



ECONOMIA CIRCULAR E ANÁLISE WATER PINCH APLICADAS A UM CASO DE ESTUDO NA INDÚSTRIA ALIMENTAR

AÍAS SANTINO DE LIMA

julho de 2020

**ECONOMIA CIRCULAR E ANÁLISE *WATER PINCH* APLICADAS A UM CASO DE
ESTUDO NA INDÚSTRIA ALIMENTAR**

AÍAS SANTINO DE LIMA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE GESTÃO DA CONSTRUÇÃO

Orientador: Sónia Figueiredo

Co-Orientador: Tiago André Abreu

JUNHO DE 2020

ÍNDICE GERAL

Índice Geral	iii
Resumo.....	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Tabelas.....	xv
Abreviaturas	xvii
CAPÍTULO 1 Introdução.....	1
CAPÍTULO 2 A água e a indústria.....	7
CAPÍTULO 3 Economia Circular como ferramenta de Gestão.....	23
CAPÍTULO 4 Fundamentos da análise «Water Pinch»	33
CAPÍTULO 5 Caso de Estudo.....	41
CAPÍTULO 6 Considerações Finais.....	65
Referências Bibliográficas	69
Anexos – Fichas técnicas do conjunto motor bomba	75

RESUMO

Diante do crescimento constante da população, do desenvolvimento económico desenfreado e consequente demanda de recursos hídricos dos setores industriais, agrícolas e domésticos, o índice de stress hídrico tem-se tornado alarmante em vários países e a escassez de água torna-se evidente e preocupante. Políticas internacionais de mitigação do consumo de água, bem como do reaproveitamento dos recursos hídricos têm surgido com o intuito de reduzir riscos iminentes para as próximas décadas. Os sectores da agricultura e da indústria são os de maior consumo da água potável existente, e os impactos ambientais relacionados a suas atividades comprometem a longevidade e disponibilidade destes recursos naturais, tanto para si, quanto para o consumo doméstico, sendo de extrema importância a intervenção imediata nos modelos de produção e consumo destes. A economia circular surge como uma ferramenta de grande utilidade numa perspetiva de reutilização de águas residuais tratadas no setor industrial, contribuindo para a sustentabilidade dos recursos hídricos. O presente trabalho trata de um estudo de caso de adaptação de um processo de tratamento de águas residuais de uma indústria alimentar, num conceito de economia circular, propondo-se a introdução de novas etapas no processo de tratamento, no intuito de reutilização das águas residuais tratadas e redução do consumo de água bruta das fontes naturais. A pesquisa apontou para a utilização de processos de fitorremediação além de aplicação de colunas de troca iónica, através de resina mista, e processo de diluição das águas residuais tratadas em água bruta. Os resultados foram consideravelmente positivos e apontam para uma proposta de intervenção com redução de até 55% do consumo de água bruta e redução de 45% do volume de águas residuais tratadas que eram descartadas.

Palavras-chave: água, economia circular, sustentabilidade, reutilização de água, tratamento de efluentes.

ABSTRACT

In view of the constant growth of the population, the unrestrained economic development and the consequent demand for water resources in the industrial, agricultural and domestic sectors, the water stress index has become alarming in several countries and the scarcity of water is becoming evident and worrying. International policies to mitigate water consumption, as well as the reuse of water resources, have emerged with the aim of reducing imminent risks for the coming decades. The sectors of agriculture and industry are those with the highest consumption of existing drinking water, and the environmental impacts related to their activities compromise the longevity and availability of this natural resources, both for themselves and for domestic consumption, being of extreme importance the immediate intervention in their production and consumption models. The circular economy emerges as a very useful tool in a perspective of reusing treated wastewater in the industrial sector, contributing to the sustainability of water resources. The present work deals with a case study of adaptation of a wastewater treatment process of a food industry, in a concept of circular economy, proposing the introduction of new stages in the treatment process, in order to reuse wastewater treated and reduced consumption of raw water from natural sources. The research pointed to the use of phytoremediation processes in addition to the application of ion exchange columns, through mixed resin, and the dilution process of treated wastewater in raw water. The results were considerably positive and point to an intervention proposal with a reduction of up to 55% in the consumption of raw water and a 45% reduction in the volume of treated wastewater that was discarded.

Keywords: water, circular economy, sustainability, water reuse, wastewater treatment.

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação demandou muito esforço, coragem e determinação. Eu não teria conseguido a concretização de tal façanha se estivesse sozinho nessa empreitada.

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pelo seu amor e misericórdia sobre minha vida, sempre me guiando e protegendo ao longo da caminhada; pelo perdão, frente as minhas falhas; pela coragem e força que tem colocado em meu coração, me fazendo ultrapassar os obstáculos da vida, com foco na conquista dos meus objetivos; e pela graça de me conceder vitórias, como esta, que ultrapassa o meu merecimento.

Agradeço aos meus pais, Davi Balbino de Lima e Zilene Santino de Lima, pelo apoio de todas as horas, mesmo que por chamadas de vídeo ou mensagens no *whatsapp*; pela compreensão nos momentos de dificuldades; pela disponibilidade para ajudar; pelos princípios éticos e morais que tiveram gigantesca contribuição na minha formação como ser humano e cidadão de bem, dentro do contexto social; e acima de tudo, por não desistir de mim apesar dos meus deslizes, me prendendo na certeza de que tenho ao meu lado pessoas que me amam incondicionalmente.

Ao meu irmão Atos Santino de Lima, pela motivação cotidiana, e pelo suporte, mesmo que distante.

Aos amigos, em especial Aline Carolina Silva, por acreditar no meu potencial, até quando eu mesmo duvidava; pelas distrações, quando foi possível conversar; pela força e motivação nos momentos de desespero; e pela disponibilidade na hora de ajudar.

Aos colegas de curso, em especial Anderson Barros e Mônica Teixeira, pela partilha de experiências pessoais e profissionais, o que tornava nosso tempo juntos mais leve, apesar das obrigações acadêmicas.

Ao projeto LAPASSION, dirigido pelo professor Carlos Ramos, que me possibilitou o desenvolvimento da pesquisa de inovação tecnológica, com tema “food for the future”, na cidade de Uberaba-MG, no ano de 2019.

A empresa Batatas Bem Brasil, por permitir o desenvolvimento da investigação em suas unidades de produção. Sem esta oportunidade não seria possível o desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus orientadores Sônia Figueiredo e Tiago André Abreu, por acreditar no desenvolvimento desta pesquisa; pela disponibilidade e boa vontade em contribuir com a qualidade do trabalho, e com minha interação com as atividades acadêmicas.

Ao ISEP, pela concessão de sua estrutura e corpo docente, durante o período de formação.

ÍNDICE DE TEXTO

CAPÍTULO 1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento do Tema	1
1.2	Objetivos.....	2
1.3	Metodologia do Trabalho	3
1.4	Organização da dissertação	4
CAPÍTULO 2	A água e a indústria.....	7
2.1	Água e sustentabilidade.....	7
2.2	Utilização da água na Indústria.....	10
2.3	Tratamento de águas residuais.....	13
2.4	Tratamento de água para caldeiras.....	16
2.5	Reuso de águas residuais tratadas.....	19
CAPÍTULO 3	Economia Circular como ferramenta de Gestão.....	23
3.1	Fundamentos da Economia Circular	23
3.2	A Economia Circular na Indústria.....	26
3.3	Programas e instrumentos que apoiam a Economia Circular	28
3.3.1	Instrumentos Políticos.....	28
3.3.2	Instrumentos Económicos	29
3.4	Gestão circular da água	30
CAPÍTULO 4	Fundamentos da análise «Water Pinch»	33
CAPÍTULO 5	Caso de Estudo.....	41
5.1	Descrição da Indústria	41

ÍNDICE DE TEXTO

5.1.1	Processo Industrial.....	42
5.1.2	Captação e tratamento de água	43
5.1.3	Tratamento de águas residuais.....	44
5.2	Implementação da economia circular no processo fabril.....	48
5.3	Experimentações e Prototipagens	51
5.4	Proposta de Otimização de processos	59
5.5	Análises econômicas	62
CAPÍTULO 6	Considerações Finais	65
6.1	Conclusões	65
6.2	Desenvolvimentos Futuros	66
	Referências Bibliográficas.....	69
	Anexos – Fichas técnicas do conjunto motor bomba.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Proporção de recursos hídricos retirados do meio ambiente: Indicadores MDG (<i>Millenium Development goals</i>) da água. (FAO – Aquastat, 2015)	8
Figura 2.2 - Projeção de crescimento, em consumo global anual de água de 2005 a 2030, por região e setor, em bilhões de metros cúbicos (US International Trade Commission, 2012).....	10
Figura 2.3 - Modelo de gestão de águas residuais na perspetiva de recursos (adaptado de Anderson <i>et al.</i> , 2016)	12
Figura 2.4 - Esquema de uma caldeira aquatubular (Teixeira <i>et al.</i> , 2001).	17
Figura 3.1 - A economia circular num sistema industrial (Ellen MacArthur, 2017).	26
Figura 4.1 - Vários esquemas de minimização de consumo de água (a) reuso (b) reciclagem (c) reutilização após tratamento (d) reciclagem após tratamento (adaptado de Parand, 2014).....	36
Figura 4.2 - Sistema típico de distribuição de água na indústria (adaptado de Smith, 2005).	38
Figura 4.3 - Vários sistemas de tratamento de águas residuais (a) sistema centralizado (b) rede de tratamento distribuída (adaptado de Parand, 2014).....	39
Figura 4.4 - Comparação entre <i>Water Pinch technology</i> e processos convencionais de reuso da água, princípios para atingir o mínimo de consumo de água, em processos industriais (adaptado de Mann e Liu, 1999).....	40
Figura 5.1 - Esquema de funcionamento da linha de produção	43
Figura 5.2 - Esquema de filtro de areia dupla ação. (da empresa).....	44
Figura 5.3 - Esquema de funcionamento da linha de produção (da empresa).	45
Figura 5.4 - Estimativa de redução da CBO ₅ ao longo das várias etapas da ETAR – Fonte: da empresa. ...	46
Figura 5.5 - Níveis de condutividade elétrica da água a cada etapa do processo produtivo.....	50
Figura 5.6 - Análises laboratoriais de carga poluente das águas residuais em mg/L.	51
Figura 5.7 - <i>Eichhornia crassipes</i> (adaptado de Lider Agronomia, 2012).....	52
Figura 5.8 - Protótipo de fitorremediação nas bacias arejadas com oxigenação forçada	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.9 - Acompanhamento do nível de condutividade elétrica, na aplicação do protótipo de rizofiltração em bacias arejadas com oxigenação forçada.	54
Figura 5.10 - Análises de experimentações de filtros físico-químicos.....	56
Figura 5.11 - Ensaio com filtros de areia e carvão (a) e resina mista (b).	57
Figura 5.12 - Curva de comportamento da resina mista frente ao volume de águas residuais filtradas. .	57
Figura 5.13 - Avaliação da redução de condutividade elétrica da água versus a diluição da água residual tratada em água bruta.	58
Figura 5.14 - Esquema de implementação nos processos de tratamento de águas residuais.	60
Figura 5.15 - Esquema de reaproveitamento de águas residuais tratadas.....	60
Figura 5.16 - Esquema Inicial do ciclo de água na Indústria.....	62
Figura 5.17 - Fluxo de água posterior à análise de <i>Water Pinch</i>	62

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Contaminantes tipicamente encontrados em águas residuais de algumas grandes indústrias. (WWAP, 2017).....	12
Tabela 2.2 - Contaminantes tipicamente encontrados em águas residuais de algumas grandes indústrias. (WWAP, 2017).....	13
Tabela 2.3 – Problemas em caldeiras de média/alta pressão e suas causas (adaptado de Teixeira <i>et al.</i> , 2001)	18
Tabela 2.4 – Principais fatores condicionantes da reutilização de águas residuais tratadas em Portugal (adaptado de Asano et al., 2007)	20
Tabela 5.1 - Características dos materiais do filtro de areia. (da empresa).....	44
Tabela 5.2 - Características construtivas da ETAR (do autor)	46
Tabela 5.3 - Análises das águas residuais tratadas - 2018	47
Tabela 5.4 - Características do sistema motor-bomba (da empresa).	48
Tabela 5.5 - Avaliação de investimentos e economias relacionados a intervenção	63

ABREVIATURAS

AR – Águas Residuais

ARI – Águas Residuais Industriais

ART – Águas Residuais Tratadas

ARU – Águas Residuais Urbanas

C2C – *Cradle to Cradle* (do berço ao berço)

CCDRLVT - Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo

CL – Carga Fixa

COTEC Portugal - Associação Empresarial para a Inovação

ETA – Estação de Tratamento de Águas

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

EU – *European Union* (União Europeia)

FAO - *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

FCT – Fundação para Ciência e Tecnologia

FEIE - Fundo Europeu de Investimento Estratégico

FF – Fluxo Fixo

FPRH - Fundo Ambiental: Fundo de Proteção dos Recursos Hídricos

GEE – Gases do Efeito Estufa

I&I – Investigação e Informação

O&M – Organização e Métodos

PAEC Portugal - Plano de Ação para a Economia Circular

PNUEA – Programa Nacional para Uso Eficiente da Água

POCOMPETE 2020 - Programa Operacional COMPETE 2020

ABREVIATURAS

POSEUR - Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos

WBCSD - *World Business Council for Sustainable Development*

WWAP - *World Water Assessment Program*

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO DO TEMA

Estamos diante de uma crise, onde quase dois terços da população mundial enfrenta escassez de recursos hídricos em, pelo menos, um mês por ano (Mekonnen e Hoekstra, 2016). A indústria consome 19% do volume de água disponível e encontra-se em 2.º lugar no *ranking*, ficando atrás da agricultura com consumos de 69% e, a cada ano desde 1980, os índices de consumo de água têm aumentado 1%, devendo continuar com esta tendência até 2025, segundo o *United Nations World Water Assessment Programme* (WWAP, 2017). Estudos da ONU indicam que o planeta pode enfrentar um déficit de 40% no abastecimento de água até 2030 (Nações Unidas, 2015).

De acordo com WWAP (2017), perspectiva-se que o uso anual global de água, na indústria, aumente de 725 Km³, em 1995, para cerca de 1170 Km³, até 2025, altura em que o uso de água no contexto industrial representará 24% de todas as utilizações de água. Grande parte desse aumento será nos países em desenvolvimento que estão atualmente a ter um rápido progresso industrial.

A preocupação acerca do tratamento de águas residuais industriais e correspondente reuso, dentro do processo produtivo, é compartilhada por muitas indústrias de diversos tipos, como as indústrias química, têxtil, farmacêutica, petroquímica, de produtos alimentícios e demais ramos. Idealmente, do ponto de vista económico e ambiental, seria a montagem de um ciclo sustentável onde a água após o tratamento, pudesse voltar para o processo fabril, reduzindo, assim, danos ambientais e custos advindos da captação de mais água para o processo e eventualmente da rejeição da água residual tratada.

Mediante as necessidades de criação de estratégias para mitigação do consumo de água pelos setores mais representativos na demanda dos recursos hídricos, a economia circular é um modelo de desenvolvimento sustentável que permite restituir os materiais ao ciclo produtivo através da sua reutilização, tratamento, recuperação e reciclagem, garantindo uma maior eficiência na utilização e gestão de recursos (COTEC Portugal, 2016). Segundo a Fundação Ellen MacArthur (2012), este modelo está fundamentado em três princípios: (i) preservação e aumento do capital natural através do controle de stocks finitos; (ii) otimização dos rendimentos e recursos através de circulação de produtos e materiais

nos ciclos técnicos e biológicos; (iii) estímulo da eficácia do sistema através da identificação e eliminação de externalidades negativas.

No contexto industrial, especificamente relacionado a gestão de águas e a reutilização de águas residuais tratadas, existe um conceito muito difundido há décadas que consiste na otimização dos processos através da otimização da utilização do fluxo da água dentro dos processos. Pressupõem-se melhorias nas etapas de tratamento, para conseqüente geração de considerável economia, que é o “Water Pinch Technology”, e está baseado em três conceitos básicos, sendo eles: (i) considerar primeiramente a visão total, olhando todo o processo de produção como um sistema integrado com processos interconectados; (ii) aplicar princípios de engenharia de otimização ao nível dos balanços materiais e de energia, nos processos chave, para melhorar a performance do uso de material, redução de energia, de emissões e produção de resíduos; (iii) desenvolver processos de implementação e controlá-los (Mann e Liu, 1999).

A pesquisa desta dissertação está voltada para um caso de estudo de uma indústria alimentar dedicada principalmente à produção de batata pré-frita congelada e flocos desidratados de batata, com produção anual de 200 mil toneladas, que em todas as etapas do processo fabril utiliza água, com consumo aproximado de 63 m³/h, e, conseqüentemente, geram-se grandes volumes de águas residuais para tratamento. Considerando as exigências de qualidade da água utilizada no processo de produção e pela falta de um tratamento de águas residuais que garanta as características adequadas à sua reutilização, há um grande dispêndio financeiro na captação e no tratamento da água utilizada no processo, a qual após o seu uso e tratamento é lançada, a jusante, para o curso de água mais próximo, sem ter havido qualquer reutilização. Esta pesquisa estará voltada para a exploração das possibilidades de reutilização das águas tratadas no ciclo de produção, otimização de processos para aprimoramento do ciclo da água, num contexto de economia circular, contribuindo assim para o uso sustentável dos recursos hídricos, apresentação de soluções no contexto de engenharia de gestão e de tratamento de águas residuais, que gerem ganhos tanto para a indústria quanto para o meio ambiente.

