

**Leonardo Facini Fernandes**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PARA REÚSO DE  
EFLUENTE: ESTUDO DE CASO EM UMA MALTARIA NO  
RIO GRANDE DO SUL.**

Porto Alegre  
Novembro de 2021

**LEONARDO FACINI FERNANDES**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PARA REÚSO DE  
EFLUENTE: ESTUDO DE CASO EM UMA MALTARIA NO  
RIO GRANDE DO SUL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO APRESENTADO  
AO INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
DO SUL COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA  
A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ENGENHEIRO  
HÍDRICO.

**Orientador: Gino Roberto Gehling**

Porto Alegre  
Novembro de 2021

## CIP - Catalogação na Publicação

Fernandes, Leonardo Facini

Avaliação do potencial para reúso de efluente:  
estudo de caso em uma maltaria no Rio Grande do Sul /  
Leonardo Facini Fernandes. -- 2021.

83 f.

Orientador: Gino Roberto Gehling.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto  
de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia Hídrica,  
Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. reúso de água. 2. malteação. 3. separação por  
membranas. 4. osmose reversa. I. Gehling, Gino  
Roberto, orient. II. Título.

LEONARDO FACINI FERNANDES

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PARA REÚSO DE EFLUENTE:  
ESTUDO DE CASO EM UMA MALTARIA NO RIO GRANDE DO SUL**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO HÍDRICO e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pelo Coordenador da disciplina Projeto de Conclusão II (IPH01043) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 23 de novembro de 2021

Prof. Gino Roberto Gehling

Dr. em Engenharia Ambiental pela Universitat Politècnica de Catalunya

Orientador

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Gino Roberto Gehling (UFRGS)**

Dr. em Engenharia Ambiental pela Universitat Politècnica de Catalunya

**Prof. Salatiel Wohlmuth da Silva (UFRGS)**

Dr. em Engenharia e Produção Industrial pela Universitat Politècnica de València

**Eng. Jose Leandro Vanin Bazi**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Luterana do Brasil - ULBRA

“A água de boa qualidade é como a saúde ou a liberdade:  
só tem valor quando acaba.”

João Guimarães Rosa

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Margot e Laércio que sempre lutaram para que nada me faltasse, além de me incentivar diariamente para que alcançasse meus objetivos.

A todos os meus familiares, pelo apoio constante, amor e carinho. Em especial aos meus tios Otair e Luciano, que me proporcionaram estudo e conhecimento e que sem eles não seria possível chegar neste momento.

A Renata, que desde o momento em que nos conhecemos me incentiva a ir em busca dos meus sonhos e ser uma pessoa melhor, e aos seus familiares pelo carinho e acolhimento.

Aos meus grandes amigos Bruno Tabosa, Guilherme Muller, Gustavo Francisco, Gustavo Gasparotto, Lucas de Conti, Marcelo Bier, Rafael Scaroni e Rodrigo Villela, pelos momentos de descontração e companheirismo.

Aos meus colegas da Engenharia Hídrica: Leonardo Manera, Pedro Guido, Mateus Kunrath, Kerlin Tais e Giulia Pacheco por compartilhar angústias e alegrias durante a rotina na universidade.

A todos os professores que passaram pela minha trajetória de ensino das instituições: Escola Estadual de Ensino Fundamental Itamarati, Colégio Metodista Americano, e Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ao meu orientador, professor Gino, não somente pela atenção durante o desenvolvimento deste trabalho, mas também pelo empenho em transmitir o seu conhecimento da melhor maneira possível para os alunos nas disciplinas em que leciona.

Ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), referência em pesquisa, ensino e extensão em temas relacionados a água e meio ambiente. Em especial ao professor Juan Martin Bravo por ter me dado a oportunidade de ser bolsista em um de seus projetos de pesquisa.

Aos profissionais da Incorp Consultoria e Assessoria, Itaipu Binacional e Ambev, que contribuíram para a minha formação profissional durante os períodos de estágio.

## RESUMO

A crescente demanda por uso de água no Brasil, atrelado ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização, escancara o desafio de garantir o acesso a água de qualidade para a população. De modo a evitar o processo de escassez e degradação dos recursos hídricos, o setor industrial, segundo maior consumidor de água do país, tem adotado diferentes estratégias competitivas para utilizar este recurso da maneira mais eficiente possível. O reúso de água na indústria pode ser considerado como uma fonte adicional de abastecimento de água, preservando o recurso para utilização em fins mais nobres, como o abastecimento humano e dessedentação de animais. A malteação, processo em que ocorre a germinação controlada do grão, dá origem a um dos principais ingredientes da cerveja que é o malte. Este processo pode ser dividido em três etapas: maceração, germinação e secagem. A etapa de maceração, que consiste na submersão do grão em um funil com água para aumentar a sua umidade interna, possibilitando assim que ocorra a germinação, é onde ocorre o maior consumo de água durante o processo. Tendo isto em vista, o objetivo deste trabalho é avaliar o potencial de reúso do efluente da etapa de maceração de uma maltaria localizada no estado do Rio Grande do Sul. Para isso, se utilizou como base um estudo desenvolvido em maltarias da França e Inglaterra, denominado projeto SWAN, onde se observou a possibilidade de reutilizar o efluente gerado na etapa de maceração após o efluente passar por um sistema de tratamento de MBR. Foram analisados os parâmetros DQO, DBO, pH, condutividade elétrica, fósforo e nitrogênio total do efluente gerado na etapa de maceração em duas fabricações distintas na maltaria tema de estudo. Os resultados obtidos demonstraram que o efluente gerado na maltaria tema de estudo possui uma qualidade superior ao efluente das maltarias francesas e inglesas. Assim, foi possível realizar um pré-dimensionamento dos principais componentes que envolvem um sistema de tratamento MBR, como volume do biorreator, área de membrana necessária e demanda de oxigênio. A implementação do sistema de reúso proposto seria capaz de reduzir o consumo de água em 32,4% para a etapa de maceração, equivalente a 480m<sup>3</sup> de água por dia.

**Palavras-chave:** reúso de água; malteação; separação por membranas; osmose reversa.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Cenário típico de sistemas de reúso indireto não planejado efetuados em série. ...	19
<b>Figura 2</b> - Sistema de Reúso Potável Direto.....	20
<b>Figura 3</b> - Descrição do processo de Osmose e Osmose Reversa .....	21
<b>Figura 4</b> - Dimensões das partículas retidas, compostos presentes no fluido e pressão do trabalho para cada tipo de membrana. ....	22
<b>Figura 5</b> - Tratamento de água residuária através do sistema de Osmose Reversa na unidade industrial Aracruz Celulose – ES.....	22
<b>Figura 6</b> - Sistema de lodos ativados em uma estação de tratamento de efluentes. ....	23
<b>Figura 7</b> - Comparação entre o sistema de MBR com módulo de membrana externo (esq) e módulo de membrana submerso (dir).....	24
<b>Figura 8</b> - Fluxograma Simplificado do processo de malteação. ....	41
<b>Figura 9</b> - Funis de Maceração da Maltaria Barrett Burston Malting, Austrália.....	42
<b>Figura 10</b> - Caixa de germinação circular. Maltaria Agrária – Paraná, Brasil. ....	43
<b>Figura 11</b> - Caixa de germinação retangular. Maltaria Weyermann, Alemanha.....	44
<b>Figura 12</b> - Estufa de secagem circular. ....	45
<b>Figura 13</b> - Projeto desenvolvido com as membranas submersas. Empresas responsáveis: Aquious e ITT Industries. ....	48
<b>Figura 14</b> - Projeto desenvolvido com unidade de ultrafiltração. Empresas responsáveis: Norit e Aquabio. ....	48
<b>Figura 15</b> - Projeto implementado na Maltaria Mountons. ....	50
<b>Figura 16:</b> Sistema de tratamento implementado na Maltaria Joe White Maltings. ....	53
<b>Figura 17:</b> Fluxograma do Sistema de tratamento de água. ....	55
<b>Figura 18:</b> Fluxograma do sistema de tratamento de efluente. ....	56
<b>Figura 19:</b> Foto durante a amostragem do efluente no funil de maceração. ....	58
<b>Figura 20:</b> Fluxograma da etapa de maceração e campanha de amostragem.....	59
<b>Figura 21:</b> Resultados obtidos para análise de DQO.....	65
<b>Figura 22:</b> Resultados obtidos para análise de Nitrogênio Total. ....	65
<b>Figura 23:</b> Resultados obtidos para análise de Condutividade.....	66
<b>Figura 24:</b> Resultados obtidos para análise de Fósforo.....	67
<b>Figura 25:</b> Resultados obtidos para análise de pH. ....	67
<b>Figura 26:</b> Resultados obtidos para análise de DBO5.....	68

<b>Figura 27:</b> Faixa de aplicação para cada equipamento de acordo com a vazão de tratamento. .....	71
<b>Figura 28:</b> Ilustração do equipamento proposto para o tratatamento e reúso do efluente.....	72
<b>Figura 29:</b> Alternativa de layout proposta para o reúso do efluente. ....	74

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Consumo de água para produção de diferentes alimentos.....	26
<b>Tabela 2</b> - Exemplos de reúso de água na indústria de alimentos. ....	26
<b>Tabela 3</b> - Classes do corpo de água para captação de água e tratamento exigido para consumo humano.....	29
<b>Tabela 4</b> - Condições para lançamento de efluentes no corpo receptor. ....	29
<b>Tabela 5</b> - Alternativas para destinação dos efluentes líquidos tratados, gerados no empreendimento. ....	36
<b>Tabela 6</b> - Tabela de Padrão bacteriológico da água para consumo humano.....	37
<b>Tabela 7</b> - Tabela de padrão de potabilidade para substâncias químicas inorgânicas. ....	38
<b>Tabela 8</b> - Tabela de padrão de potabilidade para substâncias químicas orgânicas. ....	38
<b>Tabela 9</b> - Tabela de padrão de potabilidade para agrotóxicos e metabólicos. ....	39
<b>Tabela 10</b> - Resultados das análises realizadas para qualidade do efluente. ....	50
<b>Tabela 11</b> :Parâmetros e padrões de emissão para a unidade industrial em estudo.....	56
<b>Tabela 12</b> : Parâmetros e laboratório responsável pela análise. ....	57
<b>Tabela 13</b> : Parâmetros para dimensionamento do sistema de MBR. ....	60
<b>Tabela 14</b> :Coeficientes usualmente atribuídos para os parâmetros biológicos. ....	61
<b>Tabela 15</b> :Coeficientes atribuídos para os parâmetros biológicos. ....	70

## **LISTA DE SIGLAS**

AA: Atenuador Ambiental

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA: Agência Nacional de Águas

CNRH: Conselhos Nacionais de Recursos Hídricos

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONSEMA: Conselho Estadual do Meio Ambiente

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO: Demanda Química de Oxigênio

ETA: Estação de Tratamento de Água

ETEI: Estação de Tratamento de Efluente Industrial

FEPAM: Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler

IPH: Instituto de Pesquisas Hidráulicas

MBR: Reator Biológico com Membrana

OR: Osmose Reversa

SEMA: Secretaria Estadual do Meio Ambiente

SISNAMA: Sistema Nacional do Meio Ambiente

SNS: Secretaria Nacional do Saneamento

SSV: Sólidos Suspensos Voláteis

SWAN: Save Water Attend Natura - Economize Água Atenda a Natureza

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.2 OBJETIVOS .....	15
<b>1.2.1 Objetivo geral</b> .....	15
<b>1.2.2 Objetivos específicos</b> .....	15
1.3 DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	15
1.4 LIMITAÇÃO DO TEMA .....	16
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
2.1 REÚSO: CONCEITOS E APLICAÇÕES .....	17
<b>2.1.1 Reúso indireto não planejado</b> .....	18
<b>2.1.2 Reúso indireto planejado</b> .....	19
<b>2.1.3 Reúso direto</b> .....	19
2.2 PROCESSO DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS .....	20
2.2.2 Biorreatores com membranas .....	22
2.3 ÁGUA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS .....	25
2.4 LEGISLAÇÃO PERTINENTE AO TEMA .....	27
<b>2.4.1 Lei 9.433/1997</b> .....	27
<b>2.4.2 Lei 14.026/2020</b> .....	28
<b>2.4.3 Lei nº 6938</b> .....	28
2.4.3.1 CONAMA 357 .....	28
2.4.3.2 CONAMA 430 .....	29
<b>2.4.4 Lei nº 9433</b> .....	31
2.4.4.1 CNRH N°54/2005 .....	31
2.4.4.2 CNRH N°121/2010 .....	32
2.4.4.3 CNRH N°140/2012 .....	33
<b>2.4.5 Associação Brasileira De Normas Técnicas</b> .....	33
2.4.5.1 NBR 13969 .....	33
<b>2.4.6 CONSEMA</b> .....	34
2.4.6.1 Resolução nº 419/2020 .....	34
<b>2.4.7 FEPAM</b> .....	35
2.4.7.1 Diretriz Técnica nº. 05/2017 .....	35
<b>2.4.8 Ministério da Saúde</b> .....	37
2.4.8.1 Portaria nº 888 .....	37
2.5 PROCESSO DE MALTEAÇÃO .....	39

<b>2.5.1 Maceração</b> .....	41
<b>2.5.2 Germinação</b> .....	42
<b>2.5.3 Secagem</b> .....	44
<b>2.5.4 Reúso de água na malteação</b> .....	45
2.5.4.1 Primeira etapa .....	46
2.5.4.2 Segunda etapa .....	47
2.5.4.3 Terceira etapa.....	49
2.5.4.4 Operação utilizando o reúso de água .....	51
2.5.4.5 Conclusões do projeto.....	52
2.5.4.6 Reúso em maltaria na Austrália .....	53
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	54
3.1 ÁREA DE ESTUDO .....	54
<b>3.1.1 Estação de tratamento de água</b> .....	54
<b>3.1.2 Estação de tratamento de efluentes</b> .....	55
3.2 ANÁLISES DO EFLUENTE .....	56
<b>3.2.1 Amostragem e coleta</b> .....	57
3.3 DIMENSIONAMENTO PRELIMINAR .....	60
<b>3.3.1 Dimensionamento do biorreator e membrana</b> .....	60
<b>4. RESULTADOS</b> .....	64
4.1 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PARA REÚSO.....	64
<b>4.1.1 DQO</b> .....	64
<b>4.1.2 Nitrogênio total</b> .....	65
<b>4.1.3 Condutividade</b> .....	66
<b>4.1.4 Fósforo</b> .....	66
<b>4.1.5 pH</b> .....	67
<b>4.1.6 DBO5</b> .....	68
4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA .....	69
4.3 LAYOUT PROPOSTO e REDUÇÃO DE CONSUMO DE ÁGUA .....	74
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	76
<b>6. RECOMENDAÇÕES</b> .....	77
<b>7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	78

## 1 INTRODUÇÃO

Desde o desenvolvimento das primeiras civilizações às margens dos rios, a humanidade tem se ocupado com a água como uma necessidade vital. Há pelo menos 5000 anos já haviam sido construídas obras de engenharia hidráulica como canais, diques, barragens e poços em regiões que hoje é representada por países como Egito, China e Paquistão. Estas obras visavam o melhor aproveitamento e distribuição da água para a manutenção e desenvolvimento de suas civilizações (COLLISCHON, 2015). Além de ser uma necessidade vital para a humanidade, a água permitiu o desenvolvimento de diversas atividades criadas pelo ser humano, e por essa razão, apresenta valores econômicos, sociais e culturais (MORAN; MORGAN; WIERSMA, 1985; BEECKMAN, 1998).

A água pode ser utilizada para o transporte de pessoas e mercadorias, geração de energia, produção e processamento de alimentos, processos industriais diversos, recreação e paisagismo, além de assimilação de poluentes – sendo essa, talvez, uma das aplicações menos nobres deste recurso tão essencial (MIERZWA; HESPANHOL, 2005). No Brasil, no ano de 2019, os três maiores consumidores por retirada de água, ou seja, a água total captada para um determinado fim foram: irrigação, abastecimento urbano e indústria, que representaram 49,8%, 24% e 9,7%, da água captada, respectivamente. (ANA, 2019).

A demanda por uso de água no Brasil cresce cada vez mais, com aumento estimado de aproximadamente 80% no total retirado de água nas últimas duas décadas. A previsão é de que, até 2030, a retirada aumente 23%. O histórico da evolução dos usos da água está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do país (ANA, 2019).

Por essa razão, torna-se fundamental a criação de estratégias que compatibilizem o uso da água nas atividades humanas. Isto significa que os atuais conceitos sobre uso da água e tratamento e descarte dos efluentes gerados devem ser reformulados. Assim sendo, a racionalização do uso e reúso da água tornam-se elementos essenciais de garantia à continuidade das atividades humanas, diante desse cenário de escassez de recursos hídricos (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

A tecnologia do reúso pode ser entendida como uma forma de reaproveitamento da água servida que abrange desde a simples recirculação de água de enxágue da máquina de lavar roupas, com ou sem tratamento aos vasos sanitários, até uma remoção em alto nível de poluentes para lavagens de carros, regas de jardins ou outras aplicações mais específicas,

podendo se estender para além do limite do sistema local e suprir a demanda industrial ou outra demanda da área próxima (TELLES *et al.*, 2010).

Tendo em vista a importância do reúso como ferramenta de gestão ambiental para redução no consumo de água nos processos industriais, o presente trabalho traz como objetivo avaliar o potencial de reúso do efluente gerado em uma maltaria na etapa de maior consumo de água para produção de malte, a maceração.

## 1.1 QUESTÃO DO ESTUDO

O efluente gerado pela etapa do processo de maceração na maltaria tema de estudo tem potencial para reúso na mesma etapa no processo de fabricação de malte?

## 1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho foram classificados entre objetivo geral e objetivos específicos e estão especificados a seguir.

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial de reúso do efluente gerado na etapa de maceração mediante a análise do efluente e estudo para implementação de novas tecnologias no sistema de tratamento de efluentes na unidade.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a caracterização do efluente gerado pelo processo de maceração;
- Avaliar o potencial de reúso do efluente tendo em vista os parâmetros exigidos pela legislação e o impacto na qualidade do malte produzido com água de reúso;
- Realizar o pré dimensionamento de um sistema de tratamento que possibilite o reúso do efluente gerado na etapa de maceração.

## 1.3 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O presente trabalho delimita-se a avaliar o potencial de reúso do efluente gerado na etapa de maceração na produção de malte.

#### 1.4 LIMITAÇÃO DO TEMA

O presente trabalho limita-se a avaliar o potencial de reúso do efluente gerado na etapa de maceração através da caracterização do efluente e a realizar um pré-dimensionamento dos principais componentes que envolvem um sistema de tratamento de separação por membranas, visando o reúso.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 REÚSO: CONCEITOS E APLICAÇÕES

Apesar do reúso de água estar sendo amplamente discutido na atualidade, o conceito de reúso é tão antigo quanto a própria existência da água no Planeta – a qual é mantida em circulação pelos reservatórios oceânico, atmosférico e terrestre, desde o instante que ocorreu no estado líquido, por meio da energia do sol (MIERZWA; HESPANHOL, 2005)

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (1973), tem-se:

Reúso indireto: ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída.

