consumo próprio. Estes possuem um processo de produção que não dispõe de qualquer tipo de controle ou monitoramento, seja quanto ao consumo de água ou quanto à destinação do efluente gerado (SANTOS, 2005).

Segundo informações coletadas em campo, o consumo de água se dá por meio de poços e concessionária (COPASA), relativamente na mesma proporção, chegando a 2.000.000 de litros por mês, e uma produção de cerveja que alcança a faixa de 300.000 litros por mês, aproximadamente. Com essas informações conseguiu-se estimar a quantidade de água utilizada na produção de 1 litro de cerveja, ou seja, a pegada hídrica do produto em questão. Assim, obteve-se 6,67 litros de água para cada litro de cerveja envasada da Empresa B, valor 3 vezes mais alto que da Empresa A.

Apesar de não ter tido acesso aos hidrômetros instalados nas etapas de produção de cerveja da Empresa B no momento da visita, foi acompanhado todo processo de produção, sendo observados alguns pontos cruciais onde podem ser detectadas perdas de água. A fábrica é extremamente limpa e higienizada, sendo lavada frequentemente com água por meio de mangueiras. A empresa funciona os sete dias da semana. Além da brasagem, são feitas as etapas de fermentação, maturação, envase e rotulagem da cerveja, não interrompendo a produção, e, além disso, recebem visitantes constantemente, apresentando essa necessidade de manter os ambientes sempre limpos.

As garrafas utilizadas para envase da cerveja são novas, então a lavagem não é realizada com produtos químicos. Os barris de chopp utilizados são lavados manualmente, com o auxílio de uma mangueira, onde primeiramente é feito um enxágue dos barris com água para retirada de restos de cerveja presente e, posteriormente, é utilizado um detergente alcalino clorado, sendo realizado novamente um enxágue. A Figura 13 mostra a limpeza dos barris constatada no momento da visita. Nessas etapas o gasto de água é maior do que em outras etapas do processo, sendo uma das principais etapas responsáveis pelo alto consumo nas cervejarias.

Figura 13 - Limpeza dos barris de chopp da Empresa B.



Fonte: Autoria própria.

Além da limpeza das garrafas e dos ambientes da fábrica, a água também é utilizada para limpeza dos equipamentos, como do fermentador após certo tempo de

uso. Não foram informados detalhes sobre este processo, apenas o uso de produtos químicos capazes de remover as incrustações e, posteriormente, o enxágue.

Dessa forma, constatou-se que a Empresa B não possui uma destinação do efluente ambientalmente correta e monitorada, assim como possui a Empresa A, nem outras ações que podem ser consideradas sustentáveis. A Empresa B alegou, apenas, que o bagaço do malte é doado como alimentação de gado para criadores.

As cervejarias artesanais sofrem com as limitações, principalmente de espaço, para que sejam implantados sistemas de tratamento de efluente. Este foi o principal problema observado na Empresa B. Contudo, existem tecnologias que exigem áreas menores e possuem alta eficiência, um exemplo seria a utilização de biorreatores a membrana submersa (MBR). Segundo Provenzi (2005), a tecnologia de biorreatores a membranas submersas (MBR) baseia-se na combinação de um tratamento biológico, normalmente lodos ativados, a um processo de separação/filtração por membranas de micro ou ultrafiltração, podendo significar redução em grande escala do consumo da indústria através do reúso de água.

A reutilização do efluente após o tratamento proporciona, depois de certo tempo, a quitação do valor investido na implantação do sistema, e passa a significar economia financeira para o empreendimento. Neste sentido, a quantia alegada pela Empresa B, que é mensalmente separada e destinada às multas devido ao lançamento de efluentes inadequado, poderia ser utilizada para a obtenção de um sistema capaz de tratar as águas residuárias geradas, trazendo benefícios para a empresa.

Além do mais, a possibilidade de lançamento no sistema público de tratamento de esgoto (COPASA) requer que os parâmetros principais sejam controlados, sendo necessário o PRECEND e talvez um pré-tratamento de acordo com a qualidade apresentada, o que se torna, também, uma alternativa, por vez mais simples e viável tecnicamente. Sendo assim, não justificaria a Empresa B estar lançando o efluente sem qualquer tipo de tratamento e ainda estar pagando multas recorrentes como sanção devidos a tais práticas. Isso transparece uma política interna que não se conscientiza da importância das questões ambientais.