1.2 OBJETIVOS

No setor industrial existe uma grande necessidade de modificação dos modelos lineares de consumo de matéria prima para modelos de economia circular, onde, alterando-se pequenas características no fluxo de efluentes, ou até mesmo aplicando processos de tratamento avançado de águas residuais consegue-se consolidar um ciclo de sustentabilidade em que os recursos hídricos explorados podem ser reutilizados, reduzindo assim impactos ambientais e os índices de demanda de água nestes setores, já que se trata de um dos bens naturais com maior risco de escassez nas próximas décadas.

O desenvolvimento da referida pesquisa e avaliação do caso de estudo tem, por objetivo global, apresentar uma solução de uso consciente e reuso da água, dentro dos conceitos de “Water Pinch” e economia circular, visando o aprimoramento dos modos de utilização dentro do setor industrial, do ramo alimentar, que é um dos sectores que mais água usa nos seus processos de fabricação (Lima *et al.*, 2019; Lima *et al.*, 2020).

No intuito de conseguir atingir o principal objetivo da pesquisa, foi necessário definir alguns objetivos específicos, tais como:

- Caracterizar a utilização de água no setor industrial;
- Averiguar os fundamentos da economia circular no geral e no contexto da gestão da água no setor industrial;
- Estudar os tratamentos terciários de águas residuais dentro do setor industrial, para identificar possíveis soluções para a sua reutilização;
- Avaliar os ganhos relacionados com a aplicação das soluções encontradas.

1.3 METODOLOGIA DO TRABALHO

Para alcançar os objetivos propostos, a pesquisa baseou-se num método exploratório, de forma a conhecer melhor o problema através da análise do processo produtivo do estudo de caso e por meio de pesquisas bibliográficas que abordem esta temática.

Para o desenvolvimento da pesquisa e elaboração da dissertação, a metodologia será dividida em quatro fases:

- Pesquisa e elaboração da revisão bibliográfica;
- Recolha de informação detalhada do estudo de caso;
- Idealização de protótipo e experimentação;
- Análise de resultados.

Inicialmente, efetua-se uma apresentação do estado da arte relacionado com o uso consciente da água e melhor aproveitamento dos recursos naturais no setor industrial, que possui uma grande representatividade dentro dos setores de consumo da água.

As etapas de pesquisa bibliográfica e elaboração da revisão focam-se nos processos de tratamento de águas residuais, sua contextualização frente ao setor industrial, com as respetivas peculiaridades e tratamentos específicos (métodos avançados de tratamento de águas residuais usados como tratamento terciário). Devem também englobar conceitos de economia circular dentro do universo industrial e fabril, bem como modelos de análise de *water pinch*, que crescem constantemente dentro das políticas

capitalistas e de movimentação monetária, e que estão voltadas para a melhoria de processos de gestão dos recursos naturais, e redução de desperdícios e consumos.

O detalhamento do estudo de caso visa descrever os processos produtivos da empresa, e o real enquadramento dentro do setor utilizador de água, para melhor compreensão da atual infraestrutura da empresa, e identificação de possíveis intervenções, além de suas limitações.

A idealização do protótipo consiste na escolha de implementações no processo de tratamento de águas residuais, para atendimento da demanda específica da empresa em questão, com o objetivo de propor uma solução económica e eficiente de aproveitamento da estrutura já existente no local de trabalho com o mínimo de intervenção, visando sempre menor custo e maior economia de matéria prima.

Por fim, a análise dos resultados, serve para a constatação e aferição da eficiência da solução proposta, que posteriormente poderá servir de referência para outras indústrias que se enquadrem em situações semelhantes.

O levantamento de dados sobre o processo produtivo envolve, por exemplo, o volume de consumo de água, os atuais processos de tratamento da água captada e das águas residuais, e posterior rejeição, para posteriormente ser feita uma pesquisa bibliográfica com o intuito de sugerir uma solução que reduza os custos referentes ao consumo de água e à descarga das águas residuais, minimizando os impactos ambientais.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação é constituída, para além da introdução, por mais 5 capítulos, com os seguintes temas:

Capítulo 2 - A água e a indústria: este capítulo explana a disponibilidade de água no contexto mundial, juntamente com a procura e os usos relacionados com o setor industrial; aborda também o tratamento de águas residuais industriais e suas peculiaridades; as especificações de tratamento de águas no tocante ao uso em caldeiras; e, por fim, as aplicações de reuso de águas residuais tratadas.

Capítulo 3 - Economia circular como ferramenta de gestão: neste capítulo tratar-se-á dos fundamentos da economia circular; sua contextualização na realidade industrial; os programas e instrumentos políticos e económicos que apoiam a transição da economia linear para economia circular; e a gestão circular da água.

• **Capítulo 4 – Fundamentos da análise *Water Pinch*:** este capítulo foca-se nos fundamentos e ferramentas para implantação de processos de reuso, reaproveitamento e reciclagem da água dentro de esquemas de processos integrados, visando o reuso da água e a minimização da geração de águas

residuais, bem como a mensuração de redução dos custos operacionais e a redução dos impactos ambientais.

• **Capítulo 5 - Caso de estudo:** neste capítulo será abordada a realidade de um caso de uma indústria de processamento de batata pré-frita congelada que já possui um sistema produtivo instalado a operar, apresentando-se análises pertinentes aos processos de tratamento de águas captadas e de águas residuais, para, por meio de experimentações e ensaios baseados em casos de tratamento de efluentes industriais de sucesso, possam ser implementados processos de tratamento e reaproveitamento, à base da economia circular e *Water Pinch technology*. Este capítulo encerra com uma proposta de otimização do sistema e uma mensuração de economia, quando comparado ao atual design do sistema.

• **Capítulo 6 – Conclusões e recomendações:** neste último capítulo serão abordadas as conclusões obtidas com a realização desta dissertação, bem como algumas recomendações de trabalho futuro.

CAPÍTULO 2

A ÁGUA E A INDÚSTRIA

2.1 ÁGUA E SUSTENTABILIDADE

A água é um bem natural e encontra-se em constante circulação no meio ambiente, sendo um recurso vital para a vida, tem capacidade de se renovar, com exceção de algumas águas subterrâneas. Em seu ciclo natural, a água passa por transformações de forma, volume e estado. Dentre os fenômenos do ciclo da água, a precipitação é a principal fonte de água doce para os ecossistemas e para as atividades humanas (World Water Assessment Programme, 2003).

Existem dois ciclos da água, o natural, que é o mais comumente explanado, que trata da evaporação, evapotranspiração, condensação, precipitação, absorção no solo, dentre outras etapas naturais, e o artificial, que está relacionado com ferramentas e intervenções humanas para promoção do abastecimento de água para zonas urbanas e industriais. Portanto, os ciclos artificiais da água, interferem no processo natural, promovendo grandes demandas de água potável, bem como descarga de águas com volumes de contaminantes ou sólidos suspensos em sua composição, comprometendo a qualidade e natureza desta e promovendo alterações climáticas globais, ao longo da expansão excessiva das atividades humanas (Stanchev *et al.*, 2017).

No ciclo urbano da água, a água que chega nas habitações, passa por várias etapas, desde a captação no meio hídrico, de onde é levada para tratamento e desinfecção nas estações de tratamento de água, e posteriormente disponibilizadas para consumo, seja ele doméstico, comercial ou industrial. Logo após o seu uso, são rejeitadas sob a forma de águas residuais e encaminhadas para as estações de tratamento de águas residuais, para remoção de poluentes, e posteriormente reencaminhar esta água tratada para o meio hídrico, sem que o meio ambiente seja afetado.

A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura - FAO, no desenvolvimento das suas pesquisas assinalou as proporções de consumo dos recursos renováveis de água entre os países do mundo, enfatizando países com consumos superiores a 75% dos recursos hídricos disponíveis (Figura 2.1). Estes são dados relacionados com o sétimo dos oito indicadores objetivos do desenvolvimento do milênio, tendo por objetivo a garantia da sustentabilidade ambiental. Este sétimo objetivo subdivide-se ainda em

quatro vertentes: integrar os princípios do desenvolvimento sustentável em programas e políticas públicas para reverter/reduzir a perda dos recursos naturais; reduzir as perdas da biodiversidade, atingindo, como em 2010, uma considerável redução destas taxas; reduzir para a metade, comparativamente a 2015, a proporção de pessoas sem acesso a água potável e saneamento básico; e em 2020, atingir uma significativa melhoria na qualidade de vida de pelo menos 100 milhões de moradores que vivem em áreas de risco e de difícil acesso.

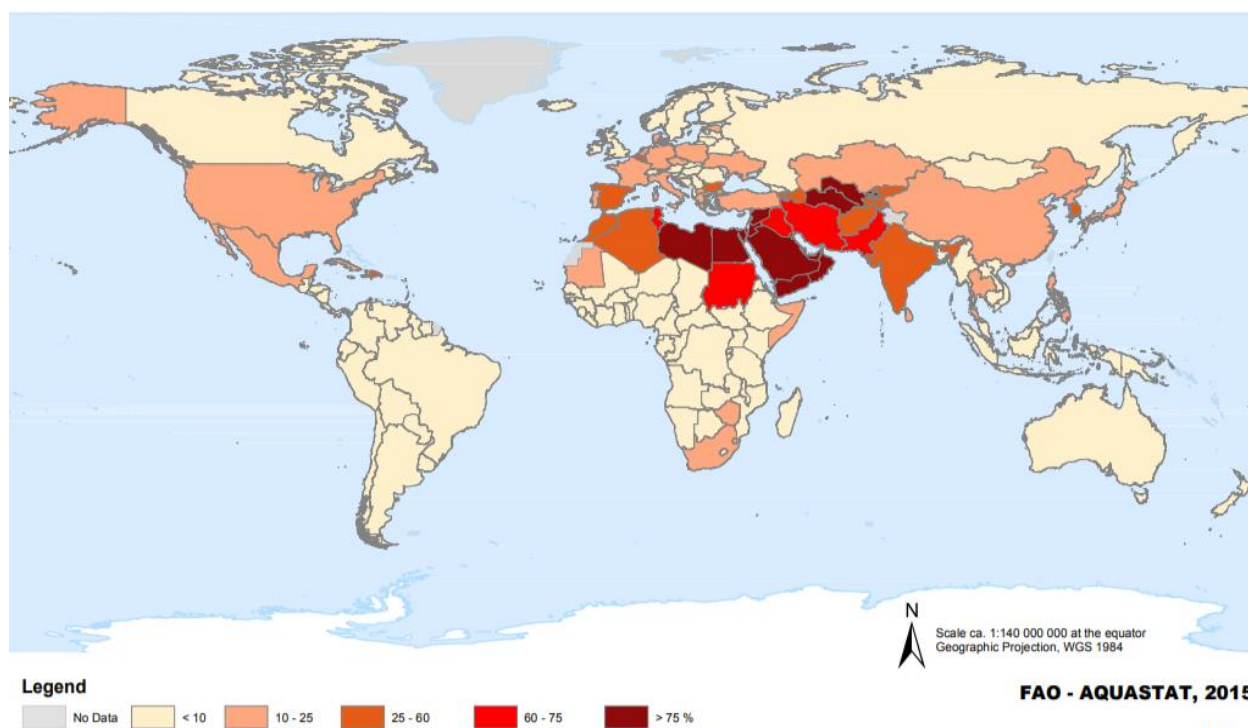


Figura 2.1 - Proporção de recursos hídricos retirados do meio ambiente: Indicadores MDG (*Millenium Development goals*) da água. (FAO – Aquastat, 2015)

O conceito de pegada hídrica, que trata de um indicador de mensuração do consumo de água na geração de produtos e alimentos, passou a promover a ideia de considerar e quantificar o consumo de água ao longo das cadeias produtivas e de abastecimento (Costa, 2012). Desta forma, cria-se uma percepção dos volumes de água necessários na produção de diversos produtos e conseqüente redução no desperdício de água, tendo conhecimento da quantidade de água virtual necessária para produção de um determinado produto e o impacto ambiental resultante desta atividade (World Water Council, 2004).

Atualmente, dois terços da população mundial enfrentam escassez de recursos hídricos em, pelo menos, um mês por ano (Mekonnen e Hoekstra, 2016). E, a cada ano desde 1980, os índices de consumo de água têm aumentado 1%, devendo continuar com esta tendência até 2025, segundo o *United Nations World Water Assessment Programme* (WWAP, 2017). Estudos da ONU indicam que o planeta pode enfrentar um déficit de 40% no abastecimento de água até 2030 (Nações Unidas, 2015).

As preocupações com a gestão e cuidados com os recursos naturais, cujo resumo foi apresentado pela Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo - CCDRLVT (2018), começaram a ser teorizadas no século XIX, após a segunda guerra mundial, com o tema inicial voltado para a percepção das consequências que o crescimento e expansão humana estavam a ter sobre os ecossistemas e as espécies. Em sequência, em 1972, aconteceu a Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente, que reuniu representantes de todo o mundo. Publicou-se o Relatório de Roma “Limites do Crescimento”, em 1972, que foi um relatório responsável pelo conceito de desenvolvimento sustentável. Em 1992, no Rio de Janeiro, aconteceu a Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento, onde foi lançada a Agenda 21. Em 1999, alguns países desenvolveram iniciativas ligadas à Economia Circular, com destaque para a China que em 2002 assumiu este conceito como instrumento de política. Em 2008, durante a presidência japonesa do G8, foi adotado o plano de ação para os 3Rs (Reduzir, Reutilizar e Reciclar). Houve lugar à criação no Reino Unido da Fundação Ellen MacArthur, em 2011, que protagonizou o desenvolvimento do conceito de economia circular, além de articulações políticas entre instituições particulares e políticas. Mais recentemente, em 2015, houve o lançamento dos 17 objetivos do desenvolvimento sustentável, aprovados em sessão especial da Assembleia Geral das Nações Unidas.

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura - FAO (2014) a indústria é responsável por cerca de 19% do consumo total de água.

A demanda global de água para a indústria de transformação deve aumentar em 400% entre 2000 e 2050, liderando todos os outros setores, com a maior parte desse aumento ocorrendo nas economias emergentes e nos países em desenvolvimento. Muitas grandes corporações fizeram progressos consideráveis na avaliação e redução do uso de água e de suas cadeias de suprimentos. Pequenas e médias empresas enfrentam desafios semelhantes em relação à água em menor escala, mas têm menos meios e menos capacidade para enfrentá-los (WWAP, 2015).

De acordo com a US International Trade Commission (2012), estatísticas apontam o aumento do consumo de água entre os anos 2005 e 2030, subdividida por regiões e áreas de consumo, onde se identifica que o consumo da indústria na união europeia crescerá em $100 \times 10^9 \text{ m}^3$, quando comparado com 2005 (ver Figura 2.2).

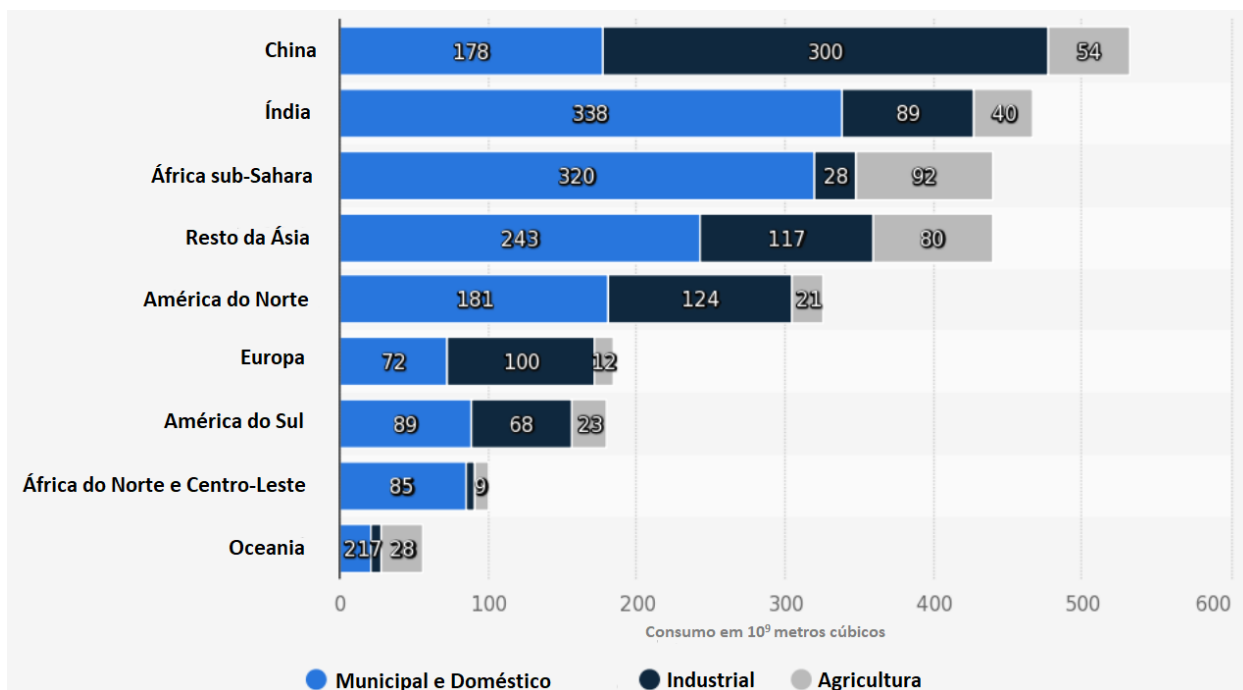


Figura 2.2 - Projeção de crescimento, em consumo global anual de água de 2005 a 2030, por região e setor, em bilhões de metros cúbicos (US International Trade Commission, 2012).