Reúso direto: é o uso planejado e deliberado de efluentes tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável.

-Reciclagem interna: é o reúso da água internamente às instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle de poluição.

De acordo com o Art. 2º da Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos a água de reúso é definida como sendo a água residuária, que pode ser esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas. Sendo assim, o reúso de água é a utilização desta água residuária.

O reúso da água pode ter como origem o efluente gerado na própria indústria; no aproveitamento de águas pluviais de telhados ou pátios internos; e, eventualmente, no reforço das águas subterrâneas por meio de recarga artificial dos aquíferos subjacentes à própria indústria com efluentes industriais controlados e adequadamente tratados (FIRJAN, 2006).

Mierzwa (2002), cita que o reúso de água na indústria pode ocorrer de duas formas distintas:

- Reúso em cascata: neste caso, o efluente originado por um determinado processo é diretamente utilizado em um processo subsequente, pois suas características são compatíveis com os padrões de qualidade da água utilizada.
- Reúso do efluente tratado: consistem em se utilizar o efluente resultante da estação de tratamento de efluentes existente, em aplicações onde os padrões de qualidade para uso são atendidos pelo efluente.

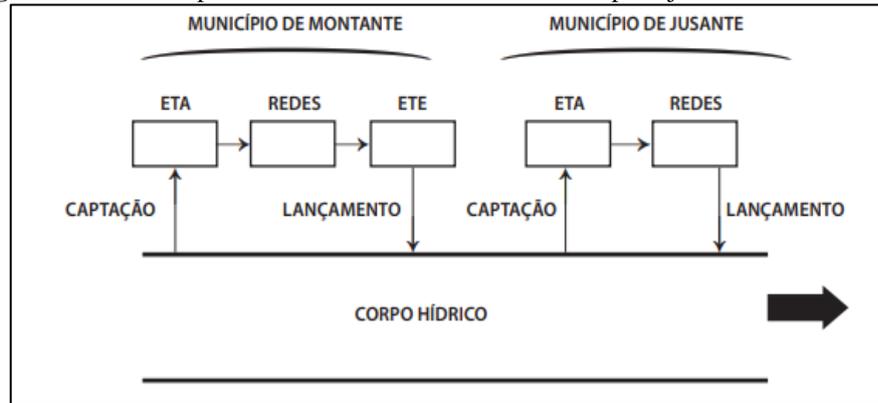
Segundo Hespanhol (2015), ainda é possível classificar o reúso com fim potável em 3 categorias, reúso indireto não planejado, reúso indireto planejado e reúso direto, conforme é descrito a seguir.

### **2.1.1 Reúso indireto não planejado**

Esta modalidade de reúso é a mais praticada no Brasil. Ocorre através do lançamento do efluente, tratado ou não, em um corpo hídrico receptor, que irá realizar a autodepuração de maneira completa ou incompleta, para que a água possa ser utilizada para captação por outro usuário. Von Sperling (1996), definiu a autodepuração como sendo um fenômeno ou processo de sucessão ecológica, em que há o restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, ou seja, a busca pelo estágio inicial encontrado antes do lançamento de efluentes e é realizada por mecanismos essencialmente naturais.

O último Diagnóstico Anual de Água e Esgotos, publicado em 2019, pela Secretaria Nacional do Saneamento (SNS), indica que 51,9% dos esgotos do país não são tratados e quase 100 milhões de brasileiros não têm acesso ao serviço de coleta de esgoto. Abaixo, a Figura 1 apresenta o cenário típico de sistemas de reúso indireto não planejado encontrados no Brasil.

**Figura 1** - Cenário típico de sistemas de reúso indireto não planejado efetuados em série.



Fonte: HESPANHOL, 2015.

### 2.1.2 Reúso indireto planejado

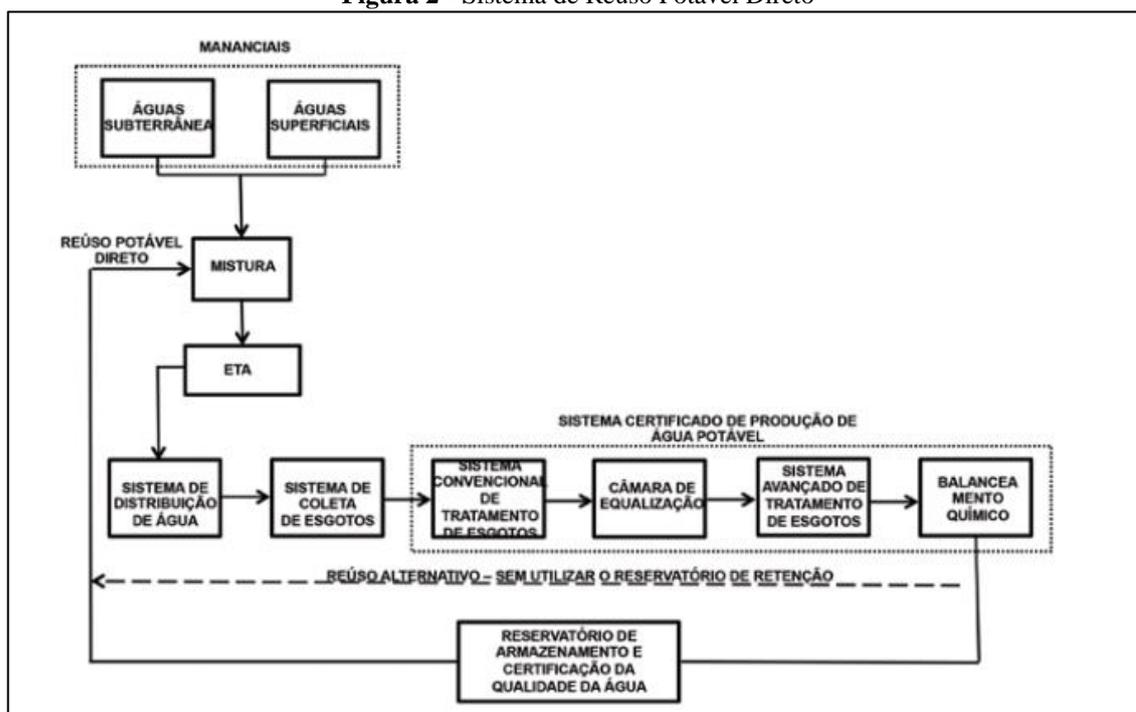
Hespanhol (2009), identificou que este tipo de aplicação é dificultado no Brasil, pela rejeitada dos legisladores e por alguns órgãos de fomento que recusam o desenvolvimento de estudos e projetos voltados para o desenvolvimento de uma norma e de códigos de prática nacionais sobre o tema.

Esta categoria de reúso é constituída pelo total controle dos lançamentos de efluentes, que passaram por um sistema de tratamento secundário, podendo variar conforme a fonte geradora. Estes efluentes são lançados em um atenuador ambiental (AA). O AA pode ser um corpo hídrico superficial ou até mesmo um aquífero não confinado, e tem como objetivo atenuar as baixas concentrações remanescentes dos poluentes presentes nos efluentes tratados por meio de processos de diluição, sedimentação, adsorção, oxidação e troca iônica para determinado reúso (HESPANHOL, 2015).

### 2.1.3 Reúso direto

O sistema de reúso potável direto ocorre a partir da introdução do efluente tratado diretamente na captação da estação de tratamento de água, ou até mesmo na rede de distribuição de água tratada. Hespanhol (2015), ressalta que o efluente deve ter origem doméstica e o sistema de tratamento de efluentes deve possuir um sistema de tratamento avançado. Não há simplesmente uma única tecnologia capaz de garantir a qualidade de água para o reúso, mas sim a combinação de sistemas e equipamentos tais como clarificação, filtração, membranas, carvão ativado ou ultravioleta (ABRAHÃO, 2015). A Figura 2 mostra um sistema de reúso potável direto.

**Figura 2** - Sistema de Reúso Potável Direto



Fonte: HESPANHOL, 2015.

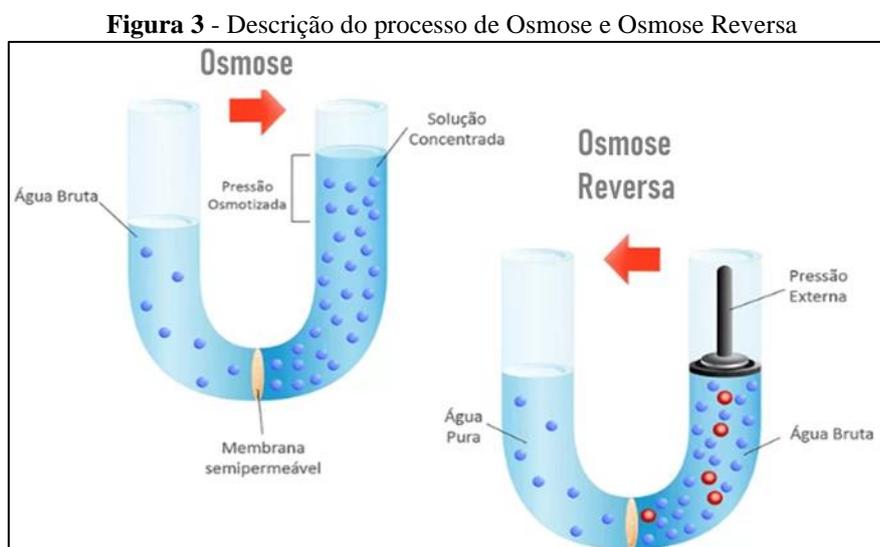
## 2.2 PROCESSO DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS

Todos os sistemas que visam qualquer tipo de reúso requerem no mínimo um sistema de tratamento a nível secundário, que visam a remoção da matéria orgânica e outras substâncias inorgânicas. Dependendo do uso pretendido do efluente tratado, se faz necessário também a remoção de algumas partículas, incluindo microrganismos e constituintes orgânicos e inorgânicos dissolvidos que permanecem no efluente secundário-tratado, sendo necessário tratá-los antes que possa ser reutilizado (U.S. EPA, 2012).

Documentado pela primeira vez em 1748 pelo físico francês Jean Antoine Nollet, a osmose é o processo em que a água permeia através de uma membrana semipermeável no sentido da solução com menor concentração de soluto para a solução com maior concentração, até que se atinja o equilíbrio. A osmose reversa consiste na aplicação de pressão na solução que contém a maior concentração de solutos, forçando a passagem desta solução através da membrana. O soluto irá ficar retido na membrana, enquanto o líquido permeia no sentido para a solução com menor concentração (WEF, 2006).

Ainda segundo WEF (2006), a osmose reversa foi desenvolvida com o objetivo principal de dessalinizar a água do mar, e foi primeiro sistema de membrana utilizado para tratamento avançado de água. Entre as décadas de 1960 e 1970 esta tecnologia começou a ser usada na

indústria de alimentos, sendo a indústria leiteira a pioneira (SOUZA, 2014). A Figura 3 representa os conceitos de omose e osmose reversa.

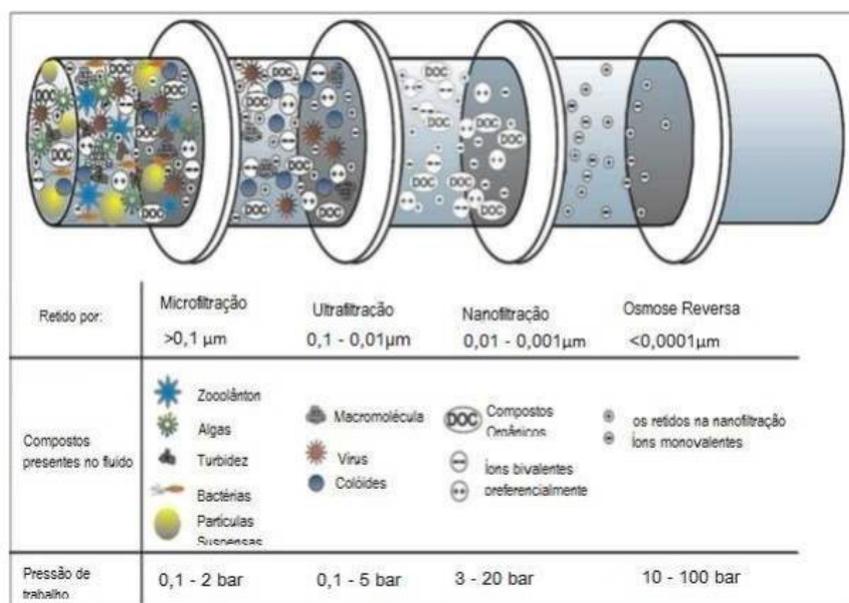


Fonte: PETROCHEM.

Disponível em: <https://www.petrochem.pt/pt/area-de-negocio/tratamento-de-aguas/equipamentos/filtracao/o-que-faz-e-como-funciona-uma-osmose-inversa.html>

O sistema de tratamento por osmose reversa pode ser utilizado para realizar a remoção de ions solúveis, sólidos dissolvidos e matéria orgânica, sendo possível aumentar a qualidade de efluentes tratados para ser possível a utilização como reúso ou recarga de águas subterrâneas (WEF, 2006). O processo de separação por membranas pode ser classificado de acordo com a dimensão da partícula retida. Microfiltração: aquela que retém partículas de dimensão entre 0,1 e 1  $\mu\text{m}$ ; Ultrafiltração: retenção de partículas de 0,01 a 0,1  $\mu\text{m}$ ; Nanofiltração: retenção de partículas de 0,001 a 0,1  $\mu\text{m}$  e Osmose Reversa: retenção de partículas de dimensão inferior a 0,0001  $\mu\text{m}$  (FERRARO, 2008). A Figura 4 apresenta a pressão de trabalho, dimensão da partícula retida e tipos de compostos de acordo com a operação do sistema de separação por membranas.

**Figura 4** - Dimensões das partículas retidas, compostos presentes no fluido e pressão do trabalho para cada tipo de membrana.



Fonte: SOUZA, 2014.

A Figura 5 a seguir apresenta um sistema de tratamento de água residuária através do sistema de osmose reversa instalado em uma indústria de celulose.

**Figura 5** - Tratamento de água residuária através do sistema de Osmose Reversa na unidade industrial Aracruz Celulose – ES.



Fonte: ENFIL.

Disponível em: <http://www.enfil.com.br/tratamento-de-agua-e-efluentes-liquidos>

### 2.2.2 Biorreatores com membranas

O sistema de tratamento MBR (Biorreatores com membranas) é o resultado da combinação do processo de tratamento de lodos ativados junto a separação por membranas.

O processo de lodos ativados foi descoberto por Gilbert John Fohler acidentalmente em 1913, na Grã -Bretanha, durante experimentos voltados ao tratamento de efluentes. O processo consiste na formação de uma massa ativa de microrganismos capazes de estabilizar os contaminantes presentes no efluente. Esta estabilização ocorre por meio da floculação biológica, onde bactérias aeróbias realizam a oxidação da matéria orgânica em um tanque de aeração para posterior decantação.

O funcionamento do sistema depende do controle de alguns parâmetros, como: oxigênio dissolvido, carga orgânica aplicada, tempo médio de retenção de sólidos, sedimentabilidade do lodo e o tempo de retenção hidráulica (SILVA, 2009). O sistema de lodos ativados (Figura 6), é amplamente utilizado para realizar o tratamento de grandes volumes de efluente e com elevados níveis de eficiência (JENKINS; RICHARD; DAIGGER, 2003). A transferência de oxigênio para os processos biológicos é feita por meio da aeração, promovida mecanicamente através de aeradores (turbinas) ou por dispositivos de ar difuso (difusores), ou por injeção direta de oxigênio puro. A quantidade necessária à atividades dos microrganismos em um sistema biológico é em função da DBO do efluente (CAVALCANTI, 2009).

**Figura 6** - Sistema de lodos ativados em uma estação de tratamento de efluentes.



Fonte: GRATT – Indústria e Tecnologia Ambiental.

Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/produto/lodos-ativados-gratt/>

A combinação do sistema de lodos ativados com a separação por membranas foi proposta por Smith, DiGregorio e Talcott (1969). Altos custos para aquisição das membranas e problemas na operação, como inscrustações, impediram o projeto de ser implementado em grande escala com as tecnologias existentes na época. Alterações no projeto começaram a ser propostas ao longo dos anos, como a sugerida por Yamamoto *et al.* (1989), que foi alocar as

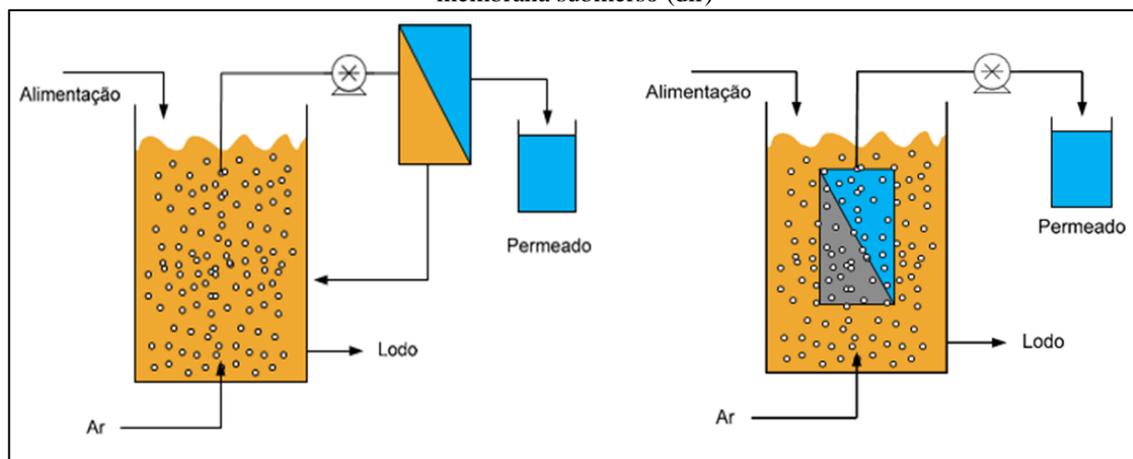
membranas dentro do reator. A redução no custo de aquisição das membranas e maior facilidade operacional permitiu a aplicabilidade do sistema em grande escala.

Segundo Silva (2009), alguns tipos de MBR estão disponíveis para o tratamento de efluentes, sendo eles domésticos ou industriais. O sistema pode ter o módulo de membranas internamente ou externamente ao tanque de aeração (biorreator), conforme é possível observar na Figura 7.

No reator com módulo externo, o efluente é bombeado e escoado paralelamente à superfície da membrana, enquanto o permeado é transportado transversalmente à mesma. Embora a operação com módulo externo seja simples, o mesmo apresenta um alto consumo energético para manter a diferença de pressão necessária à permeação, bem como para fornecer velocidade à suspensão (SILVA, 2009).