Indústrias de grande porte carregam não só uma grande produção, mas também um nome, que geralmente é defendido e resguardado perante os diversos setores da sociedade, os chamados *stakeholders*, que descreve um público que tem interesse em uma empresa, negócio ou indústria, podendo ou não ter feito um

investimento neles. Consumidores, portanto, também fazem parte deste grupo. Além disso, atualmente a temática ambiental vem sendo cada vez mais abordada, devido a desastres ambientais ocorridos ou pela simples preocupação que vem sendo demonstrada para com os esses assuntos. Posto isto, ressalta-se que as indústrias de grande porte sofrem uma pressão muito maior do que as cervejarias artesanais, e, por este motivo, as indústrias de porte menor tendem a não se preocuparem tanto com as questões relativas ao meio ambiente.

Contudo, ao considerar a quantidade de novas fábricas produtoras de cervejas artesanais em Belo Horizonte, e também a nível estadual, destaca-se o efeito sinérgico e cumulativo, que pode ocorrer devido à acumulação e simultaneidade de impactos locais provocados por mais de um empreendimento. Sendo assim, o impacto negativo causado ganha proporções maiores perante o meio ambiente, uma vez que não somente a Empresa B pode estar agindo dessa forma, como muitas outras cervejarias da região.

Dessa forma, ressalta-se ainda mais a importância de se implantar um sistema de tratamento de efluentes nas indústrias do ramo abordado, e, não obstante, a importância da adoção de práticas de reúso de águas dentro da própria indústria. Na indústria cervejeira é possível aplicar o reúso nas caldeiras e torres de resfriamento, pois a água para resfriar circuitos internos não precisa ser tão nobre, além de poder ser utilizada para a limpeza de pisos fora do espaço de produção, irrigação, lavagem de caminhões, equipamentos, garrafas e água de descarga de sanitários. Sem o reúso, os custos incorporados aos produtos são extremamente altos, pagando-se pela água utilizada quando adquirida de concessionária, ou pelo direito de uso da água, quando outorgada determinada vazão pelos órgãos competentes.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram apresentadas e analisadas duas empresa produtoras de cervejas, porém com contextos diferentes. A Empresa A, de maior porte, detinha de práticas de gestão de recursos hídricos e de consumo consciente. Nesse sentido, o reúso, a gestão da oferta e da demanda, o tratamento de efluentes e a redução de perdas constituem uma associação de práticas conservacionistas, tornando-se uma empresa que demonstra se preocupar com o meio ambiente, reduzindo os impactos negativos, como as contaminações de água e solo, e auxiliando para o desenvolvimento sustentável.

Em contrapartida, foi observado um contexto oposto apresentado pela Empresa B, a começar pelo porte da fábrica, da produção e do consumo de água, até a não adoção de práticas que tornem a empresa ambientalmente correta. Dentro desse âmbito, discute-se muito sobre até que ponto as empresas aderem-se às práticas sustentáveis, se por uma preocupação, de fato, com o meio ambiente, ou por pressão exercida por órgãos ambientais ou até mesmo pelos consumidores e outros setores da sociedade. Neste ponto, conclui-se que as indústrias de grande porte sofrem uma pressão muito maior.

As cervejarias artesanais, por sua vez, sofrem com limitações de espaço, para que sejam implantados sistemas de tratamento de efluente. Este seria, portanto, o principal problema identificado para as fábricas de cervejas artesanais, como a Empresa B. Contudo, existem tecnologias que pode ser estudadas e exigem áreas menores para que sejam adotadas práticas ambientalmente corretas de disposição das águas residuárias, podendo significar redução do consumo de água na indústria por meio do reúso da mesma. Além do mais, a possibilidade de lançamento no sistema público de tratamento de esgoto (COPASA) também consiste em uma alternativa, e considerada, ainda, uma facilitação para que os empreendimentos se enquadrem dentro dos padrões estabelecidos.

Posto isto, concluiu-se que o tratamento de efluentes de cervejaria, aliado ao reúso como prática sustentável na indústria representa uma necessidade, uma vez que trata-se de um ramo industrial que se caracteriza por altos índices de utilização/captação de água e conseqüentemente, altos volumes de geração de efluente industrial. Este recurso não deve ser consumido de forma desordenada em função dos diversos problemas de escassez apresentados, seja quanto à

quantidade ou a qualidade do recurso. O tratamento de efluente se mostra, portanto, de extrema importância, e a otimização do mesmo ocasiona, ainda, a redução dos custos, visto que a água pode ser reutilizada internamente em setores diversos dentro de indústrias cervejeiras.