2.2 UTILIZAÇÃO DA ÁGUA NA INDÚSTRIA

Investimentos na qualidade dos serviços de abastecimento de água, bem como no tratamento após consumo, devem ser avaliados e incentivados por mecanismos financeiros baseados na sustentabilidade. Verifica-se que ações inteligentes, implementadas tanto no tratamento da água, em específico, como na infraestrutura adequada, refletem mudanças estruturais necessárias para promover avanços em muitas áreas produtivas da economia, como saúde e educação, reforçando uma dinâmica auto-sustentável do desenvolvimento econômico (WWAP, 2015).

A utilização de água nos processos industriais tem diversas aplicações: desde o consumo humano, onde a água é utilizada para usos de alimentação, higiene e demais atividades domésticas; matéria-prima, onde a água é incorporada no produto final como nas indústrias de bebidas, produtos domésticos dos diversos tipos, fármacos e outros; fluido auxiliar, no caso de preparação de soluções ou reagentes químicos; geração de energia, como é o caso de usinas hidrelétricas, que utilizam a energia cinética ou térmica da água, na geração de energia mecânica e posteriormente elétrica; fluido térmico, no caso de geração ou transmissão de calor, em processos de caldeiras; e outros usos como combates a incêndio ou rega (Sautchúk *et al.*, 2011).

No *World Water Assesment Program* (WWAP, 2017) pode ler-se que:

“Potencialmente, a toxicidade, a mobilidade e a carga dos poluentes industriais têm impactos mais significativos nos recursos hídricos, na saúde humana e no meio ambiente do que o volume das águas residuais produzidas.”

Face ao crescimento da demanda de água, bem como da geração de águas residuais, é sabido que em média, os países de alta renda, renda média alta, renda média baixa e baixa renda, tratam, respetivamente, cerca de 70%, 38%, 28% e 8% das águas residuais municipais e industriais geram. Essas estimativas indicam que mais de 80% de todas as águas residuais são descartadas sem tratamento (WWAP, 2017).

O programa WWAP (2017) aponta a existência de três grupos de consequências da liberação de águas residuais não tratadas, ou tratadas inadequadamente, de volta nos recursos hídricos, e são elas: efeitos nocivos à saúde pública; impactos ambientais negativos; e repercussões adversas em atividades econômicas. E faz-se necessária a gestão do ciclo das águas residuais, com quatro fases interconectadas, que são: (i) prevenção ou redução da poluição na fonte; (ii) coleta e tratamento de águas residuais; (iii) utilizar as águas residuais como fontes de água; (iv) e recuperação de subprodutos úteis.

Os passos para intervenção nos ciclos de águas residuais e seus impactos ambientais consistem em: manter os volumes e a toxicidade da poluição em um nível mínimo no local de origem, a educação e o treinamento das equipes profissionais para que tratem das questões relacionadas com a poluição; e reciclar água sempre que possível dentro do próprio estabelecimento industrial, de modo a minimizar seu descarte (WWAP, 2017).

A Figura 2.3 aponta para os recursos que podem ser extraídos de resíduos e águas residuais, bem como suas formas de tratamento, os diversos sistemas operacionais e técnicos que suportam o beneficiamento, e posterior reuso, destes recursos e, por fim, os potenciais benefícios relacionados com as práticas de gestão de águas residuais e de resíduos sólidos.

Recursos em resíduos e águas residuais	Opções para gestão de resíduos	Opções de sistemas técnicos	Potenciais benefícios
Água	Reuso e reciclagem de água Água potável e não potável / Uso Industrial / Recarga de corpos hídricos	Centralizado vs Descentralizado	Proteção da saúde
Nutrientes	Combinação de reuso de água e nutrientes Irrigação na Agricultura/ Irrigação Silvicultura/ Culturas Aquáticas	Gestão de resíduos transportados e não transportados pela água	Proteção do meio ambiente
Potencial energético	Reuso de nutriente ou combinação de matéria orgânica/reuso de nutrientes Fertilizantes sólidos e líquidos e condicionador de solo para agricultura e silvicultura	Gestão separada de águas cinzentas	Meios de subsistência
Matéria orgânica	Geração de Energia Geração de Biogás/ Incineração/ Geração de Biomassa	Gestão das Lamas	Igualdade de gênero
Outros	Serviços para o Ecossistema Ex.: Construção de pântanos	Tratamento local vs Tratamento externo	Segurança hídrica
	Outros resultados Ex.: Alimentos proteicos para animais e materiais para construção	Tratamento de água residuais	Segurança alimentar
		Tratamento de resíduos e lamas	Segurança Energética
			Mitigação climática e adaptação

Figura 2.3 - Modelo de gestão de águas residuais na perspectiva de recursos (adaptado de Anderson et al., 2016)

Dados apontam que os impactos mais significativos nos recursos hídricos, provenientes do setor industrial, estão mais relacionados com a toxicidade, mobilidade e carregamento de poluentes, do que especificamente com o volume real de água que é manejada e depois devolvida. As Tabelas 2.1 e 2.2, apresentam os principais contaminantes provenientes de distintas atividades industriais.

Tabela 2.1 – Contaminantes tipicamente encontrados em águas residuais de algumas grandes indústrias. (WWAP, 2017)

Indústria	Teor típico do efluente
Papel	<ul style="list-style-type: none"> Ácidos lignossulfônicos clorados, ácidos resinosos clorados, fenóis clorados e outros compostos organoclorados (cerca de 500 diferentes) Compostos corados e organo-halogenados adsorvíveis (AOX) Poluentes caracterizados por carência bioquímica de oxigênio (CBO₅), carência química de oxigênio (CQO), sólidos em suspensão (SS), toxicidade e cor
Ferro e Aço	<ul style="list-style-type: none"> Água de resfriamento contendo amônia e cianeto Produtos de gaseificação - benzeno, naftaleno, antraceno, cianeto, amônia, fenóis, cresóis e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos Óleos hidráulicos, sebo e sólidos particulados Água de lavagem ácida e resíduos de ácidos (clorídrico e sulfúrico)
Minas e Pedreiras	<ul style="list-style-type: none"> Polpas de partículas de rocha Surfactantes Óleos e óleos hidráulicos Minerais indesejáveis, ou seja, arsênico Lamas com partículas muito finas

Tabela 2.2 - Contaminantes tipicamente encontrados em águas residuais de algumas grandes indústrias.
(WWAP, 2017)

Alimentar	<ul style="list-style-type: none"> • Níveis altos de concentrações de CBO₅ e SS • CBO₅ e pH variáveis, dependendo dos vegetais, frutas ou carne processados e estação do ano • Processamento de vegetais – elevado teor de sólidos, alguns compostos orgânicos dissolvidos e surfactantes • Carne - orgânicos fortes, antibióticos, hormônios do crescimento, pesticidas e inseticidas • Culinária - matéria orgânica de origem vegetal, sal, aromas, corantes, ácidos, álcalis, óleo e gordura
Fermentados	<ul style="list-style-type: none"> • CBO₅, CQO, SS, nitrogénio, fósforo - variável de acordo com os processos individuais de produção • pH variável devido ao uso de agentes de limpeza ácidos e alcalinos • Temperatura elevada
Laticínios	<ul style="list-style-type: none"> • Açúcares dissolvidos, proteínas, gorduras e resíduos de aditivos • CBO₅, CQO, SS, nitrogénio e fósforo
Produtos químicos orgânicos	<ul style="list-style-type: none"> • Pesticidas, produtos farmacêuticos, tintas e corantes, petroquímicos, detergentes, plásticos, etc. • Materiais para alimentação animal, subprodutos, resíduos do produto na forma solúvel ou em partículas, lavagem e agentes de limpeza, solventes e produtos de valor agregado, como plastificantes
Têxtil	<ul style="list-style-type: none"> • CBO₅, CQO, metais, sólidos em suspensão, uréia, sal, sulfuretos, peróxido de hidrogénio, hidróxido de sódio • Desinfetantes, biocidas, resíduos de inseticidas, detergentes, óleos, lubrificantes para tricô, acabamentos rotativos, solventes, compostos antiestáticos, estabilizadores, surfactantes, assistentes de processamento orgânico, cor • Alta acidez ou alcalinidade • calor, espuma • Materiais tóxicos, resíduos de limpeza
Energia	<ul style="list-style-type: none"> • Produção de combustíveis fósseis - contaminação com compostos de origem petrolífera • Temperatura elevada proveniente de água de resfriamento quente

2.3 TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

Águas residuais (AR), tem por definição, toda a água descartada por atividade humana, que, após utilização apresenta alterações em suas características, carregam consigo quantidades consideráveis de poluentes que podem vir a contaminar outros cursos de água e afetar a saúde pública. Também comumente denominada por esgoto, estas águas são provenientes de usos domésticos, comerciais e industriais, e necessitam de tratamento e remoção de poluentes, antes de serem despejadas de volta ao meio ambiente.

As estações de tratamento de águas residuais (ETAR) são infraestruturas destinadas a reduzir a carga poluente das águas residuais de modo a que a descarga do efluente tratado não afete negativamente o meio recetor.

O Decreto-Lei nº 152/97 de 19 de junho define as águas residuais urbanas (ARU) como sendo as águas residuais domésticas, podendo estar misturadas com águas pluviais. Concomitantemente, as águas residuais provenientes de qualquer atividade que não possam ser classificadas como águas residuais domésticas e nem sejam águas pluviais denominam-se águas residuais industriais (ARI).

De acordo com o Decreto Regulamentar nº 23/95 de 23 de agosto, os sistemas de drenagem de AR são classificados em separativos, quando as redes coletoras são distintas para águas residuais domésticas e industriais; unitários, onde existe uma única rede coletora para todas as fontes de águas residuais; ou mistos, que trata de uma conjugação em que parte da rede funciona com sistema unitário, e outra parte com sistema separativo.

“A tendência das últimas décadas tem sido a da construção de sistemas de drenagem separativos, sendo as ARU depuradas em ETAR e as águas pluviais (coletadas em redes dedicadas), descarregadas diretamente no meio recetor, após passar por grades de grande espaçamento, para retenção de ramos, pneus e outros sólidos de grande dimensão.” (Monte, et al., 2016)

Segundo o Decreto-Lei nº 152/97, quando as ARI apresentarem biodegradabilidade diferente das ARU, estas não podem ser descarregadas pelas indústrias no mesmo sistema de drenagem, sendo necessário um pré-tratamento no próprio estabelecimento industrial, visando assegurar a proteção e saúde dos trabalhadores dos sistemas coletores; o mantimento da integridade dos equipamentos e conexões do sistema de drenagem; a integridade do sistema já instalado na ETAR, para tratamento das lamas; e evitar os danos ambientais consequentes de maiores descargas de efluentes nos meios recetores.

A caracterização qualitativa e quantitativa das AR no que se refere aos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos é fundamental na conceção dos processos da ETAR. Uma ETAR é uma instalação que dispõe de uma sequência de processos operacionais e unitários de tratamento destinados a remover as substâncias poluentes e também, em certos casos, os microrganismos patogénicos presentes nas águas residuais, de modo a produzir um efluente – água residual tratada (ART) com a qualidade pretendida, requerida na licença de descarga, emitida pela autoridade competente do Ministério do Meio Ambiente, com base na legislação (Monte *et al.*, 2016).

Os poluentes a remover nas águas residuais encontram-se dissolvidos e/ou em suspensão, e sua separação ao longo da sequência de tratamento dá origem ao efluente tratado. Neste tratamento são produzidos resíduos sólidos e gasosos, prejudiciais à saúde e ao meio ambiente que também necessitam

tratamento. Sendo assim, numa ETAR as operações e processos de tratamento são organizados em linhas de tratamento que depuram a fase líquida, sólida e gasosa, de forma a que os requisitos exigidos para que a qualidade das águas seja adequada para despejo no meio recetor ou para reutilização.

Em Monte *et al.* (2016) distinguem-se quatro níveis de tratamento de AR em sua fase líquida, designados por:

- 1) tratamento preliminar, que consiste num conjunto de operações de remoção de sólidos grosseiros, areias e gorduras, tendo por objetivo evitar a obstrução dos circuitos hidráulicos e a proteção dos órgãos e processos de tratamento posteriores;
- 2) tratamento primário que trabalhará na remoção de sólidos em suspensão facilmente sedimentáveis, através de processos de sedimentação/decantação ou flotação, tendo por objetivo a redução mínima de 20% de CBO₅ e 50% das partículas sólidas em suspensão;
- 3) tratamento secundário, tratamento suscetível de produzir um efluente com reduções consideráveis de redução da matéria orgânica biodegradável dissolvida ou em suspensão coloidal, podendo ser assegurado por processos biológicos ou físico-químicos. A jusante destes reatores existe normalmente uma instalação de separação dos flocos biológicos ou químicos da água;
- 4) o tratamento terciário vem complementar os tratamentos até então citados e tem por objetivo a remoção específica de um poluente ou conjunto de poluentes, por exemplo nutrientes (compostos de azoto e/ou de fósforo), ou microrganismos patogénicos; dependendo dos poluentes a remover os processos convencionais podem não permitir atingir esses objetivos, e nesse caso recorre-se a tratamentos avançados que se revelam eficientes mesmo quando as concentrações de poluentes são baixas.

Ainda, de acordo com Monte *et al.* (2016), as operações e processos utilizados em cada nível de tratamento das águas residuais na sua fase líquida são:

- **Primário:** Coagulação, decantação, flotação.
- **Secundário:** lamas ativadas, leitos percoladores, discos biológicos, reator de membranas, lagoas de estabilização, leitos de macrófitas.
- **Terciário:** microfiltração, ultrafiltração, flotação, nanofiltração, osmose inversa, adsorção com carvão ativado, permuta iónica, desinfecção.

Os poluentes sólidos presentes nas ARU são removidos no tratamento preliminar, na forma de gradados, areias, gorduras e tamisados, e nos tratamentos primário e terciário na forma de lamas e flotados. Estes resíduos sólidos são ambientalmente nocivos e exigem tratamento e destino final adequado. Este material sólido possui uma elevada quantidade de matéria orgânica, e, por tal motivo é a principal origem de

odores desagradáveis. Os gradados são, usualmente compactados, para reduzir de volume e depois enviados para instalações gestoras de resíduos sólidos (incineração/aterros sanitários), já as areias, são lavadas para remoção de partículas orgânicas, e depois recebem o mesmo destino dos gradados; as gorduras, que são de difícil biodegradabilidade, necessitam ser encaminhadas para tratamentos específicos para gorduras. As lamas, provenientes dos tratamentos primário e secundário, possuem também um elevado teor de matéria orgânica, devendo assim ser tratadas por processos biológicos, como a digestão anaeróbia. Estas lamas digeridas podem ser objeto de valorização e podem ser utilizadas como fertilizantes agrícolas ou como corretor de solos (diretamente ou após compostagem).

Relativamente ao tratamento da fase gasosa das AR, os gases presentes na sua composição podem provocar impactos ambientais adversos, desde riscos para a saúde, pelo seu odor desagradável, ao facto de serem corrosivos. Para tratar este problema, são implantadas instalações de desodorização do ar extraído em várias zonas da ETAR, nas proximidades das fases de tratamento preliminar e primário, onde fica retida a maior quantidade de carga orgânica, que é a principal causadora de odores. O metano é o principal constituinte do biogás gerado no tratamento anaeróbio das lamas, podendo ser valorizado na produção de energia elétrica e térmica, considerando que é combustível.

O tratamento de efluentes industriais é muito específico, pois pode possuir carga orgânica muito alta, bem como, dependendo de sua especialidade, metais pesados e produtos radioativos, sendo necessário que estes sejam caracterizados por profissionais qualificados e que estejam cientes das exigências legais para definir a melhor opção de tratamento e descarte final. Estes processos operacionais mais específicos estão incluídos em processos de tratamento terciário avançado.

Outrossim, no tocante a reutilização do efluente tratado de volta no processo industrial ou reciclagem em outros processos distintos, em outras atividades na indústria, os padrões de qualidade das águas residuais tratadas exigidos podem divergir dos padrões de potabilidade exigidos pelos órgãos ambientais para descarga nos corpos hídricos.

Considerando que a maioria das unidades industriais funcionam com geração de energia individual, através de caldeiras que, com a geração de vapor, consegue transformar a energia térmica em energia mecânica e, conseqüentemente, elétrica, analisaremos as exigências para utilização de águas residuais tratadas em sistemas de caldeiras e as supostas conseqüências provenientes da presença de poluentes em suas águas.

2.4 TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CALDEIRAS

A função da caldeira é produzir vapor, obedecendo aos seguintes requisitos: ser eficiente, operar com o máximo de segurança, gerar vapor com a qualidade exigida e afetar minimamente o ambiente. O vapor

gerado por uma caldeira, sob pressão, é capaz de gerar energia mecânica, com a movimentação de turbinas, e conseqüentemente, geração de energia elétrica. Para operar este sistema com segurança alguns fenômenos que ocorrem no abastecimento de água à caldeira, devem ser controlados. São eles: o arrastamento e a formação de depósitos/incrustações (Teixeira *et al.*, 2001).