No reator com módulo submerso, o efluente está em contato com as membranas no tanque aerado. O permeado é obtido através da sucção do efluente que atravessa as paredes da membrana. Esta diferença de pressão que promove a separação pode ser provocada pela coluna de líquido no interior do reator e/ou aplicando-se vácuo no lado do permeado. Além do fornecimento de oxigênio para os microrganismos, neste tipo de aplicação, o oxigênio também é utilizado para a limpeza na superfície das membranas, através do fluxo de bolhas.

**Figura 7** - Comparação entre o sistema de MBR com módulo de membrana externo (esq) e módulo de membrana submerso (dir)



Fonte: SILVA, 2009.

SILVA (2009), ressalta ainda que a principal vantagem do sistema com reator com módulo submerso é o menor consumo energético, tendo em vista que a energia necessária para produzir o vácuo no sistema é menor do que a energia necessária para realizar o bombeamento do

efluente com pressão suficiente para as membranas no módulo externo. As manutenções nos sistemas são realizadas através da técnica de retrolavagem, onde o efluente ou ar é bombeado no sentido inverso ao da operação, descolando o lodo e resíduos acumulados junto as paredes da membrana. A desvantagem em relação ao módulo externo se dá pelo menor fluxo permeado, pois a pressão de trabalho do sistema é menor.

### 2.3 ÁGUA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

A quantidade de água deve ser suficiente para suprir a demanda na indústria e a qualidade, que pode influenciar diretamente na qualidade higiênico e sanitária do produto final, faz referência à sua carga microbiológica e às características químicas e físicas. Assim, o controle da água em seus aspectos químicos, físicos e microbiológicos é fundamental para racionalizar seu uso nas indústrias alimentícias (OTENIO *et al.*, 2005).

Para garantir o controle da qualidade da água, deve ser estabelecido na indústria de alimentos os critérios da regulamentação vigente, com avaliação recorrente de suas características para assegurar que os produtos alimentícios proporcionem excelência em qualidade físico-química e microbiológica (Galletti *et al.*, 2010). Se-destacam os seguintes parâmetros a serem analisados: cor e turbidez (físico), cloro livre e pH (químicos), contagem de bactérias heterotróficas, coliformes totais e *Escherichia coli* (microbiológicos).

No Brasil, para que a água possa ser utilizada para preparação e produção de alimentos, ela deve ser potável, com os mesmos padrões de qualidade exigidos para o consumo humano, independentemente de sua origem. Estes padrões estão dispostos nos Anexos da Portaria Nº 888, de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde, que estabelece o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2017). As legislações pertinentes ao tema serão abordadas no item 2.4 a seguir.

A indústria da produção de alimentos possui um alto consumo de água, porém é limitada quanto a técnica de reúso principalmente devido as restrições legais. Os principais usos da água envolvidos para o processamento de alimentos são: imersão, lavagem, enxágue, branqueamento, escaldagem, aquecimento, pasteurização, resfriamento, produção de vapor e como ingrediente. A Tabela 1 apresenta os valores de consumo médio de água para produção de diferentes tipos de alimentos.

**Tabela 1** - Consumo de água para produção de diferentes alimentos.

<b>ALIMENTO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADE</b>
Açúcar (Cana)	1782	litros/quilograma
Alface	237	litros/quilograma
Arroz	2497	litros/quilograma
Banana	790	litros/quilograma
Batata	287	litros/quilograma
Café	132	litros/taça de 125 ml
Carne Bovina	15415	litros/quilograma
Carne de Frango	4325	litros/quilograma
Carne Suína	5988	litros/quilograma
Chocolate	17196	litros/quilograma
Laranja	560	litros/quilograma
Leite	255	litros/copo de 250 ml
Leite Desidratado	4745	litros/quilograma
Maçã	882	litros/quilograma
Malte*	4,5 - 5,0	m <sup>3</sup> / tonelada
Manteiga	553	litros/quilograma
Massa (Seca)	1879	litros/quilograma
Milho	1222	litros/quilograma
Ovos	196	litros/unidade
Pão de Trigo	1608	litros/quilograma
Queijo	3178	litros/quilograma

Fonte: WATER FOOTPRINT NETWORK.

\*Fonte:SWAN, 2007.

A implementação da prática de reúso apresenta um grande desafio envolvido para garantir a segurança alimentar do produto e conseqüentemente a saúde dos consumidores (Casani *et al.*, 2005). Alguns exemplos de reúso na indústria de alimentos são apresentados na Tabela 2 a seguir.

**Tabela 2** - Exemplos de reúso de água na indústria de alimentos.

<b>Alimento / Processamento</b>	<b>Uso da água</b>	<b>Método de Tratamento de Água</b>
Ovos	Água de lavagem	Detergente alcalino + Sanitizante
Legumes frescos e salada	Água residual coletada no tanque de equilíbrio	Biorreator + Ultrafiltração + Osmose Reversa + Ultravioleta
Vegetais folhosos	Água de lavagem	Assentamento + Filtração
Processamento de batata	Água de lavagem	Sedimentação
Pepinos em conserva	Água de resfriamento	Dióxido de Cloro
Pepinos em conserva	Salmouras decapantes	Adição de NaOH

<b>Alimento / Processamento</b>	<b>Uso da água</b>	<b>Método de Tratamento de Água</b>
Produção de leite	Água para lavagem de garrafas	Filtração de areia + Gás Cloro
Produção de leite	Condensado de vapor	Pré-filtração + Nanofiltração + Ultravioleta
Processamento de pescado	Salmouras de refrigeração em navios de armazenamento de pesca	Ultrafiltração
Processamento de pescado	Água recuperada da máquina de filetagem	Osmose Reversa
Processamento de carne	Água resfriada do chiller	Pré-filtração + Nanofiltração + Osmose Reversa + Ultravioleta
Processamento de suínos	Água para esquentar, depilar e polir carcaças	Tratamento Secundário + Cloração
Produção de salsicha	Chiller pulverizando água	Nanofiltração + Ultravioleta + Cloração
Processamento de aves	Água de lavagem de carcaça	Filtração + Ozônio
Produção de cerveja	Lavagem de grãos utilizados	Centrifugação
Fabricação de gelo	Esterilização de água	Ozônio
Embalagem de alimentos (latas ou potes)	Água de refrigeração	Cloro
Lavagem de garrafas	Água de lavagem	Pré-filtração + Nanofiltração + Osmose Reversa + Ultrafiltração
Máquinas de limpeza de garrafas	Água de lavagem	Osmose Reversa + Ultravioleta

Fonte: Adaptado de Casani *et al.*, 2005.

## 2.4 LEGISLAÇÃO PERTINENTE AO TEMA

### 2.4.1 Lei 9.433/1997

A Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, conhecida como Lei das Águas, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Entre os seus fundamentos é possível destacar a limitação da água como recurso natural, sendo dotado de valor econômico e que a gestão de recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplos das águas. Seu principal objetivo é assegurar à atual e às futuras gerações a disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos. Para garantir esta disponibilidade, a Lei define alguns instrumentos de implementação, com destaque para o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos e a cobrança

pelo uso de recursos hídricos. No entanto, a Lei Nº 9.433 não regulamenta a prática de reúso de água.

#### **2.4.2 Lei 14.026/2020**

A Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, conhecida como “novo marco legal do saneamento” atribui à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) a competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento. Sendo assim, em seu Art 4º, parágrafo 1º e inciso IX, estabelece que a ANA terá o papel de emitir normas de referência sobre o reúso dos efluentes sanitários tratados, em conformidade com as normas ambientais e de saúde pública. A Lei nº 14.026 não regulamenta a prática de reúso de água, apenas define a competência da ANA para emitir normas de referência sobre o tema.

#### **2.4.3 Lei nº 6938**

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente-SISNAMA, e foi instituído pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Os principais atos do CONAMA são as resoluções (diretrizes, critérios, padrões e normas técnicas), moções (manifestações de qualquer natureza), recomendações, proposições (matérias encaminhadas ao Congresso Nacional) e decisões quanto a multas e outras penalidades ambientais (IPEA, 2011).

##### **2.4.3.1 CONAMA 357**

A resolução CONAMA 357/2005, publicada no DOU (Diário Oficial da União) nº 053, de 18/03/2005, 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. Esta resolução define a água doce como aquela que possui salinidade igual ou inferior a 0,5%. As águas doces são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em 5 classes de qualidade (Tabela 3). Quanto ao abastecimento voltado para o consumo humano se observa uma exigência maior do tratamento a ser utilizado conforme a qualidade da classe apresenta parâmetros com menor qualidade, até atingir a Classe IV, onde não consta a possibilidade de captação para consumo humano.

**Tabela 3** - Classes do corpo de água para captação de água e tratamento exigido para consumo humano.

<b>Classe do corpo de água</b>	<b>Tratamento exigido para consumo humano</b>	<b>Descrição do Tratamento</b>
Classe Especial	Desinfecção	Remoção ou inativação de organismos potencialmente patogênicos;
Classe 1	Tratamento Simplificado	Clarificação por meio de filtração e desinfecção e correção de pH quando necessário
Classe 2	Tratamento Convencional	Clarificação com utilização de coagulação e floculação, seguida de desinfecção e correção de pH quando necessário
Classe 3	Tratamento Convencional ou Avançado	Técnicas de remoção e/ou inativação de constituintes refratários aos processos convencionais de tratamento, os quais podem conferir à água características, tais como: cor, odor, sabor, atividade tóxica ou patogênica
Classe 4	A resolução não aborda o tratamento exigido para consumo humano para águas de classe 4.	

Fonte: Adaptado da Resolução Conama n° 357, 2005.

#### 2.4.3.2 CONAMA 430

A resolução CONAMA 430/2011, publicada no DOU em 16 de maio de 2011, dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução CONAMA 357.

O órgão ambiental competente deverá, por meio de norma específica ou no licenciamento da atividade ou empreendimento, estabelecer a carga poluidora máxima para o lançamento de substâncias passíveis de estarem presentes ou serem formadas nos processos produtivos, de modo a não comprometer as metas progressivas obrigatórias, intermediárias e final, estabelecidas para enquadramento do corpo receptor. A Tabela 4 apresenta a concentração máxima permitida de cada parâmetro para o lançamento de efluente segundo a resolução CONAMA 430/2011.

**Tabela 4** - Condições para lançamento de efluentes no corpo receptor.

<b>Tipo de Parâmetro</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>VMP - Valor Máximo Permitido</b>
<b>Parâmetros Inorgânicos</b>	Arsênio total	0,5 mg/L As
	Bário total	5,0 mg/L Ba
	Boro total	5,0 mg/L B
	Cádmio total	0,2 mg/L Cd
	Chumbo total	0,5 mg/L Pb

	Cianeto total	1,0 mg/L CN	
	Cianeto livre	0,2 mg/L CN	
	Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu	
	Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr+6	
	Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr+3	
	Estanho total	4,0 mg/L Sn	
	Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe	
	Fluoreto total	10,0 mg/L F	
	Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn	
	Mercurio total	0,01 mg/L Hg	
	Níquel total	2,0 mg/L Ni	
	Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N	
	Prata total	0,1 mg/L Ag	
	Selênio total	0,30 mg/L Se	
	Sulfeto	1,0 mg/L S	
	Zinco total	5,0 mg/L Zn	
<b>Parâmetros Orgânicos</b>	Benzeno	1,2 mg/L	
	Clorofórmio	1,0 mg/L	
	Dicloroetano (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L	
	Estireno 0,07	0,07 mg/L	
	Etilbenzeno	0,84 mg/L	
	Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	
	Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L	
	Tricloroetano	1,0 mg/L	
	Tolueno	1,2 mg/L	
	Xileno	1,6 mg/L	
	<b>Demais Parâmetros</b>	pH entre 5 a 9;	
		Temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura	
Materiais sedimentáveis: até 1 ml/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;			
Regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente			
Óleos minerais: até 20 mg/L			
Óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L			
Ausência de materiais flutuantes			
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor			

Fonte: Adaptado de Resolução CONAMA n° 430, 2005.

No artigo 27°, a resolução aborda a prática de reúso de água:

“As fontes potencial ou efetivamente poluidoras dos recursos hídricos deverão buscar práticas de gestão de efluentes com vistas ao uso eficiente da água, à aplicação de técnicas para redução da geração e melhoria da qualidade de efluentes gerados e, sempre que possível e adequado, proceder à reutilização. Parágrafo único. No caso de efluentes cuja vazão original for reduzida pela prática de reúso, ocasionando aumento de concentração de substâncias presentes no efluente para valores em desacordo com as condições e padrões de lançamento estabelecidos nesta Resolução, o órgão ambiental competente poderá estabelecer condições e padrões específicos de lançamento”.

#### **2.4.4 Lei nº 9433**

O conselho Nacional de Recursos Hídricos, instituído pela Lei nº 9.433, conforme o item 0. é a instância máxima da hierarquia do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Brasil, sendo um dos grandes responsáveis pela implementação da gestão dos recursos hídricos no país. A Lei nº 9.433 também institui que a composição do conselho será dada por representantes dos Ministérios e Secretarias da Presidência da República com atuação no gerenciamento ou no uso de recursos hídricos; por representantes indicados pelos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos; por representantes dos usuários dos recursos hídricos; e por representantes das organizações civis de recursos hídricos.

##### **2.4.4.1 CNRH N°54/2005**

A resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005 visa estabelecer modalidades, diretrizes e critérios gerais que regulamentem e estimulem a prática de reúso de água em todo o território nacional.

Em seu Artº 2, são realizadas as seguintes definições:

I - água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não;

II - reúso de água: utilização de água residuária;

III - água de reúso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas;

IV - reúso direto de água: uso planejado de água de reúso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;

Em seu Artº 3, a resolução abrange apenas modalidades de reúso direto com fins não potáveis, conforme segue:

I - reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;

II - reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;

III - reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;

IV - reúso para fins industriais: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais;

V - reúso na aquicultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

A resolução ainda determina que as diretrizes, critérios e parâmetros específicos para as modalidades de reúso serão estabelecidos pelos órgãos competentes. A resolução CNRH N°54/2005 não regulamenta a prática de reúso de água potável.

#### 2.4.4.2 CNRH N°121/2010

A resolução n° 121, de 16 de dezembro de 2010 visa estabelecer diretrizes e critérios para a prática do reúso direto não potável de água para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas. Em seu Art 2º ela estabelece que as características físicas, químicas e biológicas para a água em todos os tipos de reúso para fins agrícolas e florestais deverão atender os limites definidos na legislação.

A caracterização e o monitoramento periódico da água de reúso serão realizados de acordo com critérios definidos pelo órgão ou entidade competente. A resolução CNRH N°121/2010 não regulamenta a prática de reúso de água na indústria.

#### 2.4.4.3 CNRH N°140/2012

A resolução n° 140, de 21 de março de 2012 estabelece apenas critérios gerais para outorga de lançamento de efluentes com fins de diluição em corpos de água superficiais, não abordando a prática de reúso de água.

### **2.4.5 Associação Brasileira De Normas Técnicas**

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é uma entidade privada e sem fins lucrativos que é responsável para elaboração de Normas Brasileiras (NBR). Seu principal objetivo é padronizar processos, desde a produção de trabalhos acadêmicos, produção de serviços e atividades industriais. Quando surge a necessidade da normalização de determinado tema, a ABNT encaminha o assunto ao Comitê Técnico responsável, onde será exposto aos diversos setores envolvidos. Uma vez elaborado o Projeto de Norma com o assunto solicitado, ele é então submetido à Consulta Nacional (ABNT).

#### 2.4.5.1 NBR 13969

A norma NBR 13969 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação, publicada em 30/09/1997, foi elaborada para oferecer aos usuários do sistema local de tratamento de esgotos, que têm tanque séptico como unidade preliminar, alternativas técnicas consideradas viáveis para proceder ao tratamento complementar e disposição final do efluente. A norma define como reúso local de esgoto tratado a utilização local do esgoto tratado para diversas finalidades, exceto para o consumo humano.

Esta norma, portanto, atribui o reúso de água apenas para casos em que a origem do esgoto seja essencialmente doméstica ou com características similares e para sistemas de tratamento que possuam tanques sépticos como unidade de tratamento complementar. O esgoto tratado deve ser reutilizado para fins que exigem qualidade de água não potável, mas sanitariamente segura, tais como irrigação dos jardins, lavagem dos pisos e dos veículos automotivos, na descarga dos vasos sanitários, na manutenção paisagística dos lagos e canais com água, na irrigação dos campos agrícolas e pastagens etc.

Outras três normas elaboradas pela ABNT orientam sobre o uso e reúso da água em edificações, porém não contempla o reúso para indústria e com fim potável, são elas:

ABNT NBR 16782:2019 – Conservação de água em edificações – Requisitos, procedimentos e diretrizes

ABNT NBR 16783:2019 – Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações

ABNT NBR 15527:2019 – Água de chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos

## **2.4.6 CONSEMA**

O Conselho Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul (CONSEMA) é responsável pela elaboração de normas, padrões, parâmetros, critérios, controle, avaliação e melhorias para a gestão ambiental do estado. Ele foi instituído em 1994 com o objetivo de ser o órgão consultivo, normativo e superior do Sistema Estadual de Proteção Ambiental (CONSEMA).

### **2.4.6.1 Resolução n° 419/2020**

A resolução n° 419/2020, publicada em 21/02/2020, estabelece critérios e procedimentos para a utilização de água de reúso para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais no Estado do Rio Grande do Sul.

Em seu Art°2, são realizadas as seguintes definições:

Água de reúso: efluente tratado em grau suficiente para atender os padrões de qualidade definidos nesta resolução para aproveitamento não potável em determinadas atividades que não requerem necessariamente o uso de água potável.

Reúso para fins industriais: utilização não potável de água de reúso em processos, atividades e operações industriais.

Na seção IV, Art° 17 é disposto sobre as condições e padrões da água de reúso para fins industriais:

A qualidade e quantidade da água de reúso para fins industriais deverão obedecer às especificações técnicas de acordo com a finalidade e tecnologia do processo industrial a que se destina.

O Artº 21 determina que finalidades de reúso que não constem na resolução serão objeto de análise específica. A referida resolução não regulamenta, portanto, a prática de reúso de água com fim potável.

#### **2.4.7 FEPAM**

A Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM) é a instituição responsável pelo licenciamento ambiental no Rio Grande do Sul. Desde 1999, a FEPAM é vinculada à Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA). A licença ambiental é um instrumento para proteção dos ecossistemas e melhoria da qualidade ambiental, consistindo na obrigação de prévia autorização dos órgãos ambientais para a implantação e operação de atividades potencialmente poluidoras. (FEPAM, 1999)

##### **2.4.7.1 Diretriz Técnica nº. 05/2017**

A Diretriz Técnica N° 05/2017, emitida pela FEPAM, cuja última versão data de setembro de 2019, se refere ao descarte e reúso de efluentes líquidos no âmbito do Estado do Rio Grande do Sul. Esta diretriz realiza as seguintes definições:

Efluente líquido industrial: despejo líquido resultante de qualquer atividade produtiva, oriunda prioritariamente de áreas de transformação de matérias primas em produtos acabados

Reúso de efluente: utilização dos efluentes líquidos gerados, depois de tratados, para outras finalidades que não o lançamento em águas superficiais ou disposição em solo. A definição ainda aborda o reúso de efluente com fins industriais: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais.