Concluiu-se ainda, que o sistema de tratamento de efluentes industriais da Empresa A encontra-se operando de maneira satisfatória para a remoção dos poluentes, com eficiência acima do encontrado nas referências, apenas com a ressalva para a etapa de cloração do efluente tratado, requerendo poucas adaptações e assim apresentando uma melhoria contínua do sistema ambiental da empresa. Destaca-se a eficiência de reatores anaeróbios seguidos de unidade de lodos ativados (tanque de aeração com manta de lodo e decantadores secundários) para este tipo de efluente.

Quanto as informações prestadas pela Empresa A em visita de campo, percebeu-se a necessidade de conhecer uma série histórica de parâmetros para real caracterização do efluente pré e pós-tratamento, além da quantidade que é destinada ao reúso e que é lançada no corpo d'água. Além disso, parâmetros como teor de sódio podem se mostrar importantes de serem realizados. Tais informações são de extrema importância para a análise completa do sistema de tratamento e da aplicabilidade do reúso de águas no processo, e não foram prestadas pela empresa. Contudo, evidencia-se a disponibilidade das duas empresas em receber a visita técnica e permitir a realização deste presente estudo.

Por fim, entende-se que efluentes industriais são bastante específicos, dotados de particularidades que variam de acordo com o processo produtivo, variando até mesmo de uma empresa para outra dentro do mesmo ramo industrial. Dessa forma, ao comparar uma cervejaria de grande porte com uma cervejaria artesanal pode-se perceber tais diferenças e, ainda assim, diante de situações e contextos diferentes, confirmar a importância e de práticas de redução do consumo, como a reutilização.

7. PROPOSTA DE CONTINUIDADE

Sugere-se que sejam estudadas e aplicadas por meio de um estudo de caso na Empresa B, as adequações necessárias para que o efluente seja caracterizado e devidamente tratado, capaz de ser reaproveitado como água de processo em diferentes etapas onde se consome água na indústria cervejeira. Pode-se apresentar tecnologias que se encaixam à realidade da empresa destacada, que requerem menores áreas de implantação, podendo esta unidade ser dimensionada e até mesmo orçada, obtendo-se dados concretos de custos atuais, equiparados aos custos da implantação do sistema e da economia gerada ao longo dos anos. Um exemplo seria a utilização de biorreatores a membrana submersa (MBR). Esta tecnologia pode ser melhor estudada para o tipo de efluente abordado, isto é, o efluente de cervejaria, por apresentar elevada eficiência em relação às tecnologias atuais, de tal forma que o efluente tratado possua características superiores, com uma qualidade extremamente elevada. Essa qualidade elevada permitiria um índice ainda maior de reutilização de água na indústria, pois englobaria setores que exigem águas mais nobres (VIANA, 2004).

Indica-se também como um futuro estudo uma análise estatística dos parâmetros do efluente tratado da Empresa A, através de uma série histórica mais robusta dos mesmos, a fim de comprovar as interferências da atividade exercida nos sistemas de tratamento de efluentes industriais. Com os resultados obtidos, pode-se estimular outras indústrias do mesmo ramo à adoção de medidas sustentáveis e implantação de um sistema de reúso de água industrial.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRALATAS. Associação Brasileira de Produtores de lata de alumínio. A indústria de bebidas em cheque. Disponível em: <<http://www.abralatas.org.br/common/html/economia.php>>. Acesso em 06 out. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2017**: relatório pleno. Brasília: ANA, 2017. 169p

ALMEIDA, Rodrigo Gomes. Aspectos legais para a água de reúso. **Vértices**, v. 13, n. 2, p. 31-44, 2011.

ALVES, Sebastião Sampaio. **Conservação e reúso de água em indústria de cosméticos: estudo de caso da Natura Cosméticos**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

AMBEV. COMPANHIA DE BEBIDAS DAS AMÉRICAS. Relatório de Sustentabilidade 2018: Demonstrações dos indicadores ambientais, sociais e econômicos 2018. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.ambev.com.br/conteudo/uploads/2019/04/relat%C3%B3rio-de-sustentabilidade-ambev-2018.pdf>. Acesso em: 09. nov. 2019.

AMBEV. Relatório Anual – Marcas. 2017. Disponível em: <http://www.ambev.com.br>. Acesso em: 01. nov. 2019.

ANA, FIESP, SINDUSCON-SP: **Conservação e Reúso de água em Edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005.

AQUARONE, Eugênio; LIMA, Urgel de Almeid; BORZANI, Walter. **Biotecnologia**: Alimentos e bebidas produzidos por fermentação. São Paulo: Edgard Blücher, 1983.