As caldeiras dividem-se em dois modelos principais, são eles: piro-tubulares, modelo em que o corpo destas caldeiras se apresenta em formato cilíndrico e com geratriz horizontal, onde os gases circulam no interior dos tubos, e a água/vapor, entre a carcaça da caldeira e os tubos internos; aquotubulares, caracterizadas pelo fato de a água circular no interior dos tubos e as fases de combustão no seu exterior, e possui produções muito mais elevadas que os modelos piro-tubulares.

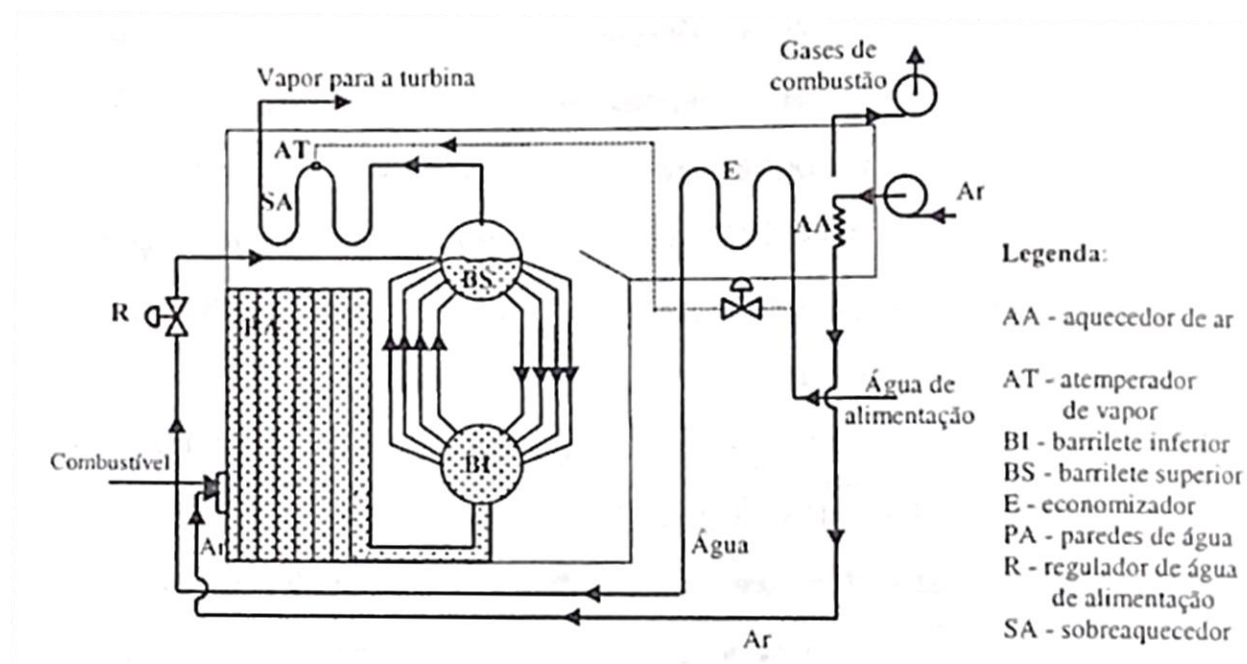


Figura 2.4 - Esquema de uma caldeira aquotubular (Teixeira *et al.*, 2001).

A Figura 2.4 apresenta o esquema de funcionamento de uma caldeira aquotubular onde se pode identificar os barriletes, a distribuição dos tubos, a circulação da água e dos gases. Percebe-se que a função dos barriletes é a coleta e distribuição de água através das etapas de aquecimento e geração de gases.

Além dos circuitos de água, uma caldeira aquotubular pode incluir: sobreaquecedor de vapor, que trabalha como permutador de calor, com o objetivo de aquecer o vapor acima da temperatura de saturação e, por consequência, aumentar a eficiência térmica do sistema; reaquecedor, destinado ao reaquecimento do vapor que já foi utilizado nas turbinas, responsáveis pela geração de energia elétrica, para regresso às mesmas turbinas; economizador, que permuta calor para aquecer a água de alimentação antes da sua entrada no barrilete superior e, com isso, recupera-se algum calor dos gases de combustão;

e o aquecedor de ar que promove o aquecimento do ar de combustão, antes de serem encaminhados as chaminés, permitindo recuperar mais parcelas de calor dos gases.

As caldeiras são constituídas por aço maciço e são alimentadas por água, para produção de vapor, que contém sempre substâncias dissolvidas. Estas substâncias são a causa dos problemas existentes na manutenção de caldeiras, como corrosão, formação de depósitos/incrustações e arrastamento, que por fim provocam consequências ao nível económico e de segurança.

Na Tabela 2.3, resumem-se os problemas mais frequentes existentes em caldeiras de baixa, média e alta pressão, e suas causas.

Tabela 2.3 – Problemas em caldeiras de média/alta pressão e suas causas (adaptado de Teixeira *et al.*, 2001)

Problemas	Causas
Formação de depósitos e incrustações , como óxidos metálicos nas superfícies de transferência de calor a mais elevadas temperaturas e que podem levar a sobreaquecimentos e explosões	Má qualidade da água de compensação, transporte de produtos de corrosão pelos condensados, corrosão na linha de água de alimentação, contaminação de condensados.
Corrosão sob os depósitos de óxidos e hidróxidos metálicos, corrosão cáustica e corrosão na linha de água de alimentação e condensados devidas à presença de gases dissolvidos	Transporte de produtos de corrosão pelos condensados recuperados, má desgaseificação e redução de oxigênio, controlo deficiente da qualidade da água da caldeira, má conservação durante paragens.
Arrastamentos com ocorrência de sobreaquecimentos e explosões do sobreaquecedor, corrosão-erosão das linhas de vapor, formação de depósitos/incrustações e corrosão em pás de turbina e diminuição da eficiência desta.	Má qualidade da água da caldeira, concentrações elevadas de sílica na água da caldeira, variações bruscas de carga, aplicação de produtos químicos inadequados ou em elevadas dosagens.

Como métodos preventivos aos problemas de corrosão pode-se citar: a redução de concentração de oxigênio, de sólidos dissolvidos e em suspensão, de cálcio, magnésio, ferro, cobre, sílica, fosfato; e corrigir o pH, para cada etapa, seja na água da alimentação, da caldeira ou nos condensados. Para a formação de depósitos e incrustações, as medidas decisivas de prevenção são: utilização de água de compensação com qualidade ajustada, evitar contaminações dos condensados recuperados e tratar e controlar a água da

caldeira. Já no arrastamento, as técnicas resumem-se em conduzir corretamente a caldeira, controlar a qualidade da água da caldeira e depurar o vapor saturado através de equipamentos.

Embora se possa recorrer a diversas técnicas, a utilização de resinas de permuta iónica garante a obtenção de água com qualidade requerida para qualquer tipo de caldeira, funcionando a qualquer pressão. A permuta iónica é a técnica de remoção de sólidos dissolvidos através de troca de iões móveis suscetíveis de serem permutados entre a resina e a solução de um determinado sal presente na água. A resina de permuta iónica troca o ião ligado ao seu grupo ativo por um ião com a mesma carga (anião ou catião) da solução segundo uma reação de equilíbrio. Depois de esgotada a capacidade de troca iónica da resina, esta pode ser recuperada por diversas vezes, passando por uma solução regenerante, contendo o ião móvel que inicialmente está ligado ao grupo ativo da resina (Teixeira *et al.*, 2001).

2.5 REUSO DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS

A água é um recurso natural que pode ser reutilizado múltiplas vezes e para diversos usos, desde que haja tratamento adequado, compatível com seus usos, e que a utilização seja, tanto economicamente quanto ambientalmente, confiável, segura e aceite pela legislação de controle ambiental e de saúde, e pela opinião pública.

De acordo com Monte e Albuquerque (2010), os fatores de maior importância na seleção das aplicações de reutilização de águas residuais são: a qualidade dos efluentes tratadas; o tipo de tecnologia associado ao tratamento; o equilíbrio entre a procura e a oferta de água para reutilizar; as infraestruturas necessárias, como reservatórios e sistemas de transporte e distribuição; a sustentabilidade económico-financeira do projeto de reutilização; e a mitigação dos impactos ambientais associados.

O uso ou reciclagem de águas residuais tratadas não reduz apenas a quantidade de água que entra no sistema, e conseqüentemente o custo de aquisição de água doce, particularmente em áreas ou tempos de escassez, mas também tem o benefício adicional de reduzir as descargas. Além disso, a prática beneficia o meio ambiente e acrescenta peso a qualquer licença social para operar (WWAP, 2017).

A Tabela 2.4 relaciona as principais atividades de aplicação de águas residuais tratadas e suas condicionantes de utilização.

Tabela 2.4 – Principais fatores condicionantes da reutilização de águas residuais tratadas em Portugal
(adaptado de Asano et al., 2007)

Aplicação		Condicionantes
Rega Agrícola	Viveiros de árvores e plantas	Necessidade de zona de tampão. Comercialização das culturas. Saúde pública. Controlo dos aerossóis e drenagem.
	Culturas alimentares, forragens, cereais, fibras.	
	Proteção contra as geadas	
	Silvicultura	
Rega paisagística	Campos de golfe	Controlo da desinfecção. Saúde pública. Aceitação pública. Controlo dos Aerossóis. Drenagem. Ligações cruzadas com rede de água potável.
	Faixas separadoras e margens de auto-estradas	
	Parques públicos	
	Campus escolares	
	Cemitérios	
	Jardins residenciais	
Indústria	Água de arrefecimento	Aerossóis. Ligações cruzadas com redes de água potável. Incrustações, corrosão, filmes biológicos.
	Lavagem de equipamento	
	Combate contra incêndio	
	Construção pesada	
	Água de processo	
Recarga de aquíferos	Reforço dos aquíferos	Disponibilidade de locais. Contaminação das águas subterrâneas. Aumento do teor de SDT. Efeitos toxicológicos devidos a compostos orgânicos.
	Barreira contra a intrusão salina	
	Armazenamento	
Usos recreativos e ambientais	Lagos e lagoas artificiais	Eutrofização. Ligações cruzadas com rede de água potável. Toxicidade para a vida aquática.
	Reforço de caudal de cursos de água	
	Reforço de zonas húmidas	
	Neve artificial	
Usos urbanos não potáveis	Descarga de autoclismos	Ligações cruzadas com rede de água potável. Incrustações, corrosões, filmes biológicos. Aceitação pública. Saúde pública.
	Fontes e jogos de água ornamentais	
	Lavagem de veículos	
	Lavagem de ruas	
	Lavagem de contentores de RSU	
	Varrimento de coletores	
	Fusão de Neve	
	Condicionamento de ar	

Geralmente na indústria, a água é reutilizada no mesmo processo, ou seja, para o mesmo uso. As indústrias de maior consumo de água e, também, as que mais se esforçam no sentido de reciclar água são as que possuem centrais de produção de energia térmica ou nuclear; refinarias; siderúrgicas; dentre outras indústrias de transformadores de petróleo, siderurgias e outras indústrias transformadoras. E as exigências de qualidade para reutilização de águas residuais tratadas são bem específicas, pois algumas

aplicações requerem água de elevada qualidade, como é o caso da produção de vapor (Monte e Albuquerque, 2010).

O estabelecimento de normas de descarga mais exigentes, com o objetivo da descarga zero, de águas residuais industriais, tem influenciado as indústrias no investimento de atividades de reutilização de águas, reduzindo custos de captação e maiores descargas de efluentes no meio ambiente. E nesse contexto a reutilização da água diminui a dependência das indústrias em relação a origens de abastecimento tradicionais (Monte e Albuquerque, 2010).

Além de vantagens econômicas e ambientais, as práticas de reutilização de águas residuais na indústria, contribuem com as estratégias de gestão eco eficiente, no âmbito de implementação do sistema de gestão ambiental. Entretanto, apesar de se tratar de uma opção vantajosa na vertente técnico-económica, a utilização de água alternativa pode não compensar o custo da sua disponibilização, sendo necessária a avaliação dos custos, incluindo as parcelas relacionadas com a construção ou beneficiação de infraestruturas; aquisição e reabilitação de equipamentos eletromecânicos; custos com observação e mensuração (O&M); e controlo de qualidade do efluente (Monte e Albuquerque, 2010).

CAPÍTULO 3

ECONOMIA CIRCULAR COMO FERRAMENTA DE GESTÃO

3.1 FUNDAMENTOS DA ECONOMIA CIRCULAR

A economia circular é uma alternativa atraente em comparação com o antigo modelo produtivo de apenas “extrair, produzir e desperdiçar” matéria prima. Tem por objetivo reformular os modelos de desenvolvimento com foco em benefícios para toda a sociedade, promovendo a dissociação de atividades econômicas de consumo de recursos finitos, apoiando uma transição para fontes de energia renováveis, onde se possa adotar um modelo circular que se baseia em eliminar resíduos e poluição desde o princípio, escolhendo tecnologias e processos que utilizam recursos renováveis ou que tenham melhor desempenho; manter produtos e materiais em uso, otimizando o rendimento dos recursos nos dois ciclos, biológicos e técnicos; e regenerar sistemas naturais, através da identificação e eliminação de externalidades negativas (Ellen MacArthur, 2015).

De acordo com a Fundação Ellen MacArthur (2017), algumas características fundamentais na descrição das práticas voltadas a economia circular são:

Projeto sem resíduo: Pretende-se otimizar os gastos energéticos, minimizar a produção de resíduos e efluentes e promover a valorização/reutilização dos resíduos/efluentes produzidos. No caso de resíduos orgânicos biodegradáveis, a sua valorização pode ser feita usando processos biológicos, como por exemplo a compostagem (valorização orgânica). No caso dos efluentes tratados deve-se também promover a sua reutilização.

Criar resiliência através da diversidade: sistemas com muitas conexões e escalas distintas são mais resistentes a conflitos externos, tendo como características a versatilidade, a adaptabilidade e a modularidade, maximizando o rendimento a partir dos resultados externos nas fragilidades.

Transitar para um uso de energia vinda de fontes renováveis: os sistemas necessitam de operar com energia renovável, sendo uma condição exigida pela economia circular e restaurativa.

Pensar em “sistemas”: existe uma necessidade de compreender como sistemas se influenciam mutuamente dentro de um todo e as relações do todo com os sistemas. Esta compreensão ajuda a que haja maior flexibilidade e adaptação às mudanças das circunstâncias.

Pensar em cascatas: para os materiais biológicos, a importância da criação de valor reside na possibilidade de extrair o valor de produtos e materiais em cascata através de outras aplicações.

A economia circular leva as empresas a repensar as suas formas de extração e utilização da matéria prima, além de suas pegadas ecológicas e eficiência dos recursos. Para isso, propõe uma abordagem inicial (do berço ao berço), tecnicamente conhecida como *Cradle to Cradle* (C2C). Esta abordagem consiste na proposta de transformação dos materiais biodegradáveis em nutrientes biológicos a serem absorvidos pelo ambiente de outros processos, com outros materiais sintéticos, para que estes possam ser continuamente mantidos em ciclo fechado. Desta forma, o que seria resíduo, passa a ser considerado matéria prima alternativa para outros processos ou para o mesmo (Leitão, 2015).

“A Economia Circular representa uma opção chave para a resiliência, prosperidade e desenvolvimento sustentável de Portugal, potenciando o uso eficiente de recursos, a produtividade e a competitividade, gerando crescimento, emprego e redução dos impactos ambientais (e.g., redução nas emissões de gases com efeito de estufa (GEE)). A escassez de matérias-primas e de água potável, a pressão das alterações climáticas, as necessidades energéticas e alimentares, a dependência tecnológica e da agricultura por elementos/compostos químicos raros são os principais vetores de pressão para a transição de uma economia linear - baseada em combustíveis fósseis, consumo intensivo de recursos e geração significativa de resíduos - para uma economia circular, eficiente e menos dependente dos recursos, com menor intensidade carbónica e energética e reduzindo o impacto ambiental e climático das atividades humanas e contribuindo para o desenvolvimento económico e social. De acordo com os desafios e objetivos da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas³, um compromisso global, preconizam na Economia Circular uma prioridade da Investigação e Inovação (I&I) em Portugal, até 2030.” (FCT, 2019)

O Plano de Ação para a Economia Circular (PAEC) em Portugal, de 2 de julho de 2019, define 7 ações que consolidam iniciativas em curso pelo Governo como a Estratégia Nacional de Combate ao Desperdício Alimentar, do Ministério da Agricultura, além de iniciativas complementares como reduzir o consumo primário de plástico descartável de fontes fósseis, extração e regeneração de materiais com valor acrescentado a partir de fluxos de resíduos. Assume três níveis de operação: a nível nacional, com instrumentos políticos, a nível setorial e regional, visando, num primeiro nível, garantir o compromisso

político no longo prazo, propondo a inclusão do domínio “Economia Circular” na Comissão Interministerial para o Ar e Alterações Climáticas. Prevê-se com a consolidação do PAEC, até 2030, o aumento do PIB nacional em 11%, redução em 50% das emissões de gases o efeito estufa, relativamente aos níveis de 2015, e redução do consumo de matérias-primas em 32% em 2030 e 50% em 2050 (PAEC - PORTUGAL, 2017).