A referida diretriz estabelece os procedimentos que serão adotados pela instituição para realizar o licenciamento de atividades que propõe a utilização da técnica de reúso de efluente e/ ou envio do efluente para tratamento externo a unidades geradora. A Tabela 5 apresenta as 6 alternativas propostas pela FEPAM para destinação de efluentes líquidos gerados em um empreendimento.

**Tabela 5** - Alternativas para destinação dos efluentes líquidos tratados, gerados no empreendimento.

<b>Alternativas</b>	<b>Destinação de efluentes líquidos</b>
Alternativa 01	Envio dos efluentes líquidos para tratamento em unidade externa
Alternativa 02	Tratamento dos efluentes líquidos e lançamento em águas superficiais, inclusive indiretamente, através da rede pluvial
Alternativa 03	Tratamento dos efluentes líquidos e reúso para fins agrícolas e florestais
Alternativa 04	Tratamento dos efluentes líquidos e disposição final no solo
Alternativa 05	Tratamento dos efluentes líquidos e reúso para fins urbanos
Alternativa 06	Tratamento dos efluentes e reúso industrial

Fonte: Adaptado da Diretriz Técnica N° 05/2017 – FEPAM, 2017.

A Alternativa 06 - Tratamento dos efluentes líquidos e reúso no processo produtivo estabelece as seguintes condições para estudo de viabilidade e encaminhamento da proposta para análise quanto ao licenciamento:

- Deverá ser informado à FEPAM o balanço hídrico e o percentual de reúso dos efluentes líquidos tratados, definindo os diferentes usos dentro do empreendimento.
- Para cada diferente uso declarado, deverá ser informado o padrão de reciclo a ser adotado, definindo as concentrações e os parâmetros que serão amostrados para garantia da qualidade no reúso.
- Deverá ser disponibilizado também, relatório mensal das águas de reúso, reportando os volumes reutilizados e as situações emergenciais que não permitiram a reutilização, com as ações adotadas de descarte e correções; operacionais.
- Deverá ser prevista uma solução alternativa para descarte dos efluentes gerados, no caso de problemas operacionais que impossibilitem o reúso.
- Deverá ser apresentada declaração do responsável técnico atestando a capacidade de reúso do efluente no processo.

## 2.4.8 Ministério da Saúde

O Ministério da Saúde é o órgão do Poder Executivo Federal responsável pela organização e elaboração de planos e políticas públicas voltados para a promoção, prevenção e assistência à saúde dos brasileiros (GOVERNO FEDERAL, 2019). Nos países em desenvolvimento, em virtude das precárias condições de saneamento e da má qualidade das águas, as doenças diarréicas de veiculação hídrica, como, por exemplo, febre tifóide, cólera, salmonelose, e outras gastroenterites, poliomielite, hepatite A, verminoses, amebíase e giardíase, têm sido responsáveis por vários surtos epidêmicos e pelas elevadas taxas de mortalidade infantil, relacionadas à água de consumo humano (Leser *et al.*, 1985).

### 2.4.8.1 Portaria nº 888

A Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Para a aplicação desta portaria são estabelecidas as seguintes definições:

- água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem.
- água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido neste Anexo e que não ofereça riscos à saúde.
- padrão de potabilidade: conjunto de valores permitidos para os parâmetros da qualidade da água para consumo humano.

A Tabela 6 , abaixo, apresenta o padrão bacteriológico da água para consumo humano.

**Tabela 6** - Tabela de Padrão bacteriológico da água para consumo humano.

<b>Padrão</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>VMP</b>
<b>Bacteriológico</b>	Coliformes Fecais	Ausência em 100mL
	<i>Escherichia coli</i>	Ausência em 100mL

Fonte: Portaria nº 888 de 4 de maio de 2021.

O padrão de potabilidade para substâncias químicas inorgânicas que representam riscos para a saúde é apresentado na Tabela 7 abaixo.

**Tabela 7** - Tabela de padrão de potabilidade para substâncias químicas inorgânicas.

<b>Padrão</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>VMP</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>VMP</b>
<b>Substâncias Químicas Inorgânicas</b>	Antimônio	0,006 mg/L	Arsênio	0,01 mg/L
	Bário	0,7 mg/L	Cádmio	0,003 mg/L
	Chumbo	0,01 mg/L	Cobre	2 mg/L
	Cromo	0,05 mg/L	Mercúrio	0,001 mg/L
	Fluoreto	1,5 mg/L	Nitrato	10 mg/L
	Níquel	0,07 mg/L	Selênio	0,04 mg/L
	Nitrito	1 mg/L	Urânio	0,03 mg/L

Fonte: Portaria nº 888 de 4 de maio de 2021.

A Tabela 8, a seguir, apresenta o padrão de potabilidade da água para substâncias químicas orgânicas que representam risco a saúde.

**Tabela 8** - Tabela de padrão de potabilidade para substâncias químicas orgânicas.

<b>Padrão</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>VMP</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>VMP</b>
<b>Substâncias Químicas Orgânicas</b>	Acrilamida	0,5 µg/L	Benzeno	0,5 µg/L
	Benzo[a]pireno	0,4 µg/L	Cloreto de Vinila	2 µg/L
	1,2 Dicloroetano	5 µg/L	Dioxano	48 µg/L
	1,2 Dicloroetano (cis + trans)	50 µg/L	Epicloridrina	0,4 µg/L
	Di(2-etilhexil) ftalato	8 µg/L	Diclorometano	20 µg/L
	Pentaclorofenol	9 µg/L	Etilbenzeno	300 µg/L
	Tetracloroetano	40 µg/L	Tetracloroeto de Carbono	4 µg/L
	Tolueno	30 µg/L	Tricloroetano	4 µg/L

Fonte: Portaria nº 888 de 4 de maio de 2021.

O padrão de potabilidade para agrotóxicos e metabólicos que representam riscos para a saúde é apresentado na Tabela 9 a seguir:

**Tabela 9** - Tabela de padrão de potabilidade para agrotóxicos e metabólicos.

<b>Padrão</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>VMP</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>VMP</b>
<b>Agrotóxicos e Metabólicos</b>	2,4 D	30 µg/L	Alacloro	20 µg/L
	Ametrina	60 µg/L	Aldrin + Dieldrin	0,03 µg/L
	Aldicarbe + Aldicarbessulfona + Aldicarbessulfóxido	10 µg/L	Atrazina + S-Clorotriazinas (Deetil-Atrazina - Dea, Deisopropil-Atrazina - Dia e Diaminoclorotriazina - Dact)	2 µg/L
	Carbendazim	120 µg/L	Carbofurano	7 µg/L
	Ciproconazol	30 µg/L	Clordano	0,2 µg/L
	Clorotalonil	45 µg/L	Clorpirifós + clorpirifós-oxon	30,0 µg/L
	DDT+DDD+DDE	1 µg/L	Difenoconazol	30 µg/L
	Dimetoato + ometoato	1,2 µg/L	Diuron	20 µg/L
	Epoxiconazol	60 µg/L	Fipronil	1,2 µg/L
	Flutriafol	30 µg/L	Glifosato + AMPA	500 µg/L
	Hidroxi-Atrazina	120 µg/L	Lindano (gama HCH)	2 µg/L
	Malationa	60 µg/L	Mancozebe + ETU	8 µg/L
	Metamidofós + Acefato	7 µg/L	Metolacoloro	10 µg/L
	Metribuzim	25 µg/L	Molinate	6 µg/L
	Paraquate	13 µg/L	Picloram	60 µg/L
	Profenofós	0,3 µg/L	Propargito	30 µg/L
	Protioconazol + Proticonazol Destio	3 µg/L	Simazina	2 µg/L
	Tebuconazol	180 µg/L	Terbufós	1,2 µg/L
	Tiametoxam	36 µg/L	Tiodicarbe	90 µg/L
	Tiram	6 µg/L	Trifluralina	20 µg/L

Fonte: Portaria nº 888 de 4 de maio de 2021.

## 2.5 PROCESSO DE MALTEAÇÃO

O processo de fabricação de cerveja pode incluir vários ingredientes, sendo os mais tradicionais, a água, malte, lúpulo e levedura. O malte exerce papel fundamental nesse processamento, pois é ele quem irá, além de fornecer aromas e sabores característicos para a

cerveja, possibilitar que os sistemas biológicos do processamento aconteçam, como a fermentação alcoólica (PORTO, 2011).

Malte é o termo usado após ser aplicado o processo de germinação controlada de grãos em ar úmido. A cevada é o grão preferido para a maltagem; no entanto, outros grãos, como trigo, centeio, sorgo, milho, ou aveia, podem ser maltados e subsequentemente usados na fermentação, destilação ou produção de alimentos. A cevada é o cereal mais comum usado para a produção de malte para cerveja, uma vez que tem uma alta proporção de amido para proteína e casca aderente que contribuem para o rendimento econômico e facilidade de processamento na cerveja e produz os sabores característicos associados ao malte para este propósito (MACLEOD; EVANS, 2015).

A produção brasileira de cevada, para fins cervejeiros, está concentrada nos três Estados da Região Sul do Brasil (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná). Clima, genética e manejo são fatores determinantes da produção de cevada com padrão de qualidade para malteação, particularmente em relação ao poder germinativo, ao tamanho, ao teor de proteína e à sanidade dos grãos (DE MORI, MINELLA, 2012). No ano de 2013, 368,45 mil toneladas de cevada foram importadas pelas indústrias brasileiras, sendo a Argentina o principal país de origem com 325,54 mil toneladas do grão, além da França com 42, 92 mil toneladas (EMBRAPA, 2014).

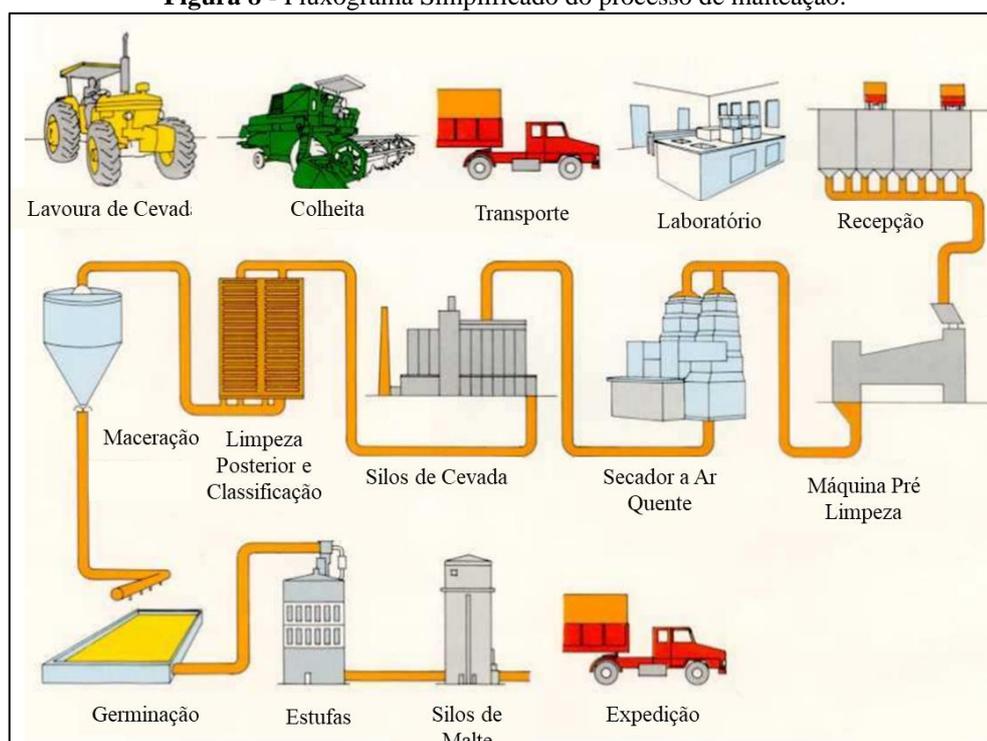
Na maioria dos países, a maior parte da cevada é destinada aos animais, principalmente bovinos e suínos. Os usos da cevada na alimentação humana são mais limitados, embora tenham sido identificadas tendências recentes no uso de variedades de cevada, com alto teor de fibra alimentar. Um uso significativo e de alto valor é a produção de malte como matéria-prima para a indústria cervejeira, incluindo cerveja e uísque (FOX, 2010).

No Brasil, diferentemente dos demais países, devido às mais vantajosas alternativas de alimentação animal, a malteação tem sido a principal aplicação econômica da cevada. Aproximadamente 80% da cevada produzida no país é utilizada na fabricação de malte, 6% é reservada para semente e os restantes 14% na alimentação animal, (DE MORI, MINELLA, 2012). A utilização do malte de cevada para fins cervejeiros chega a 95% de todo malte produzido no país. No ano de 2013 foram importadas 817,27 mil toneladas de malte pronto para uso. Destas, 373,09 mil toneladas vieram da Argentina, 267,18 mil toneladas do Uruguai, 107, 59 mil toneladas da Bélgica, 43,13 mil toneladas da França e 12, 52 mil toneladas da Alemanha (EMBRAPA, 2014).

Além da utilização de malte na produção de bebidas alcoólicas como cerveja e uísques, o malte pode ser utilizado para fornecer cor e sabor para outros alimentos, como biscoitos, bolos, pães e sorvete. Além destas atribuições, o malte pode ser utilizado como fonte de enzima, adoçante e fonte de vitaminas e aminoácidos (BAMFORTH, 1993).

O processo de malteação pode ser dividido em três etapas principais: maceração, germinação e secagem. Na primeira fase, maceração, o grão é embebido na água e hidrata o embrião e endosperma. Na segunda fase, germinação, as enzimas são sintetizadas, ativadas e mobilizadas, e o embrião começa a se desenvolver. Na fase final, a secagem, o crescimento do grão são interrompidos usando um tratamento térmico (estufa), que seca o grão para umidade constante e baixa para possibilitar o armazenamento (MACLEOD; EVANS, 2015). O fluxograma do processo de malteação é apresentado na Figura 8 a seguir.

**Figura 8** - Fluxograma Simplificado do processo de malteação.



Fonte: SENAI, 2016.

Disponível em:

[https://www.agraria.com.br/extranet\\_2016/uploads/AgromalteArquivo/mod\\_1\\_mp\\_3\\_cevada\\_e\\_malte\\_1601583678707.pdf](https://www.agraria.com.br/extranet_2016/uploads/AgromalteArquivo/mod_1_mp_3_cevada_e_malte_1601583678707.pdf)

### 2.5.1 Maceração

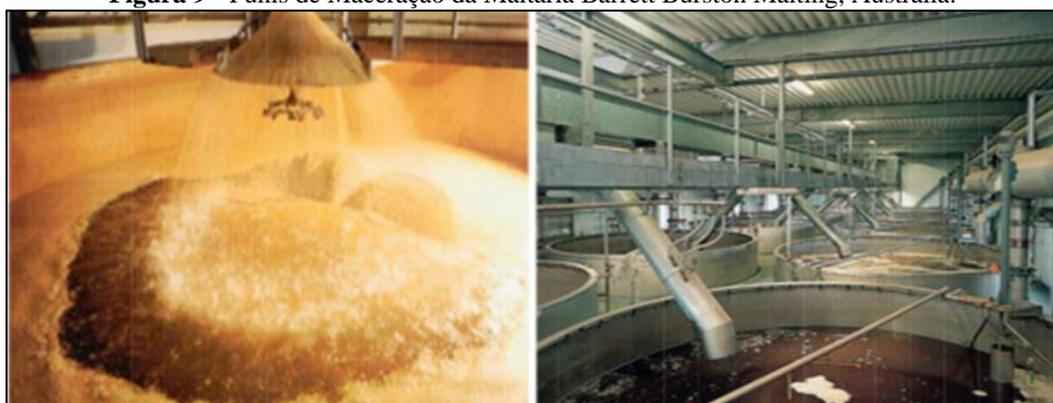
Durante a maceração, a cevada é imersa em água em funis para aumentar o seu teor de umidade para valores entre de até 47%, o que permitirá que o grão germine. O processo também

realiza uma limpeza no grão, removendo restos de detritos soltos e poeira. A absorção de água e oxigenação do grão deve ser uniforme a fim de estimular o embrião a respirar e iniciar a atividade hormonal. Assim que o embrião estiver hidratado e metabolizado, é importante obter uma distribuição completa e uniforme de água por todo o endosperma para produzir uma qualidade consistente no malte (MACLEOD; EVANS, 2015)

A etapa de maceração pode envolver uma série de 1 a 4 imersões em água, cada uma seguida por um período a seco, em que a água é drenada do funil. Sendo assim, esta etapa é a que possui o maior consumo de água no processo de malteação. Os regimes de maceração são determinados pelo projeto da planta, características e condições da cevada e especificações de malte alvo. Normalmente, a maceração leva entre 1 e 2 dias (MACLEOD; EVANS, 2015)

A maceração é o estágio mais crítico da malteação, pois para se produzir maltes homogêneos é necessário atingir um mesmo teor de umidade em toda a massa de grãos. Muitos fatores influenciam a taxa de absorção de água pelo grão, por exemplo, no início da maceração o embrião e a casca absorvem mais rapidamente a água do que o endosperma, logo a absorção de água pelo grão não é homogênea. Após a etapa de maceração estar concluída, o grão é transferido para a caixa de germinação (PORTO, 2011). A Figura 9 mostra os funis de maceração em uma maltaria na Austrália,

**Figura 9** - Funis de Maceração da Maltaria Barrett Burston Malting, Austrália.



Fonte: MACLEOD; EVANS, 2015.

### 2.5.2 Germinação

O processo de germinação visa estimular a síntese e liberação de enzimas, a degradação da parede celular do endosperma do grão e a solubilização do nitrogênio armazenado. A germinação é realizada usando tipicamente caixas retangulares ou vasos de germinação redondos. O grão repousa em placas perfuradas, que permitem a ascensão do ar e é revolvido

automaticamente por revolvedoras, que se deslocam lentamente através da cama de grãos para manter a massa de grãos solta, evitar o emaranhado de raízes e permitir o fluxo de ar adequado. A temperatura, fluxo de ar e pequenas aplicações de água são utilizadas para manter a umidade, temperatura e oxigênio na massa de grão, que respira à medida que germina e cresce (MACLEOD; EVANS, 2015).

Normalmente, a germinação ocorre em uma faixa de temperatura que varia de 16° a 20°C. Em temperaturas mais elevadas, a germinação ocorre mais rapidamente, criando raízes e enzimas. Em temperaturas mais baixas, a germinação ocorre mais lentamente, porém a quantidade de enzimas que se formam no processo é maior. Assim, costuma-se utilizar temperaturas mais elevadas no início do processo e baixar para que se obtenha a quantidade de enzimas suficiente. A respiração dos grãos é um processo que libera calor e portanto, aquece a massa de grãos. Para isso, é utilizado um sistema combinado com trocador de calor e ventiladores de alta pressão para que a temperatura seja controlada. (BAMFORTH 1993).