ARRUDA, C. S. de, ORTIZ, I. G., PACHECO, R. P., & BUENO, R. F.. Pós-tratamento de efluente cervejeiro com coagulantes naturais. **InterfacEHS**, v. 10, n. 1, 2015.

BARROS FILHO, João Batista Pereira de; MESSANY JÚNIOR, Ronald. **Viabilidade de reúso de águas residuárias em uma residência unifamiliar no município de Curitiba-Paraná**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

BEAL, D. A.; FERREIRA, S. C.; RAUBER, D. Recursos Hídricos: uso de água na indústria - o caso de Dois Vizinhos no Paraná-PR. In: **Congresso Nacional de Pesquisa em Ciências Sociais Aplicadas (III CONAPE)**. 2014. p. 6.

BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: CETESB, 1993.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicada no **DOU** nº 053, de 18/03/2005. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2018.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Publicada no **Diário Oficial da União** nº 92, de 16/05/2011. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res11/res43011.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2018.

BRASIL. Decreto n. 2.314, de 4 de setembro de 1997. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Brasília, 1997.

BRASIL. Decreto n. 6871, de 04 de junho de 2009. Regulamenta a Lei n. 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas Brasília, 2009.

BRASIL. Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas, autoriza a criação da Comissão Intersetorial de Bebidas e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 1994. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L8918.htm>. Acesso em: 11. nov. 2019.

BRASIL. Presidência da República Casa Civil. Lei Nº 9.433, de oito de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília. Pub. no **DOU** de 09/01/1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.html>. Acesso em 11. nov. 2019.

CAMPOS, Cláudio Milton Montenegro et al. Desenvolvimento e operação de reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) no tratamento dos efluentes da suinocultura em escala laboratorial. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 1, p. 140-147, 2006.

CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais**. 2 ed. São Paulo: Engenho Editora Técnica Ltda. 2012.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos et al. Reactores anaeróbios. In: **Princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. v.5. UFMG, 1997.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. CETESB. Caso de Sucesso nº 24: Redução do consumo de água na indústria de bebidas, CETESB, São Paulo, 2003.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. CETESB. Nota Técnica: Tecnologia de controle- Indústrias de laticínios (NT 17), São Paulo: CETESB, 1990.

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais. Cartilha Precend – 2018.

CORDEIRO, Willians Salles. **Alternativas de tratamento de água para comunidades rurais**. 2008. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos, Goytacazes/rj, 2008.

COSTA, D. M. A.; BARROS JUNIOR, A. C. Avaliação da necessidade do reúso de águas residuais. **Holos**, v. 2, p. 81-101, 2007.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. FIRJAN. Manual de conservação e reúso da água na indústria. Rio de Janeiro. 2006. Disponível em: < <http://firjan.org.br> >. Acesso em: 22. out. 2019.

FERREIRA, R.H.; VASCONCELOS, M.C.R.L.; JUDICE, V.M.M.; NEVES, J.T.R. **Inovação na fabricação de cervejas especiais na região de Belo Horizonte**. Perspectivas em Ciência da Informação. Belo Horizonte. n. 16, p. 171-191, 2011.

FIORI, Simone; FERNANDES, Vera Maria Cartana; PIZZO, Henrique. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações. p.970, 2008.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. MANUAL DE SANEAMENTO. FUNASA. 3. ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004.

GALVÃO, J.; BERMANN, C. **Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas.** Estudos Avançados, v. 29, n. 84, p. 43-68, 2015.

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

GAUTO, M. A; ROSA, G. R. **Processos e operações industriais da indústria química.** Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2011.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T.. **Métodos de pesquisa.** Plageder, 2009.

GONÇALVES, Danilo. **Proporcionalmente, mercado de cervejas especiais cresce mais que o de pilsen.** Engarrafador Moderno , nº 180, São Paulo, 2010.

GUERREIRO. L. **Efluente em cervejaria.** Resposta técnica. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2006.

HESPANHOL, Ivanildo. Potencial de reúso de água no Brasil Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** Vol 7. nº4. p. 75-95. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2002.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda. Tratamento de esgotos domésticos. 4ª Edição. **Rio de Janeiro**, 2005.

JUNIOR, Amaro AD; VIEIRA, Antonia G.; FERREIRA, Taciano P. Processo de Produção de Cerveja. **Revista Processos Químicos**, v. 3, n. 6, p. 61-71, 2009.