As práticas de implementação da economia circular, também recomendadas pela Fundação Ellen McArthur (2017), estão divididas em cinco modelos:

Suprimentos circulares: modelo focado na remoção dos recursos escassos, substituindo-os por recursos que sejam renováveis, biodegradáveis e recicláveis, para diminuição da geração de resíduos e aumento na eficiência na utilização de recursos

Recuperação de recursos: baseado na utilização de tecnologias inovadoras na reciclagem de materiais, para transformação de materiais em fim de vida em novos materiais com maior qualidade e funcionalidade, para posterior utilização como recursos para geração de novos produtos.

Extensão de vida do produto: com finalidade de prolongar o ciclo de vida dos produtos através da reparação, atualização ou remanufactura.

Plataformas de partilha - funcionam como um incentivo à colaboração entre usuários/empresas de produtos, facilitando a partilha entre utilizadores, aumentando assim um uso mais eficiente e sustentável de recursos.

Produto como serviço - Este modelo sugere o aluguer de produtos, onde é necessário que no fim do uso as empresas garantam que o produto tenha a devida durabilidade e capacidade de atualização.

A Figura 3.1 ilustra os ciclos técnicos e biológicos dos recursos naturais dentro das vertentes da economia circular, onde os recursos finitos devem ser, sempre que possível, substituídos por recursos renováveis. Essa produção e modelo de consumo baseia-se em dois laços complementares, inspirando-se ciclos biológicos: um para materiais 'biológicos' (que podem ser decompostos por organismos vivos) e um para materiais 'técnicos' (que não podem ser decompostos pelos organismos). Nos dois casos, o objetivo é limitar o desperdício de recursos tanto quanto possível. Quando um produto atinge o fim de sua vida útil, seus materiais são mantidos no ciclo produtivo sempre que possível. As medidas que conduzem a uma economia circular incluem a reutilização, reparação, reforma e reciclagem de materiais e produtos existentes. O que costumava ser considerado como 'resíduo' pode ser transformado num recurso valioso.

No ciclo biológico são os processos naturais que regeneram os materiais, com ajuda ou não da intervenção humana. Já no ciclo técnico, desde que exista energia suficiente, a intervenção humana recupera os materiais (Fundação Ellen MacArthur, 2013).

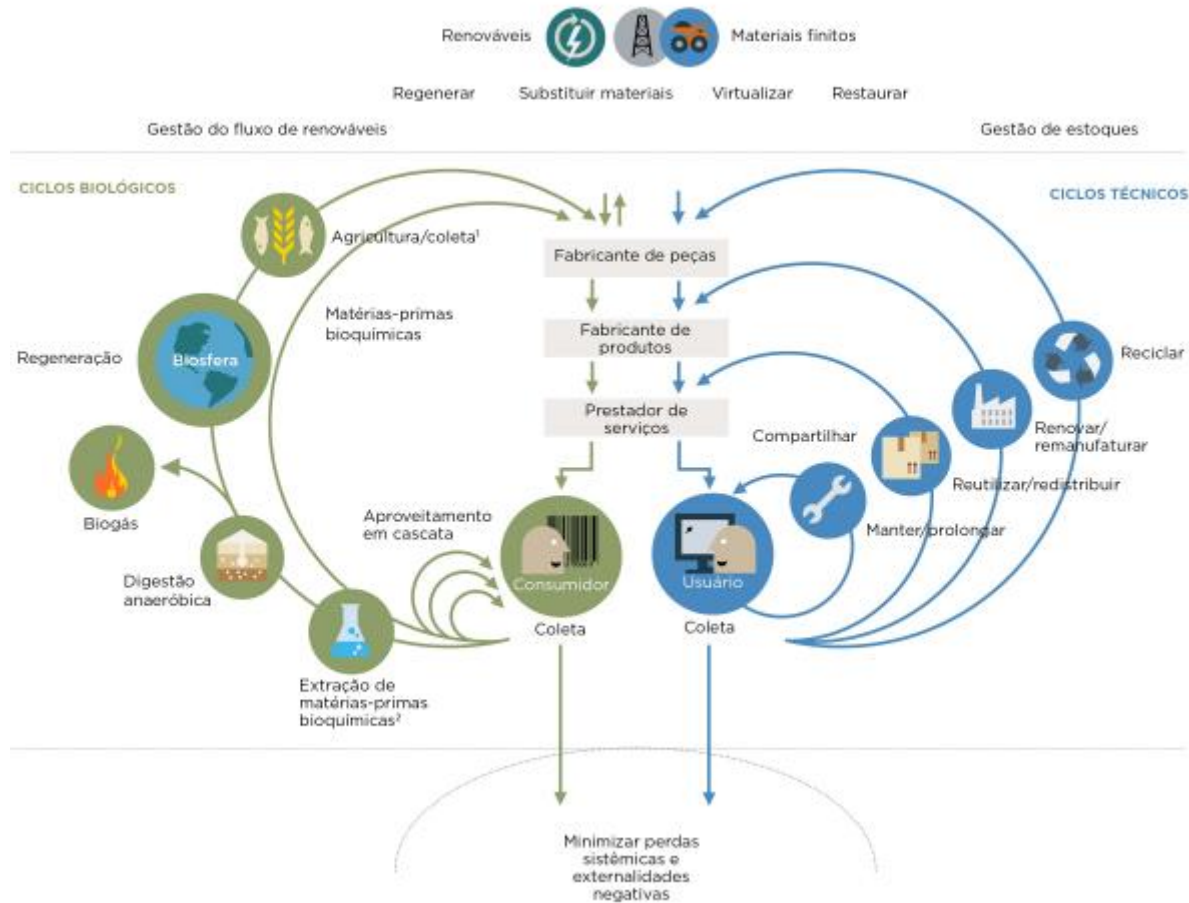


Figura 3.1 - A economia circular num sistema industrial (Ellen MacArthur, 2017).

3.2 A ECONOMIA CIRCULAR NA INDÚSTRIA

A economia circular aplicada no contexto industrial consiste num novo conceito, que altera os padrões nos processos industriais, sugerindo que, através da parceria, cooperação e promoção entre as diferentes indústrias, seus processos possam operar de forma semelhante a ecossistemas ecológicos naturais, com a renovação e transformação dos recursos naturais, dentro de um ciclo contínuo (Leitão, 2015).

O principal objetivo da ecologia industrial é interpretar e adaptar uma compreensão do sistema natural e aplicá-lo ao sistema industrial, com o intuito de alcançar uma indústria mais eficiente na utilização de recursos, procurando otimizar o ciclo de materiais, desde o material virgem até ao material acabado, produto, produto residual e eliminação (Basu e Van Zyl, 2006).

O conceito de ecologia industrial permitiu, nos últimos tempos, o desenvolvimento de alguns conceitos, no tocante a responder às exigências relacionadas à crescente demanda por recursos naturais e orientar a adequação da produção industrial aos cuidados exigidos pela lei. São estes: produção mais limpa, ecoeficiência e simbiose industrial (Fraga, 2017; Giannetti et al., 2007):

Produção mais limpa: conceito fundamentado na melhoria contínua, tornando o processo produtivo menos agressivo para o ambiente, com objetivos focados na melhoria da eficiência, lucro e competitividade das empresas. Suas práticas de produção consistem na otimização dos processos isolados de modo a que os materiais possam circular mais dentro dos processos, antes da sua eliminação (Giannetti et al., 2007);

Ecoeficiência: fundamentado na ideia de “produzir mais com menos”, a ecoeficiência é o resultado da utilização eficiente de reservas em processos econômicos, para redução dos impactos que os negócios têm no ambiente (Giannetti et al., 2007);

Simbiose industrial: Focada em processos de cooperação entre duas ou mais indústrias envolvendo trocas físicas de materiais, energia, água e subprodutos, por forma a obterem benefícios mútuos. Sendo assim, os resíduos gerados por uma indústria são utilizados como um recurso para outra (Salmela, 2016).

A gestão integrada de recursos e resíduos pertinente à implementação da economia circular nas indústrias inclui: a criação de ecossistemas industriais; controle e equilíbrio entre entradas e saídas de matéria prima/resíduos; diminuição da dependência de recursos ao longo do processo industrial (produzir mais com menos); uso eficiente de materiais com baixo impacto ambiental; alinhamento de políticas de ecossistema industrial, ao longo do tempo; imposição de padrões sistemáticos de uso de energia; análise do ciclo de vida de cada produto pertinente aos processos industriais, bem como sua reciclagem e reutilização (Basu e Van Zyl, 2006).

Almeida (2018) aponta para as possibilidades de melhoria na gestão de recursos naturais e de resíduos provenientes das atividades industriais, além de contextualizar a gestão da água em contexto social, político e econômico, bem como propostas de tratamento das águas residuais para reutilização dentro da indústria ou em simbioses industriais. O autor ainda discute barreiras políticas, regulatórias e econômicas que comprometem a predisposição do empreendedor relativamente a investimentos em mecanismos de economia circular.

Almeida (2018) cita, em sua revisão bibliográfica, que existem barreiras políticas, econômicas e sociais para implementar a economia circular. As barreiras políticas estão muitas vezes relacionadas com a adequação da indústria a padrões pré-estabelecidos de gestão dos recursos, que pode não permitir intervenções consideráveis, e a reações negativas do consumidor relativamente à utilização de águas

residuais tratadas. Como barreiras econômicas, existem questões de custo elevado para implementação de processos de regeneração e tratamento de águas, bem como a falta de incentivos de externalidades políticas. Ainda, a falta de consciência e diálogo entre setor público, órgãos reguladores, empreendedores e consumidores representam barreiras sociais.

3.3 PROGRAMAS E INSTRUMENTOS QUE APOIAM A ECONOMIA CIRCULAR

3.3.1 Instrumentos Políticos

Uma das primeiras ações, que contribuiu com a criação de um setor econômico relevante e dedicado à reciclagem de materiais, foi a criação da Diretiva Quadro de Resíduos (Diretiva 75/442/CEE), já revogada, e suas subsequentes revisões e estabelecimento de normas e objetivos de reciclagem, que levaram a União Europeia a modificações nas taxas de reciclagem, mas consequentemente na redução significativa da disposição de resíduos em aterros sanitários, reduzindo a produção de resíduos em 4%, nos últimos 10 anos (CCDRLVT, 2018). A prevenção da produção de resíduos está enquadrada na estratégia temática para a prevenção e reciclagem de resíduos e no disposto pela atual Diretiva Quadro “Resíduos” (Diretiva 2008/98/CE), que estabelece a necessidade da criação de programas de prevenção de resíduos, sendo uma prioridade nas políticas ambientais. A Diretiva (UE) 2018/851, que altera a Diretiva 2008/98/CE, estabelece a obrigatoriedade de recolha seletiva de biorresíduos até 31 de dezembro de 2023.

Em 2008, a União Europeia aprovou o pacote clima/energia, legislação normativo com objetivos vinculativos e ambiciosos de: redução da emissão de CO₂ de 20% em 2020, quando comparado a 1990; energias renováveis com representação de 20% da produção total de energia da EU. E graças a esta legislação a União Europeia tem conseguido reduções significativas das emissões de CO₂ e desenvolvimento do setor ligado a energias renováveis (CCDRLVT, 2018).

Em Portugal, o Programa Nacional de Uso Eficiente da Água (PNUEA) é um instrumento político para promoção o uso eficiente da água em Portugal e redução das demandas quantitativas e qualitativas deste recurso natural, traduzindo-se em ganhos ambientais e econômicos. Este programa contribui para a minimização dos riscos de escassez hídrica, bem como o melhoramento das condições ambientais (APA, 2018c).

O Plano de Ação para a Economia Circular (PAEC), aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 190-A/2017, é um modelo estratégico de desenvolvimento e investimentos na eficiência no uso e valorização dos recursos naturais e redução dos impactos ambientais. Este plano vem consolidar os compromissos internacionais de Portugal nesta temática, a saber o Acordo de Paris, e os objetivos do desenvolvimento sustentável, junto da Organização das Nações Unidas; e tem como propósito a

redefinição do conceito da economia linear, caracterizada pela produção e eliminação de resíduos, apostando em novos conceitos como a reutilização, reparação e renovação de materiais e energia. Instrumentos Económicos (PAEC, 2017).

3.3.2 Instrumentos Económicos

Existem algumas sugestões de instrumentos económicos no intuito de promover uma transição para uma sociedade mais circular, com conscientização do ciclo de vida dos materiais, e das vantagens de ações de reciclagem, reutilização e redução de desperdício de materiais. Uma das sugestões é a reforma do sistema fiscal, com as ações da fiscalidade verde, que pretende retirar o peso fiscal sobre o trabalho, o capital e a segurança social e aumentar a incidência sobre as atividades de maior consumo de recursos e impactos sobre o ambiente. Esta reforma fiscal verde pode criar um ciclo de investimento e criação de emprego sustentável, caso uma parte das receitas gerada seja reciclada em incentivos a atividades económicas ligadas ao ambiente, às energias renováveis, à eficiência energética e à utilização sustentável do recurso (CCDRLVT, 2018).

É fundamental o incentivo a criação de plataformas de cooperação entre empresas, universidades e Estado, para a promoção de boas práticas de desenvolvimento conjunto dos produtos, bem como dos incentivos políticos e o desenvolvimento de pesquisas e inovação, facilitando assim a transição do modelo de economia linear, ainda muito praticado, para economia circular. Um dos exemplos de ação de sensibilização na União Europeia é o rótulo ecológico, atribuído a produtos que, na sua fabricação, foram utilizadas técnicas de reciclagem e reutilização, havendo reduções dos impactos ambientais (CCDRLVT, 2018).

A nível europeu e nacional, podem-se citar alguns instrumentos económicos, que contribuem nas mudanças relativamente a economia circular, são eles:

- **Fiscalidade Verde** - proveniente da Lei n.º 82-D/2014, pretende proceder à alteração das normas fiscais ambientais, visando melhor eficiência na utilização de recursos.
- **Taxa de Recursos Hídricos** - relativamente a indústria, esta taxa permite compensar o custo ambiental, os custos administrativos associados ao planeamento, gestão, fiscalização e garantia da qualidade e quantidade de água, e a concessão da utilização privativa dos recursos hídricos públicos.
- **Horizonte 2020** – programa europeu de cofinanciamento de projetos de investigação e inovação, baseado nos pilares de excelência científica, liderança industrial e desafios da sociedade, e voltado a especialização para a eco inovação e para o recurso água no contexto de economia circular.

- **Fundo Europeu de Investimento Estratégico (FEIE)** – Voltado para o financiamento de projetos baseados nos conceitos de utilização e valorização dos recursos naturais, e economia circular, que por outros meios não conseguiriam apoio financeiro (Circular Economy Portugal, 2016).
- **Programa para o Ambiente e Ação Climática (Programa LIFE)** – Programa criado com longevidade de 2014 a 2020, voltado para o ambiente e ações climáticas, para a transição econômica, política e social, para um modelo de economia eficiente em recursos, mais especificamente recursos hídricos (APA, 2018b).
- **Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (POSEUR)** – Tem por objetivos específicos, no setor da água, promover melhoria da qualidade da água, otimização e gestão eficiente dos recursos e infraestruturas, através de modelos de gestão dos recursos hídricos (POSEUR, 2018).
- **Programa Operacional COMPETE 2020 (POCOMPETE 2020)** – É um programa de incentivo a projetos empresariais, no intuito de contribuição com uma economia mais competitiva. Este dispõe de sistemas de incentivo de participação das empresas na economia circular, nomeadamente: sistemas de incentivo ao desenvolvimento tecnológico das empresas; sistemas de incentivos a inovação; sistema de incentivos à qualificação e internacionalização de pequenas médias empresas.
- **Fundo Ambiental: Fundo de Proteção dos Recursos Hídricos (FPRH)** - Este fundo está diretamente relacionado a taxa de recursos hídricos, de onde provém grande parte do financiamento. Tem por objetivo realizar projetos e investimentos voltados a projetos de melhoria e eficiência na captação, aproveitamento e distribuição dos recursos hídricos; projetos para minimizar a carga de poluentes; projetos para melhorar os ecossistemas aquáticos, visando proteção e valorização; e outros projetos que visem a proteção e valorização dos recursos hídricos.

3.4 GESTÃO CIRCULAR DA ÁGUA

No contexto industrial, a maioria dos processos de produção dependem do abastecimento de água. Consequentemente, geram águas residuais que devem ser tratadas e despejadas nos corpos hídricos e a implementação da economia circular na indústria contribui para a redução da demanda de água por este setor e dos riscos de impactos ambientais (WBCSD, 2017).

Os efeitos das atividades industriais, nos recursos hídricos, podem ser positivos, por meio de um melhoramento na qualidade da água, bem como negativos, por meio de poluição. Um dos desafios para a indústria, relativamente a uma abordagem sistemática do consumo e gestão da água, com a economia

circular, é o estímulo em inovação em reutilização e reciclagem da água nos processos produtivos através da simbiose industrial (Balabanis, 2015; WBCSD, 2017).

Com o objetivo de otimização do uso da água na indústria, devem ser considerados processos de análise que visem a identificação das perdas físicas e desperdícios de água; monitorização dos que consomem mais água, com o intuito de identificar possíveis modificações para redução do consumo; comparar os consumos de água por unidade de produto com o consumo de outras indústrias semelhantes; e avaliar a substituição de equipamentos existentes por modelos mais eficientes (Hespanhol et al., 2006).