Dois tipos de caixas de germinação são comumente construídos, as caixas circulares (Figura 10) e as caixas retangulares (Figura 11).

**Figura 10** - Caixa de germinação circular. Maltaria Agrária – Paraná, Brasil.



Fonte: Cooperativa Agrária.

Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2013/07/10/malte-a-alma-da-erveja.htm>

**Figura 11** - Caixa de germinação retangular. Maltaria Weyermann, Alemanha.



Fonte: Weyermann® Tour.

Disponível em:

<https://www.weyermann.de/eng/wueu.aspx?go=tour&show=detail&idtour=14&umenu=ves&idmenu=40&sprache=2>

### 2.5.3 Secagem

O malte verde é carregado para a estufa de secagem com até 40% de umidade e tem duração geralmente de 24 horas. A secagem visa evitar o crescimento de raízes e limitar o teor de amido, para alcançar um produto estável para armazenamento e transporte, preservando assim a atividade enzimática e a estabilização da cor, aroma e sabor. Após a etapa de secagem, o malte pode ser moído para fermentação ou armazenado em ambiente fresco e em condições secas por até 12 meses sem perda significativa de qualidade. (MACLEOD; EVANS, 2015)

O processo de secagem consiste na remoção de água do grão germinado. O ar quente é forçado através do leito de grãos, que repousa sobre um piso perfurado semelhante ao encontrado nas camas de germinação. O ar quente que sai do leito de grãos pode ser recirculado ou recuperado e este processo é usado para controlar o processo de secagem e conservar o consumo de energia (MACLEOD; EVANS, 2015).

A etapa de secagem é a etapa que mais consome energia em todo o processo de malteação, cerca de 90% da energia total requerida. (GIBSON, 1989). Este aquecimento deve ser cuidadosamente controlado para permitir que a umidade seja removida do centro dos grãos em cada uma das camadas e sem superaquecer os grãos mais próximos da fonte de calor. A temperaturas variam de acordo com a etapa de secagem, partindo de 50 a 60 °C na primeira etapa até 80 a 110°C na última etapa. (BAMFORTH, 1993).

As condições de cozimento são uma das contribuições mais significativas para o caráter final do malte, portanto, o controle cuidadoso desta fase permite que uma variedade de tipos especiais de malte seja produzida a partir do processo de maltagem. Os fornos convencionais podem ser construídos em vários formatos e tamanhos e podem ser de um ou dois andares. Durante a secagem, a viabilidade do embrião é destruída, os níveis de sacarose aumentam e o açúcar é caramelizado. (MACLEOD; EVANS, 2015).

Finalmente, um peso de malte menor é produzido do que o peso de cevada inicialmente macerada, denominada perda de maltagem, que é equivalente a aproximadamente 12-15% da cevada limpa inicial seca. A perda de maltagem é atribuída à lixiviação / lavagem de grãos durante a maceração, respiração do grão durante a maceração e depois germinação, e a remoção de radículas após a secagem. (MACLEOD; EVANS, 2015). A Figura 12 a seguir mostra uma estufa do tipo circular.

**Figura 12** - Estufa de secagem circular.



Fonte: RWF Consulting for Malting.

Disponível em: <https://www.rwfmalting.com/kilning.html>

#### **2.5.4 Reúso de água na malteação**

O projeto Save Water Attend Nature (SWAN, 2007) Economize Água Atenda a Natureza, em português, foi elaborado por um consórcio entre órgãos especializados no processo de malteação da França e do Reino Unido. O objetivo do projeto foi estudar a possibilidade de reúso de água na maceração após o tratamento adequado.

Este tipo de projeto já havia sido estudado na década de 60, onde se observou que havia uma substância que inibia a germinação do grão no efluente gerado pela maceração. Através das tecnologias de tratamento existentes na época, foi possível atingir os padrões de

potabilidade para reúso da água, porém não foi possível remover a substância inibitória, inviabilizando assim a implementação do reúso na produção de malte. (GUIGA, 2007).

O projeto SWAN conseguiu identificar que a quinona, substância orgânica do grupo polifenol inibia a etapa de germinação, e demonstrou como ele poderia ser efetivamente removido. Os ensaios foram realizados em menor escala em um projeto piloto no laboratório do Instituto Francês de Bebidas Cervejaria e Maltagem (iFBM), na França, e no lote de 30 toneladas na Maltaria Muntons, na Inglaterra, que possui capacidade de 78.000 ton/ano. O principal resultado do projeto SWAN foi atingir o mesmo padrão de qualidade para o malte utilizando a água de reúso. O malte fabricado foi utilizado para produção de cerveja em uma cervejaria comercial, que também obteve resultados de qualidade perfeitamente aceitáveis.

O projeto foi dividido em três etapas e que serão abordadas a seguir:

#### 2.5.4.1 Primeira etapa

Ao ser imerso na água para aumentar seu teor de umidade de 14% para 45%, durante a etapa de maceração ocorre a lixiviação do grão, gerando o efluente com substâncias presentes na casca do grão. Durante a etapa de maceração, entre 0,5% e 1,5% do peso seco do grão dissolve-se na água. Quanto maior for o tempo em que o grão permanece no período úmido no funil, maior será a DBO no efluente.

Foram realizadas 37 amostras de águas residuais fornecidas por maltarias francesas e inglesas sendo analisadas para diversos parâmetros, como micotoxinas, açúcares, fósforo, microflora de grãos, DQO, DBO e condutividade. Foi desenvolvido um teste para a verificação da inibição da etapa de germinação utilizando o efluente tratado. A germinação foi inibida na faixa de 4% a 38% para efluentes tratados da forma convencional. Esta inibição afetou drasticamente a etapa de germinação, resultando em um malte de má qualidade. O efeito inibitório aumentou quanto maior fosse o tempo em que o grão permanecia em contato com o efluente tratado. Uma boa correlação foi encontrada entre a cor do efluente e a taxa de inibição (SWAN, 2007).

Testes de inibição revelaram que os compostos fenólicos nas camadas externas do grão não foram considerados inibidores. A adição de vários compostos fenólicos e seus produtos de oxidação finais para a água de maceração utilizadas no laboratório não encontraram nenhuma inibição. Estudos mais detalhados necessitaram ser desenvolvidos, onde se evidenciou que a

remoção das quinonas no efluente, que segundo da SILVA (2003), são compostos que podem ser encontrados nas plantas durante o processo de fotossíntese, eliminou o efeito inibitório. As quinonas são produtos intermediários de oxidação de compostos fenólicos, grupo antioxidante, capaz de inibir a oxidação de outras moléculas.

Sistemas de tratamento biológicos diminuíram a inibição ainda mais quando se utilizou um sistema de membranas, de 38% para 9%. A maior oxigenação no funil de maceração também mostrou um mínimo efeito inibitório. Foi realizado uma seleção das tecnologias de tratamento que viabilizassem o reúso da água, sendo que as escolhidas foram o biorreator com membrana, OR e carvão ativado. As tecnologias de tratamento aplicadas deveriam remover não apenas as substâncias inibidoras, mas também micotoxinas e pesticidas para garantir que a água fosse segura de acordo com os padrões de água para consumo humano exigidos pela União Europeia e também adequada para reúso no processo de malteação.

#### 2.5.4.2 Segunda etapa

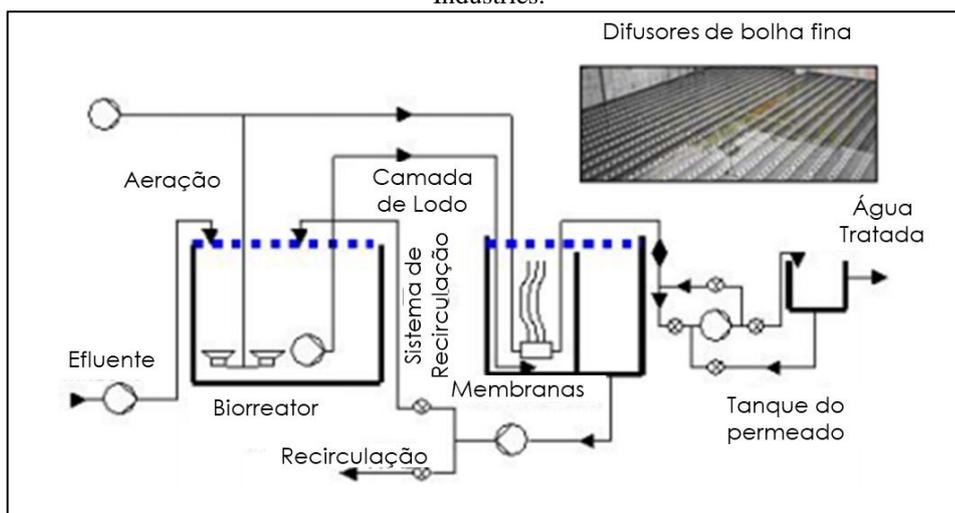
A segunda etapa conduziu estudos focados para aplicação da tecnologia de tratamento MBR e OR aplicando no projeto piloto de pequena escala e produção de cerveja com o malte produzido com a água de reúso. Para verificar também o efeito do reúso de água quanto a variedade de cevada a ser utilizada no processo de malteação, foram selecionadas 7 variedades distintas. As taxas de inibição variaram de 25% a 45% para efluentes não tratados, e de 6% a 13% para efluente filtrado utilizando membranas. Ao se utilizar o sistema de MBR, o efeito inibidor foi reduzido para apenas 2%.

Os níveis de metais pesados e DQO permaneceram acima dos limites legais, então se avaliou a utilização de três tratamentos adicionais, sendo eles: OR, nanofiltração e adsorção em carvão ativado. A OR e a nanofiltração produziram uma qualidade de água consideravelmente melhor do que o tratamento com carvão ativado. Em termos de produção de água potável, apenas a OR se mostrou efetiva, pois o efluente tratado com o sistema de nanofiltração ainda possuía altas concentrações de fósforo remanescente.

Os testes realizados na escala piloto evidenciaram que água de reúso utilizando o sistema de MBR + nanofiltração atingiu uma qualidade de malte equivalente ao malte de referência (feito com a água normalmente utilizada), enquanto que água de reúso utilizando o sistema de MBR + OR atingiu uma qualidade ainda superior a água normalmente utilizada.

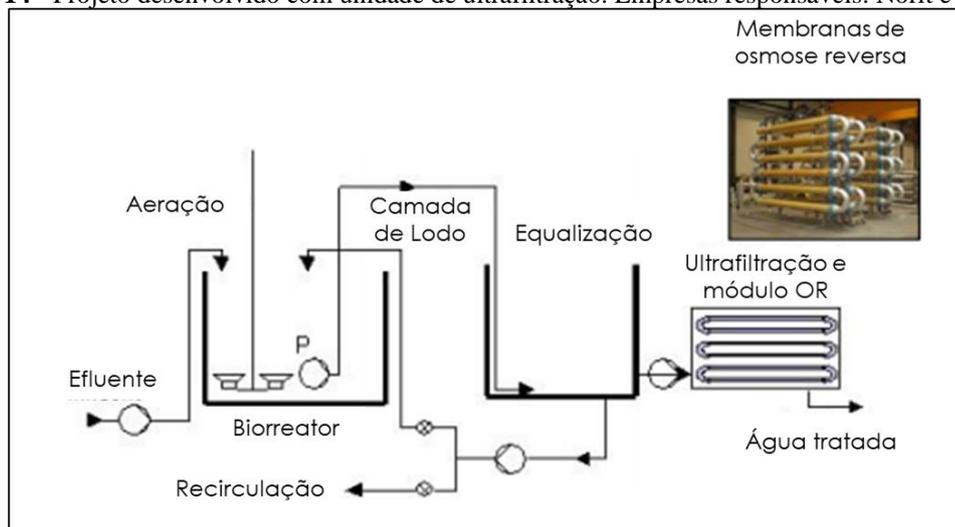
Diversas empresas especializadas em tratamento de água foram contatadas a fim de se elaborar o projeto, entretanto poucas expressaram interesse na colaboração. Apenas duas opções foram desenvolvidas. Ambas utilizaram um tanque de aeração como biorreator, mas diferiram quando ao design do sistema, entre a opção de membranas imersas na biomassa (Figura 13) e membranas de ultrafiltração em unidades externas ao biorreator (Figura 14).

**Figura 13** - Projeto desenvolvido com as membranas submersas. Empresas responsáveis: Aquious e ITT Industries.



Fonte: Adaptado de SWAN, 2007.

**Figura 14** - Projeto desenvolvido com unidade de ultrafiltração. Empresas responsáveis: Norit e Aquabio.



Fonte: Adaptado de SWAN, 2007

O tratamento utilizando a tecnologia de MBR eliminou a inibição até determinado ponto, mas para obter água potável foi necessário adicionar o sistema de OR. Pequenas diferenças entre os níveis de condutividade, polifenóis e fósforo foram observadas. Para ter certeza absoluta de que a utilização do sistema de MBR + OR foi eficaz na eliminação de qualquer micotoxinas e pesticidas presentes no efluente, um ensaio específico foi conduzido usando

cevada contaminada com a Toxina HT2 (produzida por fungos que fazem parte da vegetação no campo, e que podem comprometer os sistemas digestivos, nervoso, circulatório e a pele). Pesticidas ainda foram dosados junto ao efluente para verificar a eficácia da remoção. Todos os contaminantes foram removidos pela combinação dos tratamentos de MBR e OR. (SWAN , 2007).

A análise sensorial e química das cervejas produzidas com os maltes do projeto piloto demonstraram que não houve impacto negativo na qualidade da cerveja. As cervejas foram produzidas com os mesmos padrões de uso de maltes feitos com a água normalmente utilizada.

#### 2.5.4.3 Terceira etapa

O objetivo da terceira etapa foi confirmar a aplicabilidade do tratamento combinando MBR + OR em escala comercial. A planta também permitiu a opção de verificar a eficácia utilizando o sistema composto por MBR + Ultrafiltração. O projeto foi desenvolvido na Maltaria Muntons em um lote com 30 t (Figura 15). Dois tanques com 50 m<sup>3</sup> cada foram construídos, um para receber o efluente da maceração e o outro para agir como um biorreator. Todas as instalações foram operadas de acordo com os padrões de qualidade alimentar e sistemas de controle de processo da indústria. Durante o teste, os efluentes da planta foram monitorados e os técnicos envolvidos na operação foram totalmente treinados. Os padrões de higiene alimentar eram excelentes, tendo em vista que a planta possuía o mais alto padrão de higiene possível para uma maltaria.

**Figura 15** - Projeto implementado na Maltaria Muntons.



Fonte: SWAN, 2007.

O tratamento com MBR + OR foi utilizado para reciclar água por mais de 20 lotes de malte em todas as etapas de maceração. Até 80% de água de reúso foi utilizada, mas se verificou que o ponto ótimo de acordo com as características operacionais para a planta era operar com cerca de 65% a 70% de água de reúso. Não é indicado utilizar valores acima de 80% oriundos da água de reúso pois ocorre a remoção de mineiras da água durante o tratamento por OR. A Tabela 10 a seguir apresenta os resultados para as análises realizadas do efluente bruto, efluente após o sistema de tratamento de MBR + ultrafiltração e MBR + osmose reversa.

**Tabela 10** - Resultados das análises realizadas para qualidade do efluente.

<b>Parâmetro</b>	<b>Efluente Bruto</b>	<b>MBR + UF</b>	<b>MBR + OR</b>
DQO (mg/l)	4500	2300	50
Condutividade (mS/cm)	2,2	2	0,1
Polifenol (mg/l)	210	45	0
Densidade óptica (500nm)	0,5	0,1	0
Ácidos orgânicos totais (mg/L)	2800	400	0
Fósforo (mg/L)	71	35	0
Nitrogênio Total (mg/L)	151	75	0

Parâmetro	Efluente Bruto	MBR + UF	MBR + OR
Inibição da germinação (%)	25	10	0
Micotoxina – Ocratoxina A	N.D*	N.D*	N.D*
Micotoxina - DON	15	9	N.D*
Micotoxina - T2	0,1	N.D*	N.D*
Micotoxina - HT2	4,8	1,6	N.D*
Micotoxina - Nivelenol	7	3	N.D*

Foram realizadas análises para metais como manganês, cobre, zinco, chumbo, cádmio, mercúrio e ferro. As análises apresentaram valores dentro dos parâmetros exigidos para água potável, com exceção para ferro e manganês, devido a maior concentração desses metais naturalmente na água da região. Uma portaria garante que a concentração dos metais na água é segura para produção de alimentos. \*N.D significa que a análise não foi capaz de detectar o parâmetro na quantidade mínima de acordo técnica utilizada.

Fonte: SWAN, 2007.

O consumo de energia medido da opção MBR + OR foi de 7,0 kWh . Embora os testes de UF não tenham produzido água potável, o consumo de energia foi confirmado como sendo muito menor do que o de OR, em 3,0 kWh / m<sup>3</sup>. Esta opção pode ser viável caso a água a ser reutilizada seja destinada para outras áreas além do processamento de alimentos.

#### 2.5.4.4 Operação utilizando o reúso de água

O reúso de água foi utilizado para produção de 20 lotes subsequentes. A estabilização do biorreator levou apenas 2 semanas. Embora a meta de reúso fosse de 85%, isto não foi possível devido as restrições para o tempo de processamento da estação de tratamento.

Foram necessárias mais intervenções técnicas do que o previsto, a limpeza foi frequentemente necessária para superar o entupimento do sistema de OR. Os pré-filtros foram considerados muito finos, resultando em um entupimento mais frequente pela camada de lodo biológico acumulado. O regime de limpeza utilizado foi através do enxágue com solução alcalina semanalmente com duração de 9 horas e um enxágue com solução ácida a cada 2 semanas com duração de 13 horas.

No tanque de aeração, a taxa de agitação era muito alta, o que acabou gerando muita espuma, tendo que ser reduzida a uma simples agitação. Embora a água utilizando a tecnologia de ultrafiltração quando usada para maceração tenha produzido um malte dentro das especificações, os ensaios foram difíceis de conduzir e houve uma indicação de que a análise microbiológica da água possa ser difícil de controlar. De uma perspectiva de segurança alimentar, o aumento do risco para a qualidade da água é inaceitável para as empresas do ramo. Usando o tratamento com OR, foi constatado que não há possibilidade de ocorrência de contaminação (SWAN, 2007).

#### 2.5.4.5 Conclusões do projeto

Houve uma incerteza entre as fabricantes de malte que participaram do projeto sobre como os clientes aceitariam o malte fabricado com o reúso de água. Do ponto de vista técnico e analítico, não houve nenhuma razão para duvidar dos padrões de segurança alimentar e de qualidade que foram alcançados.

Os custos de capital de instalação e operação da tecnologia MBR + OR estavam na época do projeto em um patamar que não tornava competitivo para muitas maltarias implementarem o sistema em unidades em que elas têm o seu próprio tratamento de efluentes. Quando a maltaria recebe a água tratada diretamente da autoridade local e envia o seu efluente diretamente para o esgoto local, a cobrança é muito mais alta. Nestes casos, o sistema MBR + OR mostrou um retorno favorável a médio prazo. Para as maltarias que utilizam a captação de água para tratamento próprio e possuem uma estação de tratamento de efluentes dedicada, a introdução do tratamento MBR + OR só se tornava viável se houvesse um aumento significativo na captação de água ou nos custos de descarte de efluente por meio da pressão sobre os recursos hídricos.