KARL, e.; IMHOFF, K. R.; Manual de Tratamento de Águas Residuárias. 26.ed. Edgard Blucher: São Paulo, 2002.

KLEBAN, J.; NICKERSON, I. To brew, or not to brew – That is the question: an analysis of competitive forces in the craft brew industry. **Journal of the International Academy for Case Studies**, v. 18, n. 3, p. 59–81, 2012.

KOCHENBORGER, Guilherme. **Tratamento Físico-Químico para efluente de cervejaria.** Dissertação (Mestrado – Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade de Passo Fundo, Minas Gerais, 2012.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 3 ed. Campinas, SP: Átomo, 2010.

MENDONÇA, L. C. **Microbiologia e cinética de sistemas de lodos ativados como pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio de leite expandido.** Dissertação de Mestrado. Engenharia Civil – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002. Disponível em: <<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IscScript=iah/iah.xis&src=google&base=LILACS&lang=p &nextAction=Ink&exprSearch=415531&indexSearch=ID>> Acesso em: 29 out. 2019

METCALF, Eddy; EDDY, H. P. I. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.** 2003.

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

MIERZWA, José Carlos. **O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria estudo de caso da Kodak Brasileira**. 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MIERZWA, José Carlos; HESPANHOL, Ivanildo. **Água na indústria: uso racional e reúso**. Oficina de Textos, 144 p., 2005.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental; Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01**, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário do Executivo do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, v. 20, 2008.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa conjunta COPAM/ CERH nº 1** de 5 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário do Executivo – “Minas Gerais”**, Belo Horizonte, MG, 13 mai. 2008: Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM e Conselho Estadual de Recursos hídricos – CERH, 2008.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa COPAM nº 74**, de 9 de setembro de 2004. **Conselho Estadual de Política Ambiental**. Belo Horizonte, 2009.

MIRANDA, Camila Bonfim. **Pós-tratamento de efluentes de estação de tratamento de esgoto visando a produção de água de reúso para indústria**. 2017.

MONTEIRO, A.; **Curso Operador Cervejeiro**. Companhia Brasileira de Bebidas: Goiânia, 2001.

MORADO, R. **Larousse da cerveja**. São Paulo: Larousse, 2009.

MORADO, Ronaldo. **Larousse da Cerveja**. São Paulo: Larousse do Brasil, 2009. MORAES, C. A. M.; ROCHA, L. K.; OLIVEIRA NETO, F. A.; CALHEIRO, D.; GARCIA, A. C. A. **Implementação de um programa de produção mais limpa em uma Indústria Siderúrgica**. In: Encontro Nacional de Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 2008, Porto Alegre. Anais... ENGEMA, 2008.

MORUZZI, Rodrigo Braga. **Reúso de água no contexto da gestão de recursos hídricos: impacto, tecnologias e desafios**. OLAM – Ciência & Tecnologia. Ano VIII. Volume 8. Nº3. p. 271. Rio Claro. São Paulo. 2008

NASCIMENTO, Francisco Paulo do Nascimento; SOUSA, Flávio Luís Leite. **Metodologia da pesquisa científica teoria e prática: como elaborar TCC**. 2017.

OENNING JUNIOR, Airton; PAWLOWSKY, U. **Avaliação de tecnologias avançadas para o reúso de água em indústria metal-mecânica**. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2006.

OLIVEIRA, Maria Cecília; MAGANHA, Martha Faria Bérnils. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas branca e de revestimentos**. São Paulo: CETESB, 2006.

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

PESSOA, Constantino Arruda; JORDAO, Eduardo Pacheco; DE SANEAMENTO BÁSICO, Centro Tecnológico. **Tratamento de esgotos domésticos**. In: **Tratamento de esgotos domésticos**. CETESB, 1971.

PHILIPPI JR, Arlindo et al. Reúso de água: uma tendência que se firma. MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício dos. **Reúso de Água**. Barueri-São Paulo: Manole, 2003.

PIZZANO, Camila X.; GONÇALVES, Lorena. Sistema de aproveitamento de água em casas populares. 2011. 86f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia de Produção Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

PROVENZI, Graziella et al. **Biorreator à membrana submersa para tratamento biológico de efluentes: estudos hidrodinâmicos e físico-químicos no controle da colmatação**. 2005.

REINOLD, Matthias Rembert. Água: Base para uma boa cerveja, 2011. Disponível em: <<http://www.cervesia.com.br/tratamento-de-efluentes.html>> Acesso em: 17 nov. 2019.

REINOLD, R. M.; **Manual Prático de Cervejaria**. 1.ed., Aden: São Paulo, 1997.