Acerca da reutilização de água pela indústria esta pode-se dar através de efluentes tratados vindos de estações de tratamento de águas residuais administradas pela concessionária de águas, outras indústrias, ou através de tratamentos dos efluentes da própria empresa para reutilizá-lo sem descartá-lo. Relativamente à implementação da reutilização de efluentes dentro da indústria, esta pode acontecer em cascata, onde o efluente proveniente de um processo industrial pode ser utilizado num processo seguinte, desde que suas características não influenciem na qualidade necessária do processo subsequente. A reutilização do efluente tratado é possível, quando os efluentes, após o processo produtivo, são tratados para posteriormente retornar ao ciclo fabril (Hespanhol et al., 2006).

Apesar de ainda não existirem indicadores relacionados com a medição da circularidade da água industrial, é possível traçar e controlar a evolução na extração, uso, desempenho e produtividade dos recursos naturais e dos efluentes gerados (Baptista et al., 2001).

Alguns indicadores de avaliação de economia circular, utilizados na China, podem oferecer orientações para um planeamento futuro, a nível dos parques industriais divididos em quatro níveis globais: (i) taxa de saída de recursos, que mensura os rendimentos (PIB) produzidos a partir do consumo de recursos hídricos; (ii) taxa de consumo de recursos, voltada a contabilização da quantidade de consumo produtos por unidade de pessoas; (iii) taxa de utilização de recursos, que mensura o nível de reciclagem; (iv) e eliminação de resíduos e emissão de poluentes, para avaliar a qualidade e quantidade de emissões de poluentes (Geng *et al.*, 2012).

A reciclagem de águas residuais industriais, ocorre nas águas de processo, especificamente em: manufaturas têxteis, produção de energia, papel, processos de aquecimento e arrefecimento, siderúrgicas e refinarias. Estas tecnologias de reciclagem de água nos processos industriais poderão levar ao fecho do ciclo de água e, ao mesmo tempo, permitem reduzir o uso de água em mais de 90% (UN Water, 2017).

CAPÍTULO 4

FUNDAMENTOS DA ANÁLISE «WATER PINCH»

A análise *Water Pinch* é um conceito bastante difundido, relativamente a intervenções em processos industriais de gestão de recursos hídricos e geração de indicadores de economia circular e gestão ambiental. Baseia-se na análise de determinada atividade manufatureira, para implementação ou conceção de um design produtivo com o maior índice possível de reuso ou reciclagem de água em seus processos, podendo resultar em propostas de alterações de fluxo, inserção de algumas etapas de tratamento ao longo da cadeia produtiva ou aplicação de demais processos avançados no tratamento de efluentes. Esta análise influencia a tomada de decisão para uma linha de produção mais eficiente e econômica, permitindo ao empreendedor identificar limitações operacionais e de controle, bem como a demanda mínima de água necessária à atividade industrial (Brouckaert e Buckley, 2018).

Este processo de análise baseia-se em três elementos principais: a síntese do processo, que consiste na conexão de todos os elementos individuais do processo produtivo; a simulação, que estuda o desempenho de cada elemento, decompondo-os em individuais, e por fim descrevendo suas características como caudal, composição, poluentes, pressão, etc.; e otimização de processos, que ocorre quando identificam-se intervenções ou modificações no design de conceção do processo, que seja definido como uma solução mais vantajosa de gestão de recursos e geração de resíduos, entretanto os resultados devem ser mensurados (Parand, 2014).

Produção mais limpa é a abordagem usada para alcançar as reduções dos impactos ambientais provenientes das atividades industriais. A hierarquia das medidas de prevenção da poluição causadas pelos processos atuais é: substituir, reduzir, recuperar, reutilizar, reciclar e, finalmente, tratar. Essa abordagem deve ser usada sempre que qualquer opção de minimização de resíduos estiver sendo contemplada (Brouckaert e Buckley, 2018).

Estratégias convencionais para redução de consumo de água e minimização de águas residuais envolvem alguns passos chave (Mann e Liu, 1999):

- 1) Estabelecer o objetivo e os limites do projeto – Estudos devem ser explorados ao máximo para incluir análises suficientes para atingimento dos limites máximos de reaproveitamento da água.

- 2) Identificar as fontes de água – Etapas de consumo de água no processo industrial devem ser identificadas e com elas o potencial de reaproveitamento de seus efluentes através de um posterior tratamento.
- 3) Identificar e avaliar os fatores limitantes de reutilização da água – Identificar e avaliar os possíveis contaminantes na água, incluindo os fatores físicos, químicos e biológicos que podem influenciar a reutilização da água.
- 4) Preparar um design de engenharia e avaliações econômicas do sistema de uso da água – Avaliar o reuso da água baseado em típicas oportunidades de otimização do uso da água em outras experiências semelhantes, para, seguidamente, realizar uma avaliação econômica. Algumas questões devem ser consideradas:
 - a. Relação custo-benefício – As reduções do consumo de água e tratamento de efluentes superam o capital investido nos custos operacionais investidos? Qual é o tempo de retorno do investimento?
 - b. Qualidade da água - como o uso de correntes de água contaminadas afetará a qualidade da água? O uso de mais água contaminada, repetidas vezes no processo, podem afetar a qualidade do produto.
 - c. Complexidade da operação – A planta de operação se tornará complexa, com as aplicações para reuso da água? As alterações para reuso da água demandam treinamento especializado para laborar, além de poderem aumentar os custos operacionais.
 - d. Conformidade regulatória - as modificações propostas influenciarão as permissões atuais de descarga de águas residuais? Reutilizando água produz-se uma menor quantidade de águas residuais, entretanto com uma grande concentração de contaminantes. Isto pode, por vezes, ultrapassar os limites legais de descarga, sendo necessária a implantação de mais um processo de tratamento.

Em termos simples, a *Water Pinch* é uma ferramenta para análise racional de uma rede de água, a fim de identificar etapas onde atividades de reciclagem/reutilização podem ser implementadas. Presume-se que a rede atual de água e efluentes deve ser analisada para determinar se a configuração ideal dos fluxos do processo está sendo usada. Para sistemas suficientemente simples, pode ser usada uma abordagem gráfica, na qual se constrói um gráfico da concentração de correntes em função do caudal mássico. Esse diagrama é construído considerando os requisitos ou restrições do processo e não os caudais e qualidades atuais dos efluentes. Se a rede ideal não estiver sendo usada, medidas simples como redirecionamento de efluentes, em cascata e com reciclagem (sem nenhum tratamento) devem ser consideradas (Brouckaert e Buckley, 2018).

A análise *Water Pinch* também levará à identificação do ponto de otimização, sendo a etapa na rede de efluentes / água que define os requisitos mínimos de água para a rede de processados. E uma vez alcançado um arranjo ideal com os processos existentes, ajustam-se os processos para qualquer redução adicional nos requisitos de água, para que eles possam usar ou produzir fluxos de diferentes qualidades. Processos de limpeza adicionais devem ser introduzidos para modificar a qualidade dos fluxos para que sejam aceitáveis para os processos atuais. Entretanto, se os procedimentos de controle financeiro não forem verdadeiros e precisos, as decisões tomadas com base em considerações financeiras também não serão verdadeiras e precisas (Brouckaert e Buckley, 2018).

O principal poder desta técnica está em sua capacidade de localizar metas mínimas de utilidade (consumo de água doce e produção de águas residuais) com alguns dados básicos (concentração e caudal de contaminantes), antes do projeto detalhado da rede. Isso fornece uma linha de base para concepção de qualquer rede de águas (Parand, 2014).

Parand (2014) e Mann e Liu (1999) identificam quatro opções de abordagem geral para minimização de água nesta análise (Figura 4.1):

1) Mudanças no processo

A substituição da tecnologia empregada num processo pode reduzir a demanda inerente por água. Os exemplos podem ser substituir um sistema de resfriamento húmido por refrigeradores de ar ou aumentar o número de estágios numa operação de lavagem. Às vezes, é possível reduzir a demanda de água alterando a maneira como o equipamento existente é operado, em vez de substituí-lo.

2) Reutilização da água

As águas residuais de uma operação podem ser usadas diretamente em outra operação, desde que o nível de contaminação do processo anterior não interfira no processo subsequente. Isso reduzirá o volume geral de água doce e de águas residuais, mas não afetará as cargas de contaminantes no efluente geral do sistema.

3) Reutilização após tratamento

O tratamento parcial das águas residuais pode remover contaminantes que, de outra forma, impediriam a reutilização. O processo de tratamento pode ser filtração, extração, adsorção por carvão ativado ou outros.

4) Reciclagem após tratamento

Reciclagem refere-se à situação em que a água é reutilizada numa operação pela qual já passou. Nesse caso, a etapa de tratamento deve ser capaz de remover todos os contaminantes que se acumulam no sistema.

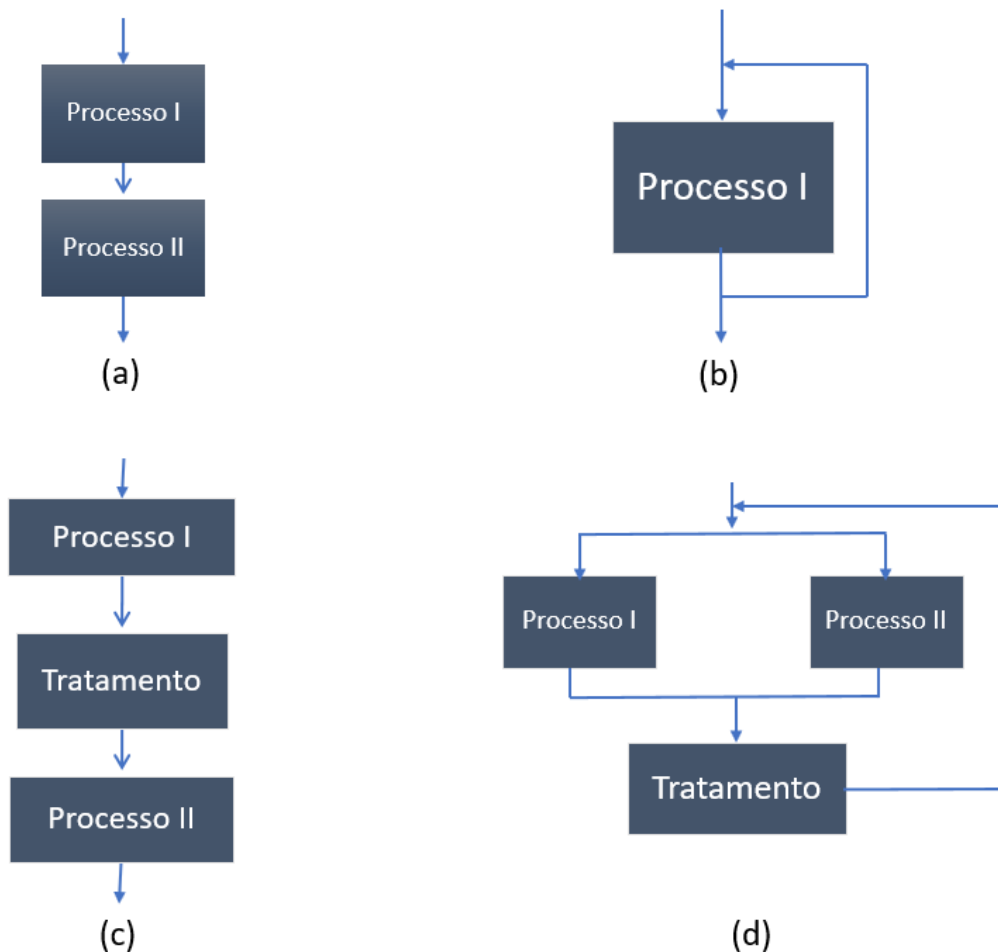


Figura 4.1 - Vários esquemas de minimização de consumo de água (a) reuso (b) reciclagem (c) reutilização após tratamento (d) reciclagem após tratamento (adaptado de Parand, 2014).

A metodologia de análise *Water Pinch*, através das técnicas supracitadas, fornece uma maneira sistemática para alcançar o uso mínimo de água em um sistema específico de operações.

A análise de segmentação da água considera os requisitos, em termos de quantidade e qualidade, de cada processo no sistema, avaliando os contaminantes críticos e a contribuição de cada processo nos padrões de qualidade da água. Este conceito é mais compreendido no contexto de concepção de sistemas, utilizado para acompanhar o fluxo de água através dos processos, suas restrições, e a identificação de diferentes possibilidades de fluxo que, naturalmente, reduzem o consumo de água.

Referente à aplicação das técnicas analíticas existem dois cenários: a concepção de um sistema novo, o que significa avaliar os fluxos de água, os processos operacionais e achar o consumo mínimo de água antes de construir e montar o processo; e a modificação de um sistema existente, onde toda a estrutura da empresa já está montada, os processos industriais já funcionam num ciclo que não é necessariamente o mais otimista e, conseqüentemente, possui restrições de intervenção.

Na concepção de um sistema novo, avaliam-se as cargas e os limites dos níveis de contaminantes de cada processo, estabelecidos através de um projetista, e a partir desses dados uma curva de demanda de água composta pode ser representada num gráfico de concentração *versus* carga de contaminantes (Wang e Smith, 1994).

Quando se aplicam implementações em sistemas existentes, as considerações são um pouco diferentes, pois a abordagem envolve a imposição de restrições de processo que refletem a operação atual do sistema e a determinação da rede de reutilização que alcançará o uso mínimo de água dentro dessas restrições (Brouckaert e Buckley, 2018).

A rede de água nas indústrias de processo consiste principalmente em três partes: processos de pré-tratamento, processos de uso de água e processos de tratamento de efluentes. A segregação da rede total de água em dois subsistemas (processos de uso de água e tratamento de efluentes) foi proposto por Wang e Smith (1994b) que também desenvolveram o WPA. Isso simplificou a formulação do problema, excepcionalmente (Parand, 2014).

A Figura 4.2 ilustra um sistema típico de distribuição de água na indústria onde a água bruta é tratada nas instalações de tratamento preliminar da água, alimentando posteriormente diversas linhas do processo fabril. Fontes comuns de águas residuais, que incluem efluentes de processos, perdas de condensados, caldeiras e descarga das torres de resfriamento, são coletadas e direcionadas para o tratamento de águas residuais do sistema. Nesta rede de água convencional, a água doce é utilizada diretamente em todas as operações. No entanto, pode-se argumentar que nem todas essas unidades requerem nova água porque alguns deles podem tolerar certos níveis de concentração de contaminantes. Além disso, para projetar os processos de tratamento de águas residuais, possivelmente não é necessário coletar todos os fluxos de águas residuais, podendo ser usadas instalações centralizadas de tratamento (Parand, 2014).

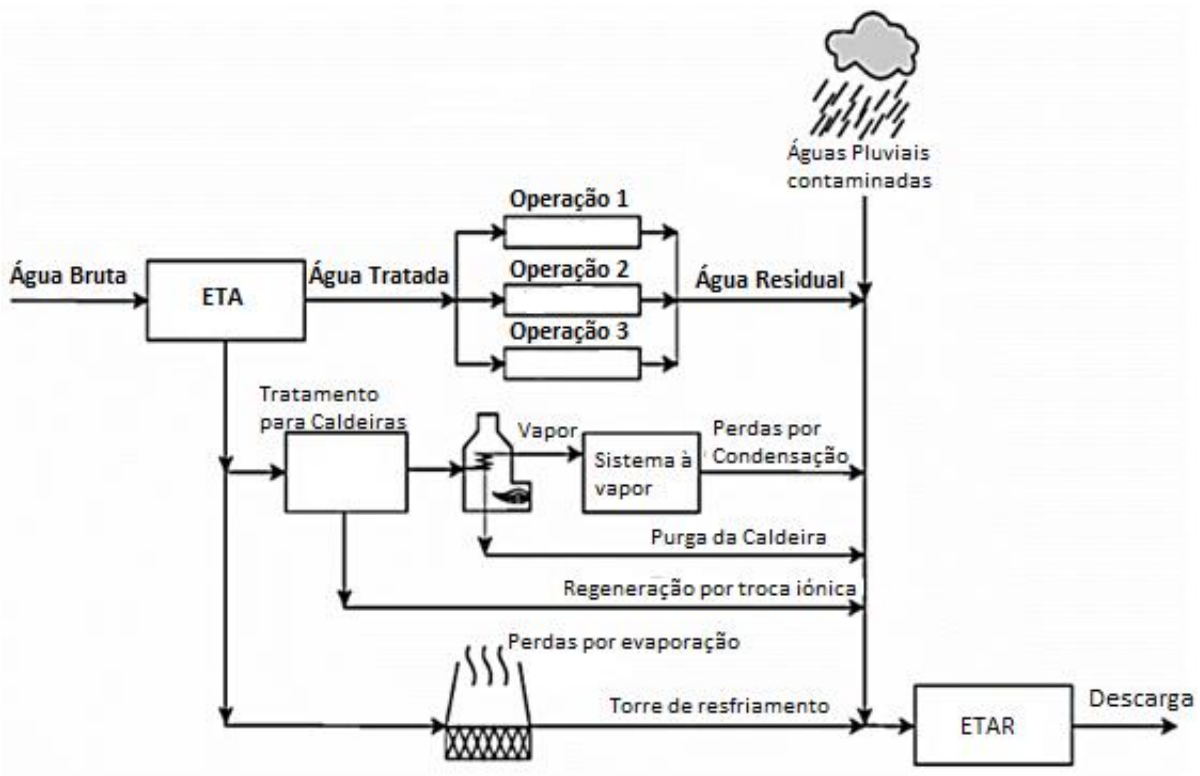


Figura 4.2 - Sistema típico de distribuição de água na indústria (adaptado de Smith, 2005).