O projeto atingiu com sucesso seus objetivos nas seguintes áreas:

- Identificou e desenvolveu um método para remover o composto inibidor no efluente gerado na etapa de maceração;
- Determinou que o tratamento em um biorreator de membrana seguido por osmose reversa gera uma água adequada para consumo humano e para posterior reutilização no processo de malteação;

- A água de reúso é livre de pesticidas, micotoxinas e metais pesados;
- Demonstrou que pelo menos 70% do efluente tratado pode ser reutilizado no processo de malteação;
- Em determinadas situações pode ser financeiramente viável instalar um sistema semelhante em uma maltaria comercial;

#### 2.5.4.6 Reúso em maltaria na Austrália

A maltaria Joe White Maltings, localizada na cidade de Perth, Austrália, implementou o sistema de reúso de água utilizando a combinação da tecnologia de MBR + OR em 2006 (Figura 16). A região ao sul da Austrália Ocidental estava passando por épocas de secas severas, em que a vazão que alimentava os reservatórios chegou a ser reduzida em 2/3 nas últimas 3 décadas. (FORBES, 2008)

Sendo uma das indústrias com o maior consumo de água na região, a maltaria evidenciou que a única solução para suprir os seus planos de expansão devido à alta demanda do mercado, passando de 90.000 para 200.000 t/ano, seria reduzir a captação de água. Após a implementação do sistema de reúso foi possível evitar a captação de aproximadamente 379.000 m<sup>3</sup> de água por ano, deixando de ser uma das indústrias com o maior consumo de água para um modelo a ser seguido por outras unidades. (FORBES, 2008)

**Figura 16:** Sistema de tratamento implementado na Maltaria Joe White Maltings.



Fonte: FORBES, 2008.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 ÁREA DE ESTUDO**

A maltaria tema do estudo possui capacidade produtiva de 98.000 t/ano. Sua estrutura é composta por 8 funis de maceração, cada um com capacidade de 55 t, 6 caixas de germinação com capacidade de 210 t cada e duas estufas, com capacidade de 105 toneladas cada. Em média, um lote de produção é composto por 210 t de cevada. O principal produto da unidade é o Malte Pilsen, porém também se produz maltes especiais, como o Malte Munich, cuja principal mudança na produção ocorre na etapa de secagem na estufa. A unidade também possui uma estação de tratamento de água (ETA) e uma estação de tratamento de efluentes industriais (ETEI).

##### **3.1.1 Estação de tratamento de água**

A captação de água bruta ocorre por uma galeria subterrânea que liga o Canal dos Navegantes, no delta do rio Jacuí, junto a ETA. O sistema de tratamento se inicia com a dosagem de policloreto de alumínio a 12% (PAC 12) e polímero não iônico diretamente na linha de adução de água bruta que direciona a água para o clarificador. Após o tempo de detenção necessário, a água clarificada escoar na parte superior do clarificador, onde ocorre a dosagem de cloro, em um tanque que contém pastilhas de hipoclorito de cálcio, para os filtros de areia. A última etapa do tratamento é a filtração, que ocorre em filtros de antracito. A vazão máxima de captação é de 100 m<sup>3</sup>/h, e conforme a licença de operação, a capacidade máxima de captação é de 2800 m<sup>3</sup>/dia.

O fluxograma do processo de tratamento de água da maltaria tema de estudo é apresentado na Figura 17 a seguir.

**Figura 17:** Fluxograma do Sistema de tratamento de água.



Fonte: própria do autor.

### 3.1.2 Estação de tratamento de efluentes

O processo de tratamento de efluente se inicia no recebimento do mesmo. Através de uma elevatória, que contém grade para remoção de sólidos grosseiros e uma Calha Parshal para mensurar a vazão de efluente entrando no sistema, o efluente é bombeado para um tanque de equalização. Um sistema de dosagem de NaOH realiza a correção do pH, para que possa ocorrer o tratamento biológico posteriormente.

Após a correção do pH, o efluente é bombeado para um reator de circulação interna (IC). Este reator é um econômico sistema de tratamento anaeróbico para águas residuais de indústria, que permite uma elevada redução da carga orgânica e ao mesmo tempo produzir biogás. Para queima deste biogás, está instalado na ETEI um sistema de geração de energia via microturbina e um flare em caso de falha deste sistema.

Em seguida, o efluente passa para o reator CIRCOX. O reator é um sistema aeróbico completamente fechado com uma excelente performance. Ele é adequado para o polimento aeróbico de efluentes anaeróbicos em áreas urbanas, uma vez que os bioreatores são relativamente pequenos e ocupam pouco espaço. Para suprir a demanda de oxigênio, um sistema de compressores realiza a oxigenação no reator. O efluente então passa para o reator de desnitrificação, onde a carga nitrogenada é removida.

A última etapa de tratamento é a flotação. Um flotador, com capacidade para tratar 80 m<sup>3</sup>/h recebe o efluente com a adição de PAC 18 e polímero iônico, para ocorrer o processo de separação dos sólidos grosseiros para o efluente polido. O lodo gerado no flotador e no clarificador do processo de tratamento de água são bombeados para uma centrífuga, que irá separar novamente o lodo grosseiro do clarificado, onde o mesmo irá retornar para ao processo de tratamento de efluente. O fluxograma do processo de tratamento de efluente da maltaria tema de estudo é apresentado na Figura 18 a seguir.

**Figura 18:** Fluxograma do sistema de tratamento de efluente.



Fonte: própria do autor.

### 3.2 ANÁLISES DO EFLUENTE

As características físicas, químicas e biológicas do efluente tratado da indústria tema do trabalho são consolidadas em uma planilha enviada mensalmente para a FEPAM (Tabela 11). Esta planilha de automonitoramento faz parte do Sistema de Automonitoramento de Efluentes Líquidos Industriais (SISAUTO), regulamentado pela Resolução CONSEMA N° 01 de 20 de março de 1998.

**Tabela 11:** Parâmetros e padrões de emissão para a unidade industrial em estudo.

Tabela de Parâmetros e Padrão de Emissão			
Parâmetro	Padrão de Emissão a Ser Atendido	Frequência Medição	Tipo Amostragem
Demanda bioquímica de oxigênio	$\leq 70 \text{ mg O}_2/\text{l}$	semanal	composta
Demanda química de oxigênio	$\leq 260 \text{ mg O}_2/\text{l}$	diária	composta
Fósforo total	$\leq 2 \text{ mg P/l}$ ou 75% de eficiência	semanal	composta
Nitrogênio amoniacal	$\leq 20 \text{ mg Nam/L}$	semanal	composta
Sólidos sedimentáveis	$\leq 1,0 \text{ ml/L}$ em teste de 1 (uma) hora em "Cone Imhoff"	semanal	composta
Sólidos suspensos totais	$\leq 80 \text{ mg/l}$	semanal	composta

Fonte: FEPAM.

Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/licenciamento/Area1/default.asp>

Tendo em vista que o potencial para reúso do efluente estudado foi o gerado pela etapa de maceração, e não o efluente equalizado, oriundo das demais atividades do processo de malteação, foram realizadas campanhas de amostragem para caracterizar exclusivamente o efluente desta etapa. Estas análises foram realizadas no laboratório próprio da unidade, em laboratório externo, credenciado pela FEPAM, e no Laboratório de Toxicologia de Alimentos da UFRGS.

A Tabela 12 apresenta os parâmetros que foram analisados e o laboratório responsável pela análise de cada parâmetro.

**Tabela 12:** Parâmetros e laboratório responsável pela análise.

<b>Parâmetro</b>	<b>Laboratório</b>	<b>Método Analítico</b>
pH	Próprio da Unidade	pHmetro de bancada
DQO	Laboratório Externo	5220 D*
DBO	Laboratório Externo	5210 B*
Fósforo	Laboratório Externo	3015 A/2017* e 6010 D/2018*
Nitrogênio Total	Laboratório Externo	4500 – N*
Condutividade	Laboratório Externo	2510 B*

\*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23ª Edição 2017

### 3.2.1 Amostragem e coleta

As análises do efluente gerado no processo de maceração foram realizadas em dois lotes de fabricações. Estas fabricações possuíam distintos varietais de cevada e distintos tipos de maltes alvo, por isso o processo de maceração não foi o mesmo para as duas fabricações.

Para a fabricação ‘A’, não houve a dosagem de NaOH para elevação do pH no primeiro período úmido. Para a fabricação ‘B’, a dosagem de NaOH elevou o pH da água de maceração para 11,0 no primeiro período úmido.

As coletas do efluente ocorreram em dois momentos: ao final do primeiro período úmido no funil de maceração (drenagem) e durante a transferência dos grãos com água do funil para a caixa de germinação (descarga). A coleta foi realizada diretamente no funil de maceração, conforme é possível observar na Figura 19 a seguir.

**Figura 19:** Foto durante a amostragem do efluente no funil de maceração.



Fonte: Própria do autor.

A Figura 20 a seguir apresenta o fluxograma do processo de maceração e o momento em que ocorreram as coletas do efluente para análise.

**Figura 20:** Fluxograma da etapa de maceração e campanha de amostragem.



Fonte: Própria do autor.

### 3.3 DIMENSIONAMENTO PRELIMINAR

Para proceder com o dimensionamento para o sistema MBR, se faz uso da metodologia desenvolvida por Von Sperling (2002), para encontrar os parâmetros construtivos e operacionais do biorreator. As diretrizes básicas foram estabelecidas por Judd (2006). O dimensionamento da membrana é possível obter tendo em vista o volume de efluente a ser tratado por ciclo, tempo de reação e filtração do ciclo e do fluxo de filtração (MARCHI, 2013).

#### 3.3.1 Dimensionamento do biorreator e membrana

Na Tabela 13 é possível observar os principais parâmetros para o dimensionamento do sistema de tratamento por MBR.

**Tabela 13:** Parâmetros para dimensionamento do sistema de MBR.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Gradeamento grosso	6	mm
Gradeamento fino	0,75	mm
Fluxo de Filtração méd.	20	L.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup>
Fluxo de Filtração máx.	28	L.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup>
Idade do Lodo	25	d
TDH (Biorreator)	8	h
Demanda de aeração específica	0,3	Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h
Pressão de sucção do soprador	101.300	Pa
Pressão de descarga do soprador	160.300	Pa
Temperatura na sucção do soprador de ar	293	K
Profundidade de imersão dos difusores de ar	5	m
Perda de carga no sistema de distribuição de ar	3	m
Eficiência soprador de ar	0,6	-

Parâmetro	Valor	Unidade
Eficiência bomba – lodo 0,50	0,5	-
Eficiência bomba - sucção do permeado	0,75	-
Pressão transmembrana	0,35	bar
Tempo de vida útil da membrana 10 anos	10	anos

Fonte: MARCHI,2013.

Conforme Marchi (2013), além dos parâmetros observados na Tabela 16, os seguintes itens possuem grande relevância para o dimensionamento do sistema de MBR:

- Sólidos suspensos totais;
- Dispositivos de aeração;
- Coeficientes cinéticos;
- Aspectos construtivos;
- Fluxo de filtração;

A Tabela 14 apresenta os coeficientes usualmente atribuídos para os parâmetros biológicos do biorreator, bem como a referência dos mesmos.

**Tabela 14:** Coeficientes usualmente atribuídos para os parâmetros biológicos.

Coeficiente	Descrição	Unidade	Faixa	Referência
Y	Coef. de produção Celular	kgSSV/kgDBO <sub>5</sub>	0,4 - 0,8	Metcalf & Eddy (2003)
			0,28 - 0,67	Judd (2006)
			0,4	Judd (2011)
K <sub>d</sub>	Coef. de respiração endógena	d <sup>-1</sup>	0,06 - 0,15	Metcalf & Eddy (2003)
			0,023 - 0,2	Judd (2006)
			0,12	Judd (2011)
θ <sub>c</sub>	Idade do lodo	dias	30 - 60	Viana (2004)
			5 - 72	Campello (2009)
			20 - 80	Giacobbo (2010)
SST	Sólidos suspensos totais no reator	mg/L	15.000 - 25.000	Schneider e Tsutiya (2001)
			8.000 - 10.000	Metcalf & Eddy (2003)
			8.000 - 15.000	Belli (2011)
F <sub>f</sub>	Fluxo de filtração na membrana	L/m <sup>2</sup> .h	17 - 30	Schneider e Tsutiya (2001)
			15 - 30	Melin <i>et al.</i> (2006)
			25	Judd (2011)
β	fator de correção para determinar a vazão de ar	-	0,70 - 0,98	Von Sperling (2002b)
			0,95	Judd (2011)
α	fator de correção para determinar a vazão de ar	-	0,4 - 0,8	Von Sperling (2002b)
			0,43 - 0,51	Judd (2011)

Fonte: MARCHI,2013.

Von Sperling (2002), estabeleceu a Equação 1 e Equação 2 para o dimensionamento do volume do biorreator e a fração biodegradável dos sólidos suspensos voláteis gerados no sistema, respectivamente.

$$V = \frac{Y.\theta c.Q.(S_0-S)}{X_v.(1+K_d.fb.\theta c)} \quad (1)$$

$$fb = \frac{fb'}{1 + (1-fb') K_d.\theta c} \quad (2)$$

Onde

$X_v$  = Sólidos suspensos voláteis no reator (mg/L).

$V$  = Volume do reator (m<sup>3</sup>).

$Q$  = Vazão de esgoto afluente (m<sup>3</sup>/d).

$Y$  = Coeficiente de produção celular.

$S_0$  = DBO afluente.

$S$  = DBO efluente.

$K_d$  = Coeficiente de respiração endógena (d<sup>-1</sup>).

$fb$  = Fração biodegradável dos SSV gerados no sistema.

$fb'$  = Fração biodegradável dos SSV imediatamente após sua a geração no sistema. Valor típico = 0,8.

$\theta c$  = idade do lodo (dias).

O dimensionamento das membranas é obtido por meio da Equação 3 (VON SPERLING, 2002).

$$Am = \frac{Q_f}{F_f} \quad (3)$$

Onde

$Am$  = Área da membrana (m<sup>2</sup>);

$Q_f$  = Vazão de Filtração (L/h);

$F_f$  = Fluxo de filtração (L/m<sup>2</sup>.h);

O dimensionamento da quantidade de oxigênio necessária para o correto funcionamento do biorreator (equação 4), foi desenvolvida por Von Sperling (2002) com a contribuição de Viana (2004).

$$M = a' \cdot Q \cdot (S_o - S) + b' \cdot X_v \cdot V \quad (4)$$

Onde

M = Massa de oxigênio necessária (mgO<sub>2</sub>/d).

$a' = 1,46 - 1,42 \cdot Y$ ;

Q = Vazão afluente (L/d);

S<sub>o</sub> = DBO afluente (mg/L);

S = DBO efluente (mg/L);

$b' = 1,42 \cdot f_b \cdot K_d$ ;

X<sub>v</sub> = Sólidos suspensos voláteis no reator (mg/L);

V = Volume do reator (L);

## 4. RESULTADOS

### 4.1 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PARA REÚSO

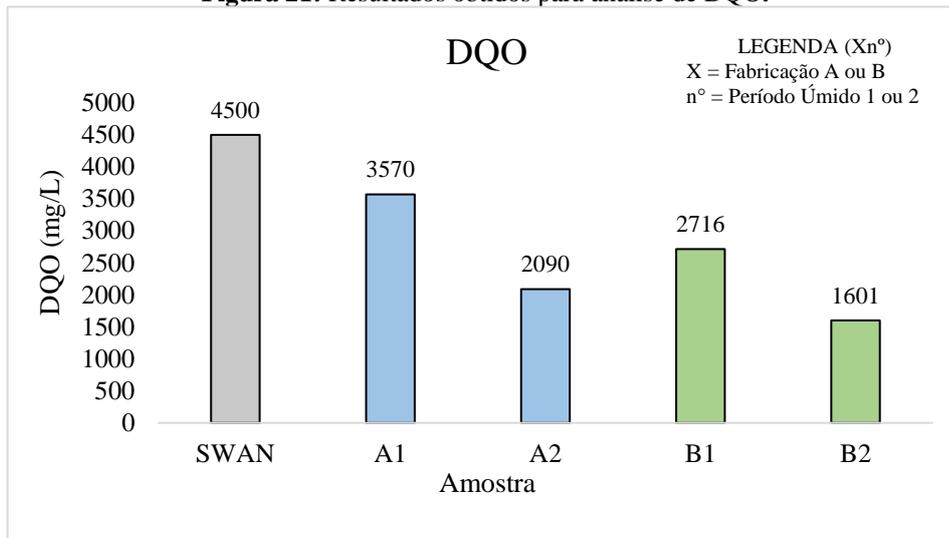
Os resultados dos parâmetros analisados para as amostras coletadas foram comparados com os resultados obtidos pelo projeto SWAN. Os parâmetros pH e DBO não tiveram seus resultados divulgados pelo projeto. A análise do pH teve o objetivo de entender o impacto da dosagem de NaOH no pH do efluente, já a análise da DBO foi necessária para realizar o dimensionamento do sistema proposto para possibilitar o reúso.

#### 4.1.1 DQO

Os resultados obtidos para a análise de DQO indicaram valores inferiores aos observados no projeto SWAN para o efluente da etapa de maceração em todas as amostras. A amostra A1, que obteve o maior valor para DQO entre as amostras analisadas, obteve um resultado 21% menor que a média observada no projeto SWAN.

Apesar das fabricações terem realizado o mesmo programa na etapa de maceração conforme a Figura 20, a diferença para os resultados observados entre as duas fabricações para as amostras de drenagem e descarga já eram esperadas. Isto se deve pela diferença entre os variedades de cevada utilizados nas duas fabricações, que possuem resíduos de casca, pó, palha e demais matérias orgânicas distintas.

A redução observada da DQO entre o efluente da etapa de drenagem e descarga foi de 41% para as duas fabricações. A Figura 21, a seguir, apresenta os resultados obtidos para a análise de DQO.

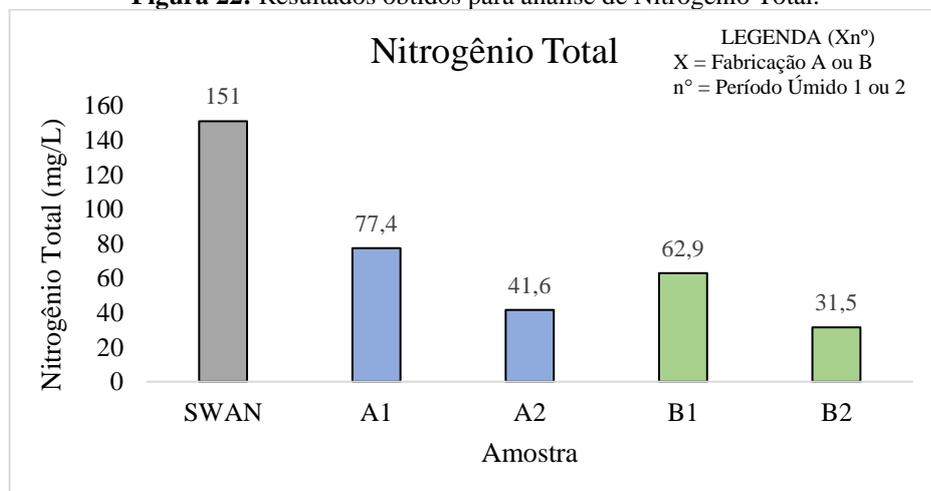
**Figura 21:** Resultados obtidos para análise de DQO.