RODRIGUES, Raquel dos Santos. As dimensões legais e institucionais do reúso de água no Brasil: proposta de regulamentação do reúso no Brasil. 2005. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo. Disponível em: <file:///C:/Users/x16723878/Downloads/dissertacao_raquelrodrigues_regulamentacaoreuso.pdf>. Acesso em: 20 set. 2018.

ROSA, Natasha Aguiar; AFONSO, Julio Carlos; Química e sociedade: A química da cerveja. São Paulo: **Revista Química Nova Escola**, 2015, v 37. Disponível em: <http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc37_2/05-QS-155-12.pdf>. Acesso em: 15. nov. 2019.

SANTOS, H. R. Coagulação/precipitação de efluentes de reator anaeróbio de leite expandido e de sistema de lodo ativado precedido de reator UASB, com remoção de partículas por sedimentação ou flotação. 2006. 331 f. Tese (Programa de Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos. 2006.

SANTOS, M. S. **Cervejas e refrigerantes** (Série P + L). São Paulo: CETESB, 2005. Disponível em: <http://www.crq4.org.br/downloads/cervejas_refrigerantes.pdf> Acesso em: 22 out. 2019.

SAUTCHUK, C. A., LANDI, F., MIERZWA, J. C., VIVACQUA, M. C. R., SILVA, M., LANDI, P., & SCHMIDT, W.. Conservação e reúso de água: Manual de orientações para o setor industrial. **Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo–FIESP/CIESP**. v.1. São Paulo, 2004.

SILVA, Hiury Araújo; LEITE, Maria Alvim; DE PAULA, Arlete Rodrigues Vieira. Cerveja e sociedade. **Contextos da Alimentação–Revista de Comportamento, Cultura e Sociedade, São Paulo: Centro Universitário Senac**, v. 4, n. 2, p. 85-91, 2016.

SILVA, Paulo Henrique Alves; FARIA, Fernanda Carolina. Avaliação da intensidade de amargor e do seu princípio ativo em cervejas de diferentes características e marcas comerciais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 4, p. 902-906, 2008.

SILVA, Rodrigo de Almeida; PETTER, Carlos Otavio; SCHNEIDER, Ivo André H. Avaliação da perda da coloração artificial de ágatas. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 60, n. 3, p. 477-482, 2007.

SIMATE, Geoffrey S. et al. Coagulação e floculação heterogênea de águas residuais de cervejaria usando nanotubos de carbono. **Water research**, v. 46, n. 4, p. 1185-1197, 2012.

SIMATE, Geoffrey S. et al. O tratamento de águas residuais de cervejaria para reutilização: estado da arte. **Dessalinização**, v. 273, n. 2-3, p. 235-247, 2011.

SINDCERV. Subsídios para a atuação do Senado Federal em relação à regulamentação da publicidade e da venda de bebidas alcoólicas no país. Brasília, 2008. Disponível em: <<https://www.sindicerv.com.br/o-setor-em-numeros/>> Acesso em: 09. nov. 2019.

SIQUEIRA, Priscila Becker; BOLINI, Helena Maria André; MACEDO, Gabriela Alves. O processo de fabricação da cerveja e seus efeitos na presença de polifenóis. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 19, n. 4, p. 491-498, 2009.

SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÃO AMBIENTAL - SIAM. 2007. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/siam/lc/2012/0001619820192012/0138932012.pdf>>. Acesso em: 22. nov. 2019.

SOUZA, J. R. D., MORAES, M. E. B. D., SONODA, S. L., & SANTOS, H. C. R. G.. A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: caso Rio Almada, sul da Bahia, Brasil. **REDE-Revista Eletrônica do Prodem**, v. 8, n. 01, 2014.

SOUZA, R. D., & RIBEIRO, W. M. R.. Uma análise das políticas públicas para o desenvolvimento sustentável: a utilização da água de reúso. 2016.

TORRES, Tattiana Lupion et al. GESTÃO DO USO DA ÁGUA NA INDÚSTRIA: APLICAÇÃO DO REÚSO E RECUPERAÇÃO. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 370-385,

VIANA, Priscilla Zuconi. **Biorreator com membrana aplicado ao tratamento de esgotos domésticos: avaliação do desempenho de módulos de membranas com circulação externa**. 2004. Tese de Doutorado. Dissertação. Rio de Janeiro: COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ.

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. **Lodos Ativados**. Princípios básicos do tratamento biológico de águas residuárias. Volume 4. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1997.