No passado, a maioria dos estudos de projeto tratava de redes de tratamento de efluentes centralizadas, em vez de sistemas de tratamento de águas residuais distribuídos. Num sistema centralizado, todos os fluxos de efluentes de várias operações são coletados e passam por um processo central de tratamento. Já em sistemas de efluentes distribuídos, fluxos de diferentes processos são segregados e tratados separadamente.

A Figura 4.3 apresenta os modelos de sistema de tratamento de efluentes, em modelos centralizados e descentralizados. O custo de capital e operacional dos processos de tratamento estão relacionados com dois fatores: a taxa de fluxo de águas residuais na entrada e a sua concentração de contaminantes.

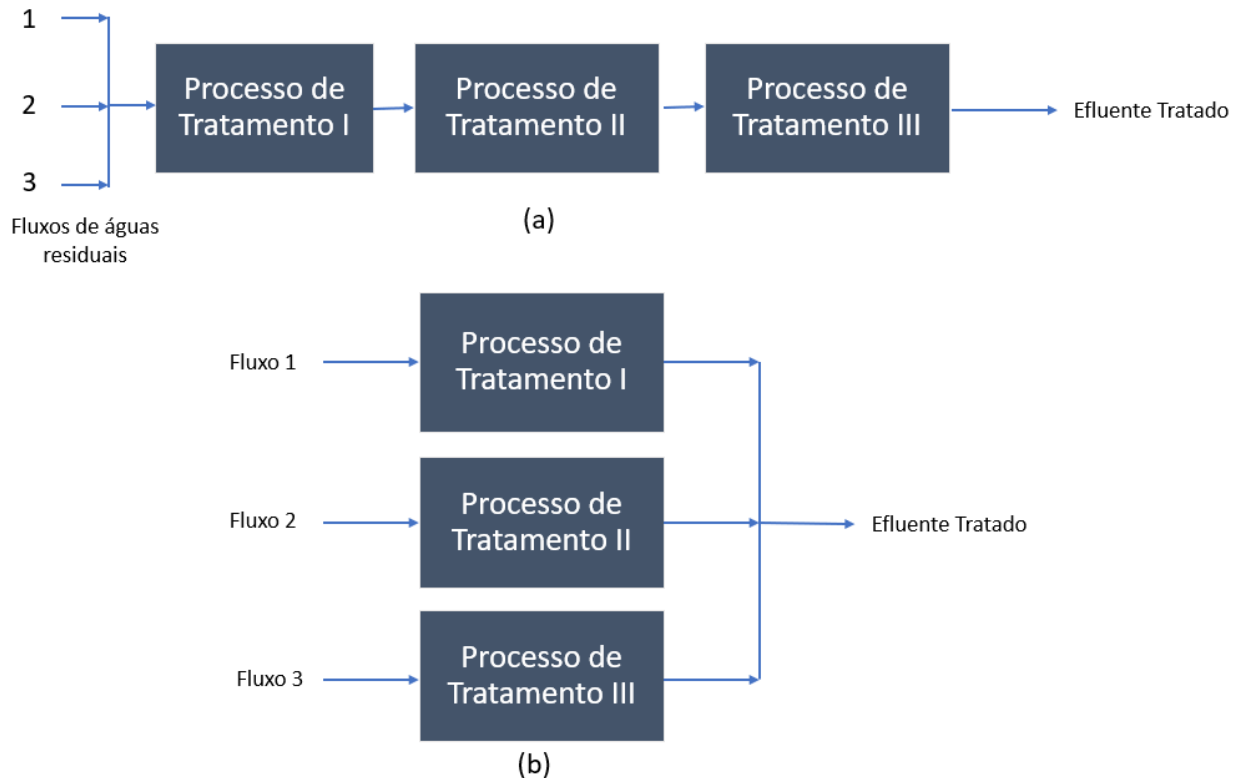


Figura 4.3 - Vários sistemas de tratamento de águas residuais (a) sistema centralizado (b) rede de tratamento distribuída (adaptado de Parand, 2014).

O modelo de rede de água é classificado em duas categorias principais denominadas problema de transferência de massa (também controlado por qualidade, carga fixa) e unidades de não transferência de massa (também chamadas de sumidouros e fontes, operações de vazão controlada ou controlada por quantidade). Neste contexto são utilizadas as terminologias de carga fixa (CF) e taxa de fluxo fixa (FF) (Parand, 2014).

A concepção de rede é um desafio, pois existem várias alternativas de projetos para metas pré-determinadas. Estes são amplamente classificados para problemas de CF e FF e mapeados com base em suas contribuições para os problemas da rede de água. Algumas metodologias dos projetos de rede dependem do estágio de direcionamento (Parand, 2014).

O campo em desenvolvimento da análise *Water Pinch* evoluiu do conceito mais amplo de integração de processos. A integração de processos refere-se às abordagens integradas, sistema orientado, bases termodinâmicas, análise, síntese e modernização das plantas de processo. Seus objetivos são integrar o uso de materiais e energia, e minimizar a geração de emissões e resíduos (Mann e Liu, 1999).

A Figura 4.4 apresenta graficamente uma comparação entre as práticas de reuso de água em processos produtivos, com e sem o auxílio dos processos da *Water Pinch technology*.

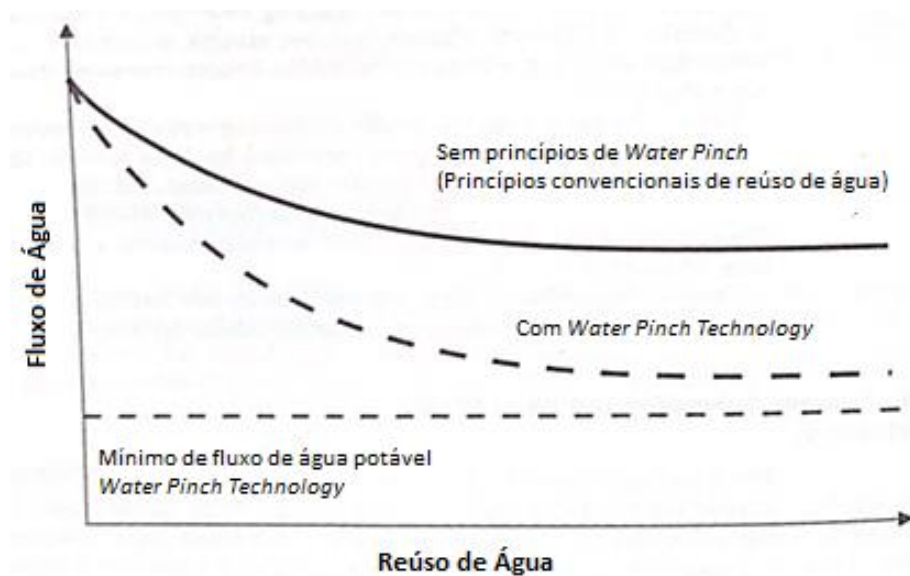


Figura 4.4 - Comparação entre *Water Pinch technology* e processos convencionais de reúso da água, princípios para atingir o mínimo de consumo de água, em processos industriais (adaptado de Mann e Liu, 1999).

CAPÍTULO 5

CASO DE ESTUDO

5.1 DESCRIÇÃO DA INDÚSTRIA

A indústria deste caso de estudo trabalha, sobretudo, com a fabricação de batata pré-frita congelada e flocos desidratados de batata. Esta fica localizada no sudeste do Brasil e possui uma produção anual média de 200 mil toneladas, onde ocupa a liderança do mercado nacional brasileiro no segmento de batatas pré-fritas congeladas. Fazendo frente competitiva a grandes companhias mundiais no seu segmento, possui um corpo de funcionários diretos com cerca de 600 colaboradores e, ainda, gera mais 2000 empregos indiretos. Com ampliação recente de sua estrutura, através da abertura de uma nova unidade, a empresa propicia a produção de 250 mil toneladas de batata pré-frita congelada, como soma anual total de produtividade.

A empresa fabrica batatas pré-fritas, purê de batatas, carinhas e anéis de cebola congelados. A sua produção é destinada a bares, restaurantes e redes de comida rápida (*fast food*). A distribuição dos produtos é realizada, a nível nacional, através de uma rede de distribuidores ramificada por todo o país.

Nas suas unidades industriais, a empresa dispõe de estações de geração de energia que funcionam com sistema de caldeiras. Estas são aquecidas através da queima de madeira, especificamente cavaco de madeira de pinos de árvores descartadas, e o vapor gerado nestas caldeiras gera a energia necessária para a movimentação das turbinas acopladas a um gerador de energia, que distribui corrente elétrica para todas as instalações das fábricas. As cinzas provenientes da queima da madeira são descartadas.

Tendo em conta a preocupação com a sustentabilidade do negócio e eficiência ecológica da atividade industrial, a empresa dispõe de um sistema de captação de água para alimentação das caldeiras, proveniente de poços artesianos localizados dentro da propriedade da empresa, que é tratada numa estação de tratamento de água, para desinfecção da água. Esta possui também uma estação de tratamento de águas residuais, que tem como objetivo cumprir as exigências legais de qualidade da água tratada, para posterior rejeição no meio aquático. Por fim, possui um conjunto motor-bomba para impulsionar as águas residuais tratadas, ao longo de um percurso de 4 km, até ao corpo hídrico mais próximo, para rejeição das águas residuais tratadas.

Os resíduos sólidos provenientes do processamento da batata também são aproveitados na geração de energia. Estes são encaminhados para reatores biológicos, digestores anaeróbios, onde se produz biogás (composto principalmente por metano e dióxido de carbono) que é encaminhado para uma central termoelétrica que produz energia com a sua combustão.

5.1.1 Processo Industrial

No desenvolvimento de todas as etapas fabris do processamento da batata, são utilizadas grandes quantidades de água, cerca de 63 m³/h. A estrutura industrial funciona em sistema automático contínuo constante, com interrupção das atividades apenas em períodos de manutenção da estrutura e dos tanques de pré-fritura da matéria prima.

De seguida apresenta-se uma descrição do processo industrial, igualmente, demonstrado na Figura 5.1. As principais etapas da linha de produção são:

1. Remoção da casca – atividade inicial do processo que consiste no aquecimento da batata em caldeirões hermeticamente fechados, com tubulação para exaustão do vapor de água e posterior centrifugação para separação da batata. Neste processo de pré-aquecimento da batata, a primeira camada de pele é cozida, o que provoca o desprendimento da casca.
2. Limpeza da batata – após a descasca automática é realizada uma etapa manual, onde funcionários devidamente qualificados analisam visualmente as batatas, removendo pequenas impurezas ou falhas ainda presentes no vegetal para posterior prosseguimento no processo produtivo.
3. Corte – o corte é uma atividade automática em que as batatas são encaminhadas, através de esteiras para máquinas de corte, onde a matéria prima ganha o formato do produto comercial.
4. Seletor ótico – Consequente ao corte, passa das esteiras para um espaço equipado com câmaras fotográficas, focadas em diversas direções, para a seleção dos palitos de batata que se enquadram no tamanho padrão comercial e separação dos palitos defeituosos ou de tamanho inadequado, para outra linha produtiva para a produção de flocos.
5. Branqueador 1 – considerando que depois de descascada e cortada a batata tende a murchar e perder capacidade nutritiva, além de escurecer, passam-se os palitos por grandes caldeiras de água quente, chamadas branqueadores.
6. Branqueador 2 (com pirofosfato) – o segundo branqueador do processo contém uma infusão de pirofosfato, produto químico com a função de prolongar a conservação da cor e da capacidade nutritiva da batata por mais tempo.
7. Secagem – considerando que todas as etapas anteriormente mencionadas utilizam água, seja na lavagem, na condução, no corte ou no branqueamento da batata, antes da pré-fritura, faz-se

necessariamente uma secagem deste produto, para que assim possa entrar em total contato com o óleo e fritar.

8. Pré-fritura – nesta etapa, os palitos de batata, parcialmente secos são despejados no fritador, abastecido com óleo, pré-aquecido a uma temperatura de 290 °C, onde passam cerca de 4 a 6 minutos antes de serem removidos.
9. Congelamento – nesta etapa, os palitos, recém fritos, são congelados a uma temperatura de -15 C antes de serem embalados.
10. Embalamento – etapa de recolha do produto, pronto para consumo, e ensacamento para disposição para comercialização.

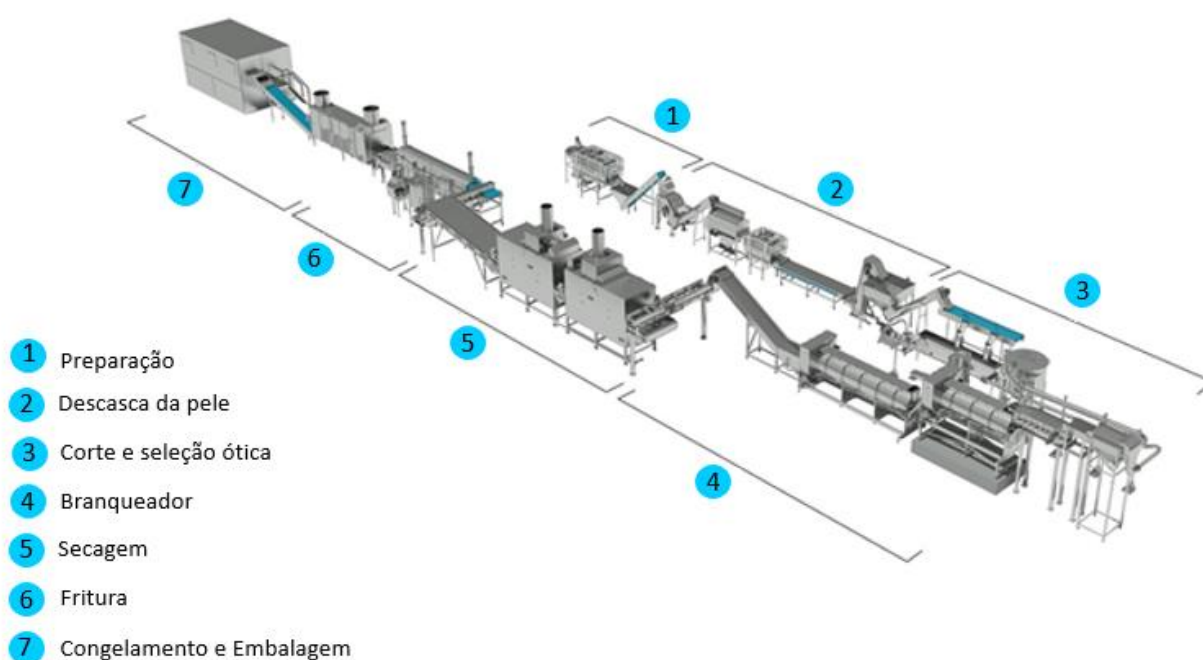


Figura 5.1 - Esquema de funcionamento da linha de produção

5.1.2 Captação e tratamento de água

Para o desenvolvimento de suas atividades no processo industrial, a empresa capta água através de poços artesianos que se localizam dentro de suas propriedades e encaminha as águas para um tratamento prévio à sua entrada nos sistemas de distribuição. Este tratamento é realizado numa estação de tratamento de águas (ETA), também propriedade da empresa, através dos processos convencionais de tratamento, sendo eles coagulação / floculação seguida de flotação, filtração e desinfecção por cloração.

Na etapa de filtração a água passa por um filtro de areia de dupla ação, composta por areia e gravilha de diferentes dimensões, para redução de matéria orgânica suspensa na água. A composição do filtro com os quantitativos de material pode ser vista na Figura 5.2.

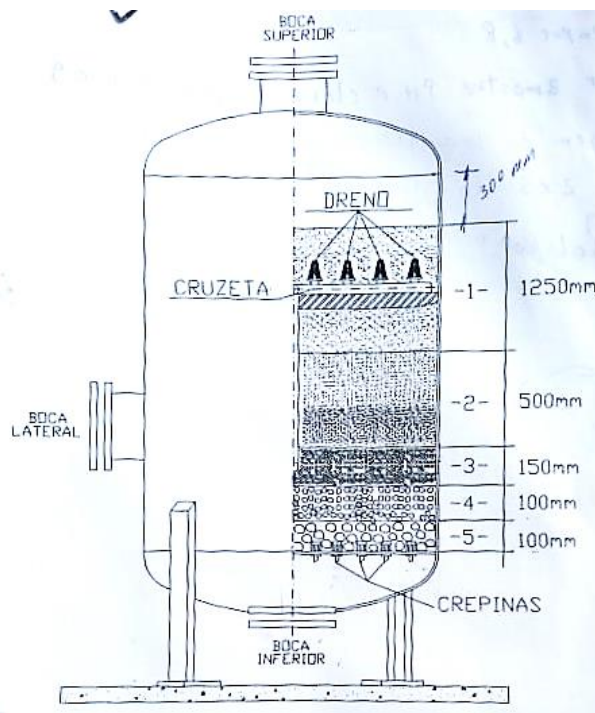


Figura 5.2 - Esquema de filtro de areia dupla ação. (da empresa)

Em suas camadas, o filtro possui as características apresentadas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Características dos materiais do filtro de areia. (da empresa)

1	Areia n.º 1 0,8 a 0,5mm	4650 Kg
2	Areia n.º 2 1,7 a 0,8 mm	1950 Kg
3	Gravilha 1/4' a 1/8'	650 Kg
4	Gravilha 1/2' a 1/4'	450 Kg
5	Gravilha 1/2' a 3/4'	1800 Kg

5.1.3 Tratamento de águas residuais

O processo industrial utiliza água em esquema de cascata, sem nenhum tratamento intermédio, ou seja, as águas utilizadas no sistema operacional passam por todos os processos, sem intervenção para limpeza ou tratamento entre as etapas da linha de produção, e os efluentes provenientes desta atividade só são tratados quando encaminhadas para a estação de tratamento de águas residuais, nas propriedades da empresa.