Fonte: Própria do autor.

#### 4.1.2 Nitrogênio total

Os resultados obtidos para a análise de nitrogênio total também indicaram valores inferiores aos observados no projeto SWAN para o efluente da etapa de maceração em todas as amostras. A amostra A1, que obteve o maior resultado para análise de nitrogênio total entre as amostras, obteve um resultado 48,7% menor que a média de 151 mg/L entre os valores observados no projeto SWAN.

A redução observada do parâmetro de nitrogênio total entre o efluente da etapa de drenagem e descarga foi de 48%. A Figura 22 a seguir, apresenta os resultados obtidos para a análise de nitrogênio total.

**Figura 22:** Resultados obtidos para análise de Nitrogênio Total.

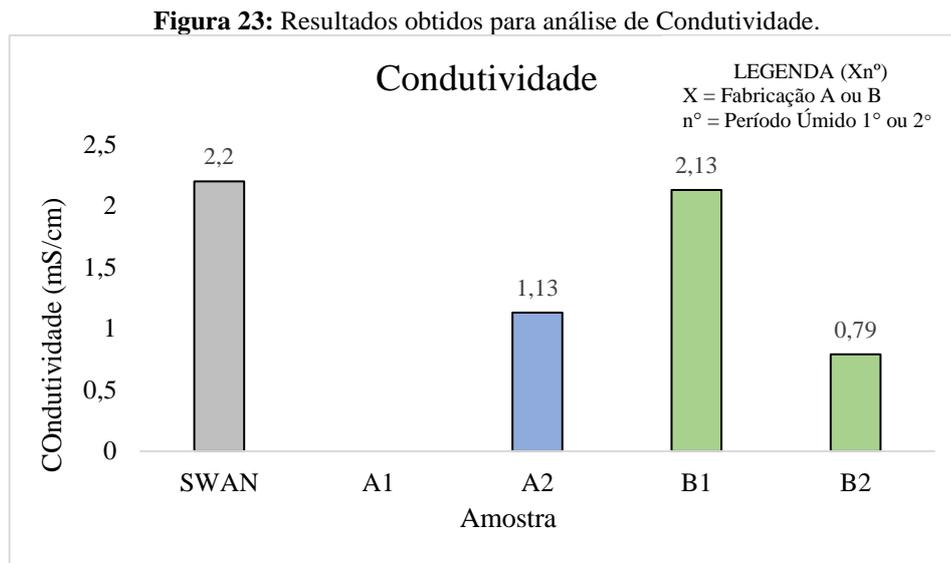
Fonte: Própria do autor.

### 4.1.3 Condutividade

A análise da condutividade para amostra A1 apresentou um resultado inferior ao limite de quantificação para a metodologia de análise ( $<0,005\text{mS/cm}$ ). Ao obter os demais resultados para as amostras A2, B1 e B2, verificou-se que o resultado obtido da amostra A1 foi incoerente, sendo assim o mesmo foi desconsiderado da análise.

O resultado obtido para a análise da etapa de drenagem da fabricação B foi muito próximo ao obtido pelo projeto SWAN. A redução da condutividade da etapa de drenagem para a descarga foi de 62,9%. Ao aplicar este coeficiente de redução na fabricação A, foi possível calcular a condutividade da etapa de drenagem como sendo de aproximadamente  $3,0\text{mS/cm}$ , valor superior ao observado no projeto SWAN.

A Figura 23 a seguir apresenta os resultados obtidos para a análise de condutividade.



Fonte: Própria do autor.

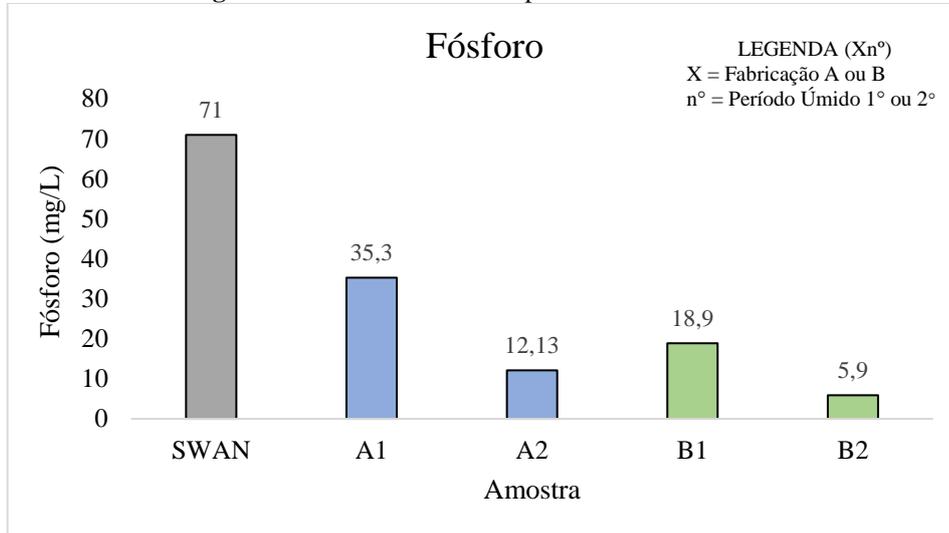
### 4.1.4 Fósforo

Assim como na análise de DQO e nitrogênio total, os resultados obtidos para análise de fósforo também indicaram valores inferiores aos observados no projeto SWAN. A fabricação A também apresentou os maiores resultados observados para a análise. A amostra A1, que obteve o maior resultado para análise de fósforo entre as amostras analisadas, obteve um resultado 38,6 % menor que a média observada no projeto SWAN.

A redução observada do parâmetro de fósforo entre o efluente da etapa de drenagem e descarga foi de 67% em média. Os resultados obtidos para a fabricação B foram em média 49%

menores que os observados para a fabricação A para a etapa de drenagem e descarga. A Figura 24 a seguir apresenta os resultados obtidos para a análise de fósforo.

**Figura 24:** Resultados obtidos para análise de Fósforo.

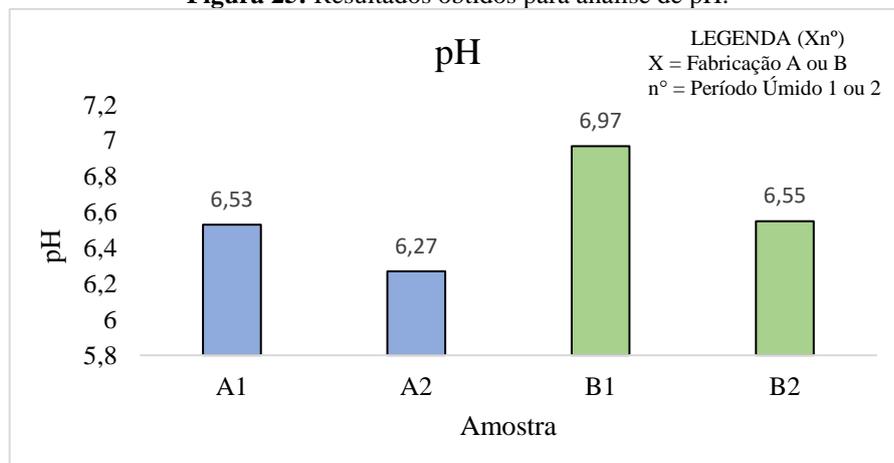


Fonte: Própria do autor.

#### 4.1.5 pH

Os resultados obtidos para análise de pH indicaram uma acidificação do efluente com maior intensidade na fabricação B em comparação a fabricação A. Apesar do valor apresentado para amostra B1 (6,97) ser superior a amostra A1 (6,53), para a fabricação B houve a dosagem de NaOH que elevou o pH para 11,0 durante o primeiro período úmido. A Figura 25 apresenta os resultados obtidos para a análise de pH.

**Figura 25:** Resultados obtidos para análise de pH.

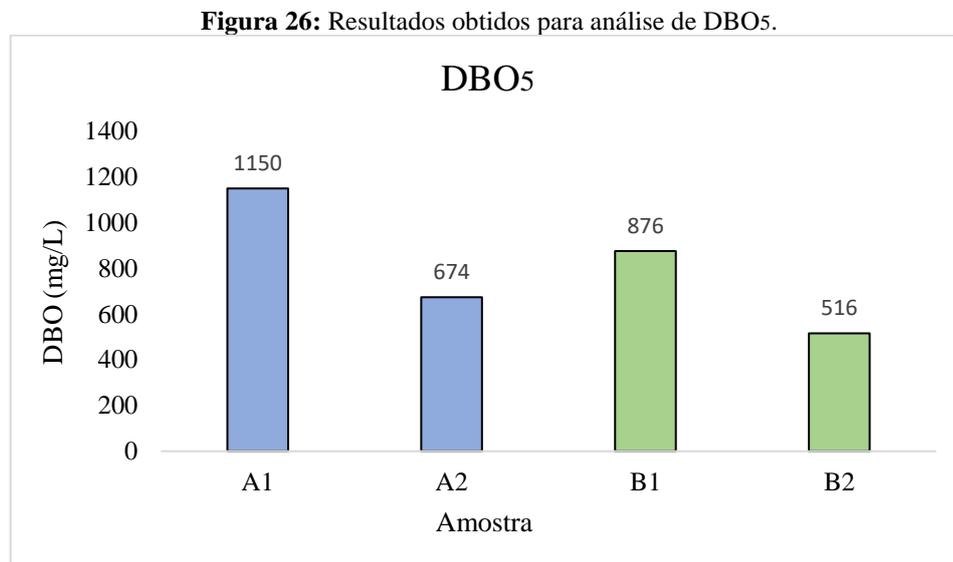


Fonte: Própria do autor.

#### 4.1.6 DBO5

Os resultados obtidos para análise da DBO5 foram superiores para a fabricação A em relação a fabricação B, assim como ocorreram com todos os parâmetros analisados com a exceção do pH. A redução observada entre o resultado da DBO5 do efluente da etapa de drenagem e descarga foi de 41%, valor muito próximo ao observado para a análise de DQO. Ao comparar os valores entre a fabricação A e fabricação B, se observou que a fabricação B obteve valores 23% menores para as amostras. Este percentual de redução de 23% entre as fabricações foi o mesmo observado para a análise da DQO, o que já era esperado devido a correlação entre os dois parâmetros.

A Figura 26 a seguir apresenta os resultados obtidos para a análise de DBO5.



Fonte: Própria do autor.

## 4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Após realizada a caracterização do efluente bruto da etapa de maceração, foi possível realizar o pré-dimensionamento de um sistema de tratamento utilizando a tecnologia de MBR + OR, similar ao implementado no projeto SWAN e na Maltaria Joe White Maltings, na Austrália.

O primeiro item a ser dimensionado é o volume do biorreator. Conforme a Equação (1), além dos coeficientes atribuídos para os parâmetros biológicos, é necessário determinar a vazão afluyente ao biorreator e a DBO afluyente e efluente do sistema.

Para determinar a vazão a ser tratada pelo sistema, ou seja, a vazão de efluente que será reutilizada foram consideradas as seguintes premissas:

- O efluente a ser tratado com fins de reúso será apenas o efluente oriundo do segundo período úmido (descarga) da fabricação que apresentou a menor qualidade do efluente, ou seja, A2. Esta condição garante que o efluente a ser tratado tenha uma qualidade superior à do primeiro período úmido (drenagem), conforme foi possível observar no item 4.1;
- Execução de dois ciclos de maceração por dia, sendo que cada um terá duração de aproximada 12 horas;

A vazão de efluente a ser tratada para reúso se dá através da Equação 5 a seguir:

$$Q = nf \times Vf \times n \quad (5)$$

$$Q = 4 \times 60 \times 2$$

$$Q = 480 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Sendo

$Q$  = Vazão de efluente a ser tratada pelo sistema ( $\text{m}^3/\text{dia}$ )

$nf$  = Número de funis de maceração (unidade)

$Vf$  = Volume de água utilizada em cada funil ( $\text{m}^3$ )

$n$  = Número de ciclos de maceração completos por dia

A DBO afluente ao sistema considerada para os cálculos de dimensionamento foi a de maior valor observado entre as análises do efluente do segundo período úmido, ou seja, a amostra A2. O valor foi acrescido da incerteza da medição para a análise utilizada na caracterização da amostra.

$$DBO\ afluente\ \left(\frac{mg}{L}\right) = 674,0\ (Amostra\ A2) + 67,4\ (Incerteza)$$

$$DBO\ afluente = 741,4\ mg/L$$

A DBO efluente ao sistema, ou seja, a DBO para que se proceda com o reúso considerada foi de 10 mg/L. Os demais coeficientes atribuídos aos parâmetros biológicos para o dimensionamento do volume do reator estão presentes na Tabela 15 a seguir:

**Tabela 15:** Coeficientes atribuídos para os parâmetros biológicos.

Parâmetro	Descrição	Valor Adotado	Referência
Y	Coef de Produção Celular	0,4 kgSSV/kgDBO5	Judd (2011)
Kd	Coef de respiração endógena	0,12 /dia	Judd (2011)
$\theta_c$	Idade do Lodo	50 dias	Giacobbo (2010)
$fb'$	Fração biodegradável dos SSV após sua a geração no sistema	0,8	Von Sperling (2002)
SST	Sólidos suspensos no reator	11500 mg/L	Belli (2011)
Xv	Sólidos suspensos voláteis no reator	85% SST = 9775 mg/L	Marchi (2013)

Fonte: Própria do autor.

Após a definição dos parâmetros biológicos do reator, vazão afluente e DBO foi possível calcular o volume do reator através da Equação 1 e Equação 2.

$$fb = \frac{0,8}{1 + (1 - 0,8)x 0,12 x 50}$$

$$fb = 0,36$$

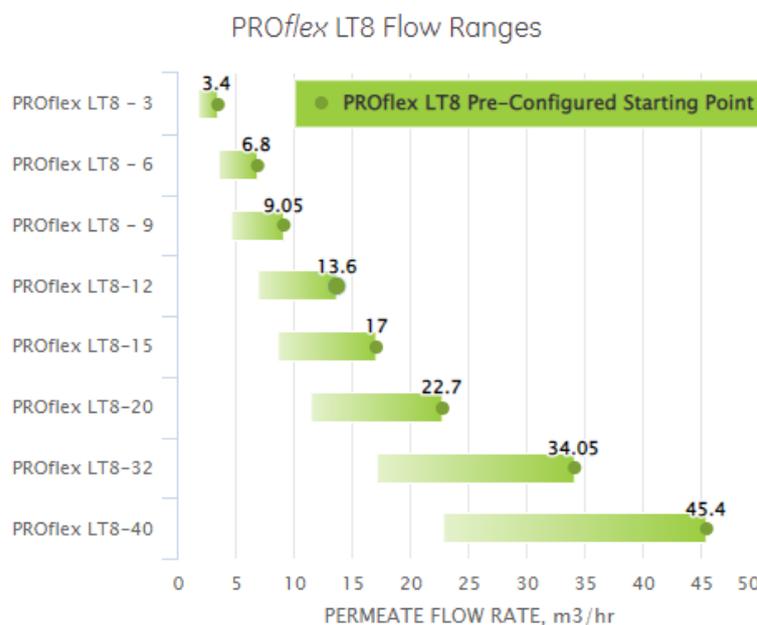
$$V = \frac{0,4 x 50 x 480 x (741,4 - 10)}{9775 x (1 + 0,12 x 0,36 x 50)}$$

$$V \cong 316,0 \text{ m}^3$$

O tanque foi dimensionado em formato retangular, com 7 metros de largura e 12 metros de comprimento e 4 metros de profundidade, totalizando assim 336 m<sup>3</sup>.

Ao consultar o catálogo da marca Suez, consolidada no mercado para aplicações em sistemas de tratamento por meio de separação por membranas, se identificou que o equipamento PROflex LT8-20 atende a vazão dimensionada para o reúso de 20 m<sup>3</sup>/hora, (480 m<sup>3</sup>/dia) conforme é possível observar na Figura 27.

**Figura 27:** Faixa de aplicação para cada equipamento de acordo com a vazão de tratamento.



Fonte: SUEZ Water Technologies, 2021.

Este equipamento é utilizado com frequência para realizar o tratamento de água de alimentação de caldeiras, umidificação de ambientes industriais, dessalinização e reúso de água. Para a correta operação do sistema, o manual indica uma bomba de 8 bar. O modelo de membrana AG8040F-400, também da marca Suez, é apropriado para as características operacionais a que será submetido o sistema de tratamento. Possuindo o seu envoltório externo de fibra de vidro, esta membrana garante uma remoção mínima de 99,0 % de cloreto de sódio (NaCl) quando aplicada com fins de dessalinização, demonstrando sua elevada eficiência de filtração. A Figura 28 a seguir apresenta uma ilustração do equipamento recomendado para realizar o tratamento por OR.

**Figura 28:** Ilustração do equipamento proposto para o tratamento e reúso do efluente.



Fonte: SUEZ Water Technologies, 2021.

Para determinar a massa de oxigênio necessária para que os microrganismos presentes no biorreator promovam a digestão da carga orgânica (Equação 4), é necessária ainda a definição dos coeficientes  $a'$  e  $b'$ , que representam o crescimento da biomassa e a respiração da mesma, respectivamente.

O coeficiente  $a'$  é obtido através do cálculo utilizando o coeficiente de produção celular ( $Y$ ), conforme a Tabela 15 e Equação 7 (VON SPERLING, 2002).

$$a' = 1,46 - 1,42 \times Y \quad (7)$$

$$a' = 1,46 - (1,42 \times 0,4)$$

$$a' = 1,46 - (1,42 \times 0,4)$$

$$a' = 0,892$$

O coeficiente  $b'$  é obtido por meio do cálculo utilizando o coeficiente de respiração endógena ( $K_d$ ) e a fração biodegradável dos SSV gerados no biorreator ( $fb$ ) conforme a Tabela 15 e Equação 8

$$b' = 1,42 \times fb \times K_d \quad (8)$$

$$b' = 1,42 \times 0,8 \times 0,12$$

$$b' = 0,136$$

Após determinar os coeficientes de produção e respiração celular, é possível prosseguir com o cálculo da massa de oxigênio necessária para suprir a demanda dos microrganismos do biorreator, conforme a Equação 4.

$$M = 0,892 \times 480000 \times (741,4 - 10) + 0,136 \times 9775 \times 316000$$

$$M = 7,33 \times 10^8 \frac{mgO_2}{d} = 733,3 \frac{kgO_2}{d}$$

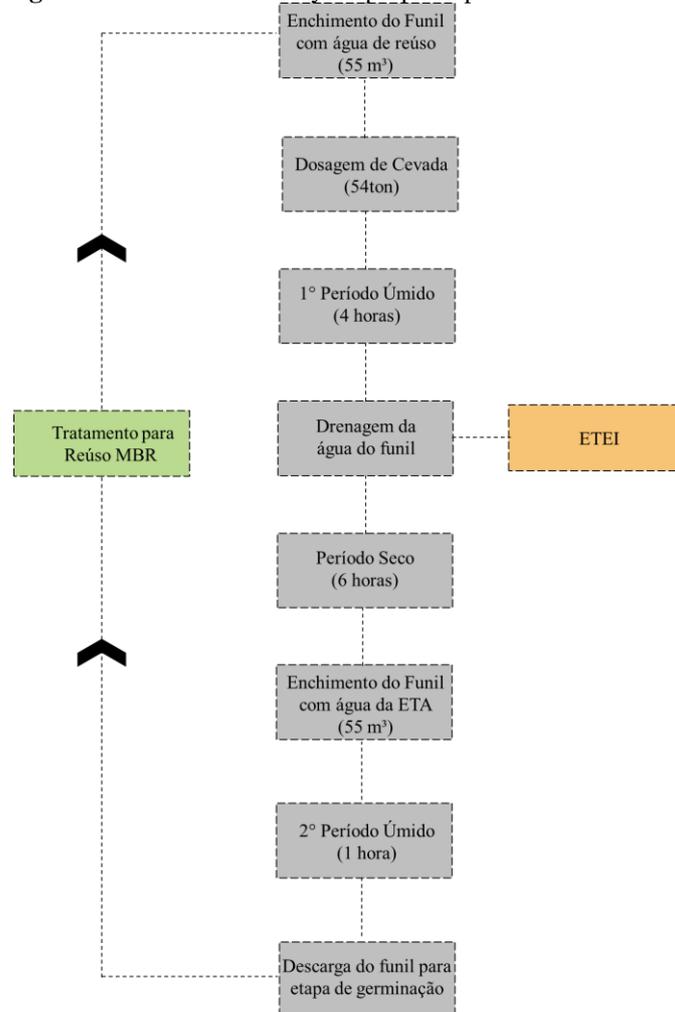
Mierzwa (2002), define que a areação para as membranas, geralmente supera a demanda de oxigênio para o processo biológico. Para verificar a capacidade de oxigenação dos equipamentos, deve ser realizado um teste no local para verificar a taxa de transferência de oxigênio por unidade de tempo para o biorreator. Além disto, é possível determinar a eficiência desta transferência.

### 4.3 LAYOUT PROPOSTO E REDUÇÃO DE CONSUMO DE ÁGUA

A alternativa proposta para realizar o reúso da água na etapa de maceração seria destinar o efluente oriundo da drenagem do funil para o tratamento convencional da ETEI e o efluente da etapa de descarga para o sistema de tratamento visando o reúso. Conforme foi possível observar nos resultados para as amostras coletadas, a qualidade do efluente da descarga é superior ao da drenagem, exigindo um biorreator com volume menor e massa de oxigênio inferior.

Esta alternativa também garante que a água da descarga do funil para etapa de germinação seja a do tratamento convencional da ETA da unidade, isto garante que não haja qualquer interferência na etapa de germinação, como uma possível inibição, situação que foi observada nos resultados do projeto SWAN ao se reutilizara o efluente bruto na etapa de maceração.

**Figura 29:** Alternativa de layout proposta para o reúso do efluente.



Fonte: Própria do autor.

A estimativa da redução do consumo de água caso o sistema de reúso proposto for adotado para etapa de maceração pode ser calculada conforme as Equações 9 e 10 a seguir:

$$\text{Consumo Atual} = 1^\circ \text{ Período Úmido} + 2^\circ \text{ Período Úmido} + \text{Água Auxiliar} \quad (9)$$

$$\text{Consumo Atual (m}^3\text{)} = 4 \times 60 + 4 \times 60 + 260$$

$$\text{Consumo Atual (m}^3\text{)} = 740$$

Onde

1º e 2º período úmido é a quantidade de água dosada, sendo 4 funis com 60m<sup>3</sup> de água em cada um;

Água auxiliar é a água utilizada para realizar a transferência dos funis de maceração para as caixas de germinação sem que ocorra a obstrução na tubulação.

$$\text{Consumo com reúso} = 2^\circ \text{ Período Úmido} + \text{Água Auxiliar}$$

$$\text{Consumo com reúso} = 240 + 260$$

$$\text{Consumo com reúso (m}^3\text{)} = 500$$

Observa-se que o reúso de água por meio do sistema proposto tem o potencial para reduzir em 32,4 % o consumo de água na etapa de maceração. Considerando dois ciclos de maceração diários, esta redução seria de aproximadamente 480 m<sup>3</sup> de água por dia.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de malteação possui um consumo de água expressivo. O índice médio de consumo é de 4,5 m<sup>3</sup>/t, que pode variar conforme as características de projeto e tecnologias da maltaria, bem como, variedade de cevada e malte alvo. A etapa de maceração, cujo objetivo é hidratar o grão para que o mesmo aumente o seu teor de umidade, pode ser responsável por até 90% deste consumo.

Por meio da coleta e análise do efluente gerado em duas fabricações distintas durante a etapa de maceração na maltaria tema de estudo, foi possível comparar os resultados com os aqueles obtidos em um estudo realizado em maltarias da França e da Inglaterra, onde se implementou a prática de reúso após a instalação de um sistema de tratamento de MBR. Este estudo fez parte do projeto Save Water and Attend Nature (Economize Água e Atenda à Natureza) e concluiu que ao menos 70% da água pode ser reutilizado após o tratamento adequado na produção de malte.

Os resultados obtidos indicaram que o efluente gerado pela etapa de maceração da maltaria tema de estudo nas duas fabricações avaliadas obteve uma qualidade superior ao do projeto SWAN, isto é, os parâmetros avaliados indicaram uma concentração menor de nutrientes e matéria orgânica em comparação os observados no projeto. A coleta e análise do efluente foi realizada em dois momentos distintos durante a etapa de maceração, que são a drenagem (após o 1º período úmido) e descarga (após o 2º período úmido). Esta segmentação permitiu evidenciar que em virtude da lixiviação do grão, limpeza do pó, palha e demais matérias orgânicas presentes na cevada, o efluente gerado após o segundo período úmido possui uma qualidade superior ao efluente gerado no primeiro. A redução observada nos parâmetros analisados entre o efluente da drenagem e descarga foi de aproximadamente 41% para DQO, 48% para nitrogênio total, 63% para condutividade, 67% para fósforo e 41% para DBO<sub>5</sub>. Ressalta-se que os resultados obtidos para o efluente gerado após o primeiro período úmido já possuíam uma concentração menor para os parâmetros analisados em comparação com os obtidos pelo projeto SWAN.

Mesmo possuindo o mesmo processo de limpeza prévia e programa de maceração semelhante, com exceção da dosagem de NaOH, as duas fabricações apresentaram resultados significativamente diferentes para os parâmetros analisados. Isto se deve pela mudança de

varietal de cevada que ocorreu entre as fabricações, alterando as propriedades e características do grão.

Após analisar os resultados obtidos para os parâmetros do efluente, foi possível realizar um dimensionamento preliminar das principais características que compõe um sistema de tratamento de MBR. O sistema projetado foi similar ao desenvolvido pelo projeto SWAN, onde se comprovou a possibilidade de realizar o reúso na etapa de maceração. O volume calculado para o biorreator foi de 316 m<sup>3</sup>. Foi identificado um sistema de tratamento por OR, pré configurado pela empresa Suez, que possui capacidade de realizar o tratamento para o volume de efluente a ser reutilizado. A quantidade de oxigênio demandada pelo sistema de aeração foi de 733,3 kgO<sub>2</sub>/dia. Constatou-se que o sistema projetado seria capaz de reduzir aproximadamente 32% do consumo de água na etapa de maceração, equivalente a 480 m<sup>3</sup>/dia.

## **6. RECOMENDAÇÕES**

Recomenda-se realizar uma maior campanha de amostragem, que contemple um número maior de variedades de cevada e demais parâmetros que não foram possíveis de serem analisados durante a elaboração deste trabalho, como a análise de polifenol. Esta análise pode identificar compostos capazes de inibir a etapa de germinação, como as quinonas, que poderiam causar um impacto negativo na produtividade. O estudo de viabilidade financeira também se faz necessário, pois o sistema projetado possui um alto custo de implementação, em especial para aquisição das membranas, e operacional, em função do elevado consumo energético.

## 7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **O que é ?**. Disponível em: <http://abnt.org.br/normalizacao/consulta-nacional/o-que-e>. Acesso em: 05 de abr. de 2021.

\_\_\_\_\_. **NBR 13969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, set. 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 15527**: Água de chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, set. 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 16782**: Conservação de água em edificações – Requisitos, procedimentos e diretrizes. Rio de Janeiro: ABNT, nov. 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 16783**: Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, nov. 2019.

ABRAHÃO, Luiz. **Artigo Técnico: Tecnologias para reúso de efluentes e dessalinização de água do mar**. 2015. Disponível em: <https://www.quimica.com.br/artigo-tecnico-tecnologias-para-reuso-de-efluentes-e-dessalinizacao-de-agua-do-mar-3/>. Acesso em: 05 abr. de 2021.

BAMFORTH, C. W. **Malting technology and the uses of malt** in MACGREGOR, A. W (org). Barley chemistry and technology, Minnesota, USA: American Association Of Cereal Chemists, Inc., 1993. 486p.

BELLI, T. J. **Biorreator à membrana em batelada sequencial aplicado ao tratamento de esgoto visando a remoção de nitrogênio total**. 2011. 166 p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS.Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019**. Brasília:SNS/MDR, 2020. 183 p.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional Do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução n° 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional Do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução n°430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília, 2011.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução n°54, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Brasília, 2005.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 121, de 16 de dezembro de 2010**. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005. Brasília, 2010.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. A **Resolução nº 140, de 21 de março de 2012**. Estabelece critérios gerais para outorga de lançamento de efluentes com fins de diluição em corpos de água superficiais. Brasília, 2012.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília:, 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília:, 2021.

\_\_\_\_\_. Presidência da República. Secretaria-Geral. Subchefia para Assuntos Jurídicos **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento e dá outras providências. Brasília, 2020.

\_\_\_\_\_. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 1997.

\_\_\_\_\_. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos **Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 1981.

CASANI S, ROUHANY M, KNØCHEL S. **A discussion paper on challenges and limitations to water reuse and hygiene in the food industry**. Water Research. . 39, p. 1134-1146, 2005.

CAVALCANTI, JOSÉ EDUARDO W. Manual de Tratamento de Efluentes Industriais. Engenho Editora Técnica Ltda., 2009. 500 p

COLLISCHONN W, DORNELLES F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: ABRH;2013. 336 p

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. (2006). **Resolução nº. 54, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Brasília, DF

COMSEMA. **Conselho Estadual do Meio Ambiente integra governo e sociedade civil para debater políticas públicas de proteção ambiental.** Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/conselho-estadual-do-meio-ambiente-integra-governo-e-sociedade-civil-para-debater-politicas-publicas-de-protECAo-ambiental>. Acesso em: 05 de abr. de 2021.

DE MORI, C.; MINELLA, E. **Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da cevada.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. 28 p.

EMBRAPA. **Cevada em Números.** Passo Fundo (RS): Embrapa Trigo, 2014.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (FIRJAN). **Manual de conservação e reúso da água na indústria.** Rio de Janeiro: DIM, 2006.

FEPAM. **Diretriz Técnica N°05/2017.** Diretriz técnica referente ao descarte e ao reúso de efluentes líquidos no âmbito do estado do Rio Grande Do Sul. Rio Grande do Sul, out. 2019  
\_\_\_\_\_. **Institucional.** Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br> .Acesso em: 05 de abr. de 2021.

FORBES, Mark. **The Big Dry Down Under.** Waterworld, Perth, set. 2008.

FOX, Glen. **Chemical Composition in Barley Grains and Malt Quality.** Austrália (2010).

GALLETI, JP, FLORESTA ACF, SANTOS, HD, MINHARRO, S. **Qualidade de água de abastecimento na indústria de produtos de origem animal:** Revisão bibliográfica. Centro Científico Conhecer 2010.

GIACOBBO, A. **Biorreator à membrana aplicado ao tratamento de efluentes.** 2010. 77 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

GIBSON, George. **Malting plant technology** in PALMER, CH. (org). Cereal Science and Technology, Scotland, UK: Aberdeen University Press, 1989. 463p.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Secretário do Meio Ambiente e Infraestrutura. **Resolução n° 419/2020.** Estabelece critérios e procedimentos para a utilização de água de reúso para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais no Estado do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2020.

GOVERNO FEDERAL. **Ministério da Saúde - MS** Disponível em: <https://dados.gov.br/organization/about/ministerio-da-saude-ms>. Acesso em: 05 de abr. de 2021.

GUIGA, W., BOIVIN, P., OUARNIER, N. **Identification and elimination of germination inhibitors for the reuse of steep waters,** EBC 31, Venice, 2007.

HESPANHOL, Ivanildo. **O Princípio da Precaução e a Recarga Gerenciada de Aquíferos,** ensaio, p.28-29, Revista DAE, n° 179, ISSN 0101-6040, janeiro, São Paulo, 2009.

HESPANHOL, Ivanildo. **Reúso potável direto e o desafio dos poluentes emergentes**. Revista USP, (106), p. 79-94. São Paulo, 2015.

IPEA. **Relatório de Pesquisa: processo político e decisório no âmbito do conselho nacional do meio ambiente (CONAMA)**. Brasília: Relatório 1 O Conama na Visão dos Seus Conselheiros 90 p. 2011

JENKINS, D.; RICHARD, M.G.; DAIGGER, G.T. **Manual on the causes and control of activated sludge bulking, foaming, and other solids separation problems**. 3. ed. Boca Raton: Lewis Publishers, 2003.

JUDD, S. **The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment**. 1º ed – Elsevier Ltd, Oxford, UK, 2006.

JUDD, S. **The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment**. 2º ed – Elsevier Ltd, Oxford, UK, 2011.

KOUTCHMA T., Forney L.J. & Moraru C.I. **Ultraviolet light in food technology: Principles and applications**. Contemporary Food Engineering. 2009

LESER, W. S.; BARBOSA, V.; BARUZZI, R. G.; RIBEIRO, M. D. B. & FRANCO, L. J., 1985. **Elementos de Epidemiologia Geral**. São Paulo: Atheneu.

MARCHI, EICHHOLZ CHÉLSEA, **Avaliação do custo-benefício de biorreator à membrana para tratamento de esgoto doméstico visando reúso não potável**. 2013. 127 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, Florianópolis.

MIERZWA, José Carlos; HESPANHOL, Ivanildo. **Água na Indústria: uso racional e reúso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MIERZWA, José Carlos. **O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de água e efluentes na indústria** - estudo de caso da kodak brasileira. 367 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MORAN, JM, MORGAN, MD, WIERSAMN, JH. **Introduction to Environmental Science** Second Edition, W.H Freeman and Company: New York, 1986.

OTENIO, M. H.; RONCON, T. J.; ESTEVAO, T. ; MIGLIORANZA, L. H. **Influência da Água Industrial em Pontos Críticos de Controle, em Laticínio de Bandeirantes** - Paraná. Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, Juiz de Fora, v. 60, p. 49-52, 2005.

PORTO, Paula de Donati. **Tecnologia de Fabricação de Malte: uma revisão**. 2011. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SALVETTI, A.R. **A história da Luz**. Livraria da Física; 2ª edição. 206 p. São Paulo, 2008

SILVA, Maurício Kipper da. **Biorreatores com Membranas: uma alternativa para o tratamento de efluentes**. 2009. 196 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química,

Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SILVA, M. N. da; Ferreira, V. F.; de Souza, M. C. B. V. **Um panorama atual da química e da farmacologia de naftoquinonas, com ênfase na  $\beta$  - lapachona e derivados.** Quim. Nova, vol. 26, No.3, 407- 416, 2003.

SMITH, C. V., DIGREGORIO, D., TALCOTT, R. M., **The use of Ultrafiltration Membranes for activated Sludge Separation**, In: Proceedings of the 24th Annual Purdue Industrial Waste Conference, 1969, Apud: LE-CLECH, P., CHEN, V., FANE, T. A. G., Fouling in Membrane Bioreactors Used in Wastewater Treatment, Journal of Membrane Science, v. 284, p. 17–53, 2006.

SOUZA, Mariana Espíndola de. **Estudo físico-químico do concentrado proveniente do processo de osmose reversa no tratamento de água para uso industrial.** 2014. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meio Ambiente Urbano e Industrial, Engenharia Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SWAN - Save Water & Attend Nature. Maltsters Association of Great Britain (MAGB); Maltsters Association of Great Britain (MAGB); Maltsters Association of Great Britain (MAGB); Laboratoire des Sciences du Génie Chimique of the Centre National de la Recherche Scientifique. **Recycling of Malting Process Water.** EUREKA SWAN project AR0916. 2007

TELLES, Dirceu D'Alckmin, COSTA, Regina Helena Pacca Guimarães. **Reúso da Água – Conceitos, teorias e práticas.** Editora Blucher.408p. São Paulo, 2010.

TINÔCO, Juliana Delgado. **Desinfecção por radiação ultravioleta: estudo do desempenho do processo e avaliação econômica.** 2011. 229 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

TURTOI, Maria. **Ultraviolet light potential for wastewater disinfection.** Annals. Food Science and Technology, Romênia, v. 4, n. 1, p. 153-164, 2013.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for water reuse.** U. S. Washington, DC: EPA, 2012.

VIANA, P. Z. **Biorreator com membrana aplicado ao tratamento de esgotos domésticos: avaliação do desempenho de módulos de membranas com circulação externa.** 2004.175 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Lagoas de Estabilização,** v.03. Minas Gerais: ABES,1996.

VON SPERLING, M. **Lodos Ativados.** 2ª edição ampliada, Minas Gerais. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, v.4, 428 p., 2002.

WATER FOOTPRINT NETWORK. **Product water footprint**. Disponível em: <https://waterfootprint.org/en/water-footprint/product-water-footprint/>. Acesso em: 05 de abr. de 2021.

WEF – Water Environment Federation. **Membrane Systems for Wastewater Treatment**. McGraw-Hill: Alexandria, Virginia, 2006.

WHO - World Health Organization. **Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards**. Report of a WHO Meeting of Experts. Geneva, World Health Organization (Technical Report Series No. 517), 1973.

YAMAMOTO, K., HIASA, M., MAHMOOD, T., MATSUO, T., **Direct Solid–liquid Separation using Hollow Fiber Membrane in an Activated-sludge Aeration Tank**, Water Science Technology, v. 21, p. 43–54, 1989, Apud: LE-CLECH, P., CHEN, V., FANE,