A estação de tratamento de águas residuais dispõe de uma estrutura com tratamentos convencionais, de nível preliminar, primário e secundário, cujo esquema se apresenta na Figura 5.3. A ETAR dispõe de tratamentos preliminares com a eliminação de sólidos grosseiros, através das peneiras estáticas; tratamentos primários incluindo e equalização de caudais e flotor onde é promovida a separação de

lamas por flutuação através da injeção de bolhas de ar, que transportam consigo algumas impurezas e formam uma espuma na superfície do tanque e decantador primário que permite que as partículas sólidas de poluentes, suspensas no meio líquido, possam assentar no fundo da bacia, reduzindo a carga de contaminantes ao longo do fluxo das águas residuais; O tratamento secundário dispõe-se de lagoa anaeróbia 1 e lagoa anaeróbia 2, lagoa arejada 1e lagoa arejada 2, com a função de reduzir, respetivamente, a carga orgânica através de degradação por via anaeróbia seguida de degradação por via aeróbia, e finalizando com uma lagoa de decantação.

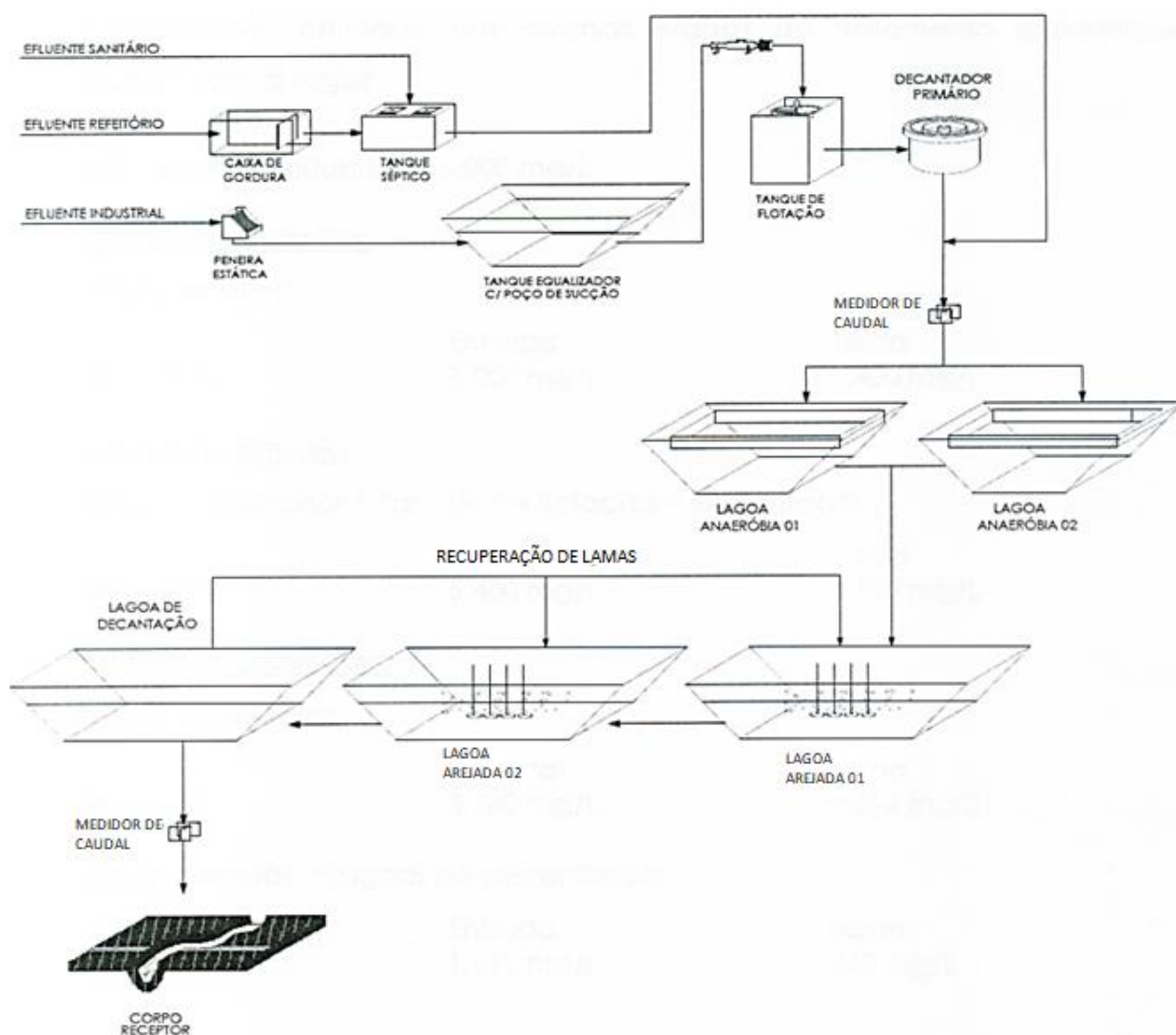


Figura 5.3 - Esquema de funcionamento da linha de produção (da empresa).

As características físicas e construtivas dos elementos da ETAR, tanto do tratamento primário, quanto do secundário, são os que se listam na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Características construtivas da ETAR (do autor)

Tratamento	Etapas	Características
Primário	Peneira estática	Dimensão da peneira: 4 m ² ; malha da tela: 0,75 mm; altura: 1,570 m
	Tanque de Equalização	Capacidade útil de reserva: 332 m ³ ; Comprimento base maior: 18,0 m; Comprimento base menor: 12,0 m; Profundidade total: 3,00 m.
	Flotador	Capacidade: 75 m ³ /h; dosagem de coagulante e polímero.
	Decantador Primário	Diâmetro: 7,0 m; altura da parte cilíndrica: 3,5 m; Inclinação do fundo: 10%
Secundário	Lagoa anaeróbia 1	Volume: 4.800 m ³ ; comprimento base maior: 48 m; comprimento base menor: 37 m; profundidade total: 5,5 m
	Lagoa anaeróbia 2	Volume: 7.015 m ³ ; comprimento base maior: 50 m; comprimento base menor: 33 m; profundidade total: 8,5 m; Tempo de retenção: 6,3 dias (para as duas lagoas juntas)
	Lagoa arejada 1	Volume: 9.601 m ³ ; comprimento base maior: 82 m; comprimento base menor: 75 m; profundidade total: 3,5 m
	Lagoa arejada 2	Volume: 13.399 m ³ ; Comprimento base maior: 97 m; Comprimento base menor: 90 m; Profundidade total: 3,5 m; Tempo de retenção (para as duas lagoas juntas): 12,25 dias
	Lagoa de Decantação	Volume: 2.816 m ³ ; comprimento x largura (base maior): 30 m x 30 m; comprimento x largura (base menor): 24 m x 24 m; profundidade total: 3,0 m; tempo de retenção: 1,5 dia

O projeto de construção da estação de tratamento de águas residuais, em seu memorial descritivo, prevê redução da CBO₅, um dos principais indicadores de qualidade da água, que está relacionado com a quantidade de oxigênio consumido por micro-organismos para a biodegradação da matéria orgânica. A estimativa de redução ao longo do tratamento dos efluentes está apresentada na Figura 5.4.

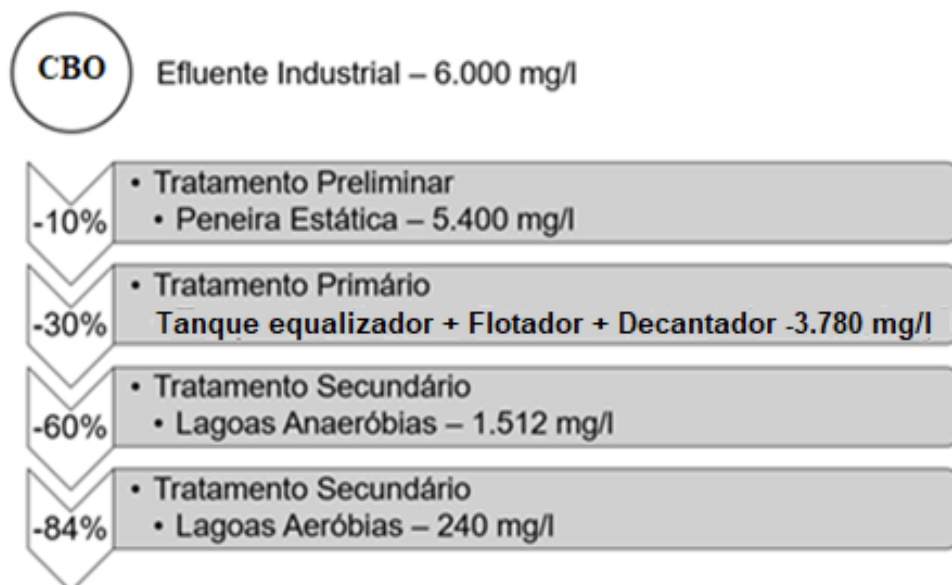


Figura 5.4 - Estimativa de redução da CBO₅ ao longo das várias etapas da ETAR – Fonte: da empresa.

A empresa realiza caracterização das águas residuais tratadas, no intuito de avaliar a possibilidade de sua reutilização no processo industrial e de avaliar os padrões de qualidade dos efluentes tratados com base na legislação que controla sua descarga no meio ambiente. No caso de estudo, os parâmetros monitorizados pela empresa em cada etapa do processo de tratamento são: sólidos dissolvidos (mg / L), sólidos sedimentáveis (mg / L), sólidos suspensos totais (mg / L), sólidos totais (mg / L), carência química de oxigênio (CQO, mg / L), carência bioquímica de oxigênio aos 5 dias (CBO₅, mg / L), pH, temperatura (° C), óleos e gorduras (mg / L) e condutividade elétrica (μS / cm). A Tabela 5.3 apresenta os valores médios anuais de cada parâmetro nas águas residuais tratadas e o respectivo desvio padrão (DP). Na análise desses parâmetros foram seguidos métodos padronizados pela *American Public Health Association* (APHA, 2012) e suas respectivas referências são fornecidas na Tabela 5.3. Os limites apresentados nesta tabela foram definidos pela empresa e estão relacionados com os padrões de qualidade exigidos para um efluente industrial tratado, considerando que será tratado antes de sua reutilização, seguindo o mesmo tratamento que a água bruta captada. No controlo analítico feito pela da empresa não existia informação disponível relativamente a análises de nutrientes (azoto e fósforo).

Tabela 5.3 - Análises das águas residuais tratadas - 2018

Teste	Método	Limite	Média anual	Desvio Padrão
Coliformes termotolerantes (UFC/100 mL)	9222 B	---	25 x10 ³	42 x10 ³
Coliformes totais (UFC/100 mL)	9222 B	---	167 x10 ³	334 x10 ³
CBO (mg O ₂ /L)	5520 D	(> 75% remoção)	71 (98% remoção)	23
CQO (mg O ₂ /L)	5210 D	(> 70% remoção)	186 (98% remoção)	46
Óleos e gorduras (mg/L)	5520 B	50	10	1
Oxigênio dissolvido (mg O ₂ /L)	4500 – O G	---	7.5	2.7
pH	4500-H+ B	6.0 – 9.0	7.9	0.1
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	2540 C	---	1.4	0.2
Sólidos sedimentáveis (mL/L)	2540 F	1.0	0.14	0.07
Sólidos suspensos totais (mg/L)	2540 D	150.0	38	16
Surfactantes aniônicos (mg/L)	5540 C	2.00	0.06	0.03
Temperatura (°C)	2550 B	---	25	3
Turbidez (NTU)	2130 B	---	45	26
Condutividade elétrica (μS/cm)	2510 B	< 400	1.720	42

Após o tratamento e aferição dos parâmetros de qualidade dos efluentes tratados, a empresa utiliza um sistema motor-bomba para adução dos efluentes por um percurso de 4 quilômetros para descarga no corpo hídrico mais próximo. As características do sistema elevatório de bombas, listam-se na Tabela 5.4. O sistema funciona em contínuo (24 horas), com o bombeamento sendo realizado por apenas uma das bombas, a de potência maior, enquanto que as outras atuam como reserva ativa mútua, para o caso de ocorrerem problemas ou paragens de manutenção da bomba em utilização. O mosaico de utilização e as

respetivas curvas características das bombas contendo valores de alturas de elevação, caudal bombeado, rendimentos, NPSH e potências podem ser consultadas nos anexos.

Tabela 5.4 - Características do sistema motor-bomba (da empresa).

Motores			
Fabricante	Potência kW	Rotação (r.p.m.)	Tensão (V)
WEG	18,5 (25 cv)	3525	220/380/440
WEG	18,5 (25 cv)	3525	220/380/440
WEG	37 (50 cv)	3555	220/380/440

Bombas			
Fabricante	Modelo		Caudal (m ³ /h)
KSB	MEGANORM	40-200	45
KSB	MEGANORM	40-200	45
KSB	MEGANORM	50-250	70

5.2 IMPLEMENTAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR NO PROCESSO FABRIL

Devido à grande demanda de água para realização das suas atividades produtivas, a empresa sofre grande dispêndio financeiro em custos de energia elétrica para bombeamento da água captada até à estação de tratamento de água. Acrescem-se os custos com reagentes e manutenção para que a estação de tratamento de água esteja em funcionamento, com a adução da água aos processos de fabricação, com a manutenção de todos os equipamentos necessários ao funcionamento da estação de tratamento de efluentes. Por fim, há que considerar os custos com a manutenção do sistema motor-bomba para transporte da água tratada, ao longo de cerca de 4 km, para rejeição no meio aquático.

No interesse de implantação de um sistema de economia circular e gestão circular da água dentro do processo fabril desta empresa, é sabido que grande parte do dispêndio financeiro está relacionado com a grande movimentação de volumes de água, que acaba não voltando para o ciclo produtivo. Isso faz demandar constantemente água da fonte que segue para o tratamento para utilizar nos diversos processos fabris, fazendo-se a descarga deste efluente tratado sem voltar a aproveitá-lo. Os seguintes questionamentos foram, por conseguinte, levantados: Por que é que a empresa não está a reutilizar esta água dentro do processo produtivo? Quais as limitações de reutilização das águas residuais tratadas, se elas atingem os níveis de qualidade requeridos pelos órgãos ambientais para descarga? Como se pode tornar esta água aceitável para reutilização dentro da indústria?

Trata-se de uma indústria em funcionamento há aproximadamente 10 anos e que já dispõe de uma estrutura instalada e em funcionamento. Portanto, as análises de *Water Pinch* seguem o modelo de implementação de um sistema já existente que possui algumas restrições para gestão dos ciclos de água no processo, juntamente com as avaliações técnico-financeiras de viabilidade da implementação de

soluções. As águas residuais são utilizadas em todo o processo industrial no modelo cascata, em que a água residual de um processo é utilizada no processo seguinte e assim sucessivamente até o encaminhamento para a estação de tratamento de efluentes.

Para implementação da economia circular é necessária a utilização dos conceitos de produção mais limpa, considerando-se a possibilidade de redução dos gastos energéticos e aproveitamento dos materiais para redução da geração de resíduos; pensamento em sistemas, conceito que sugere avaliar a complexidade dos processos e suas ligações, bem como as oportunidades de intervenção generalizada ou em sítios específicos, e as consequências das intervenções e pensamento em cascata, considerando que todos os processos da empresa em questão são interligados e pertencem a um sistema automatizado e fechado, já em funcionamento, o que pode dificultar qualquer implementação de processo.

No desenvolvimento de investigações para resposta aos questionamentos sobre reutilização dos efluentes tratados foram realizadas análises laboratoriais, por meio de entidade privada, licenciada para realização de análises biomédicas e, segundo indicações da consultoria ambiental e de qualidade da empresa, no que se refere aos parâmetros específicos de qualidade da água para utilização na linha operacional, o parâmetro que inviabilizava a reutilização da água tratada de volta no processo industrial foi a condutividade elétrica. Por apresentar valores altos, comparativamente aos valores da água tratada da ETA, retarda-se, consideravelmente, o tempo de aquecimento desta água, inviabilizando a sua reutilização no processo.

Para aferição de dados laboratoriais, foram recolhidas amostras de água em cada etapa produtiva, para identificar a(s) etapa(s) responsável(eis) por elevar os níveis de condutividade elétrica e, assim, identificar a origem dos problemas, procurando encontrar forma de melhorar o tratamento já existente na empresa.

Ainda na vertente de investigação, percebeu-se que, dentre os processos operacionais, no segundo branqueador é inserida uma adição química de pirofosfato que tem por função contribuir no mantimento da cor da batata e sua conservação. Colocou-se a hipótese de que talvez a adição do pirofosfato pudesse ser a fonte causadora da elevação da condutividade elétrica. Os resultados sobre os níveis da condutividade elétrica em cada etapa do ciclo da água apresentam-se na Figura 5.5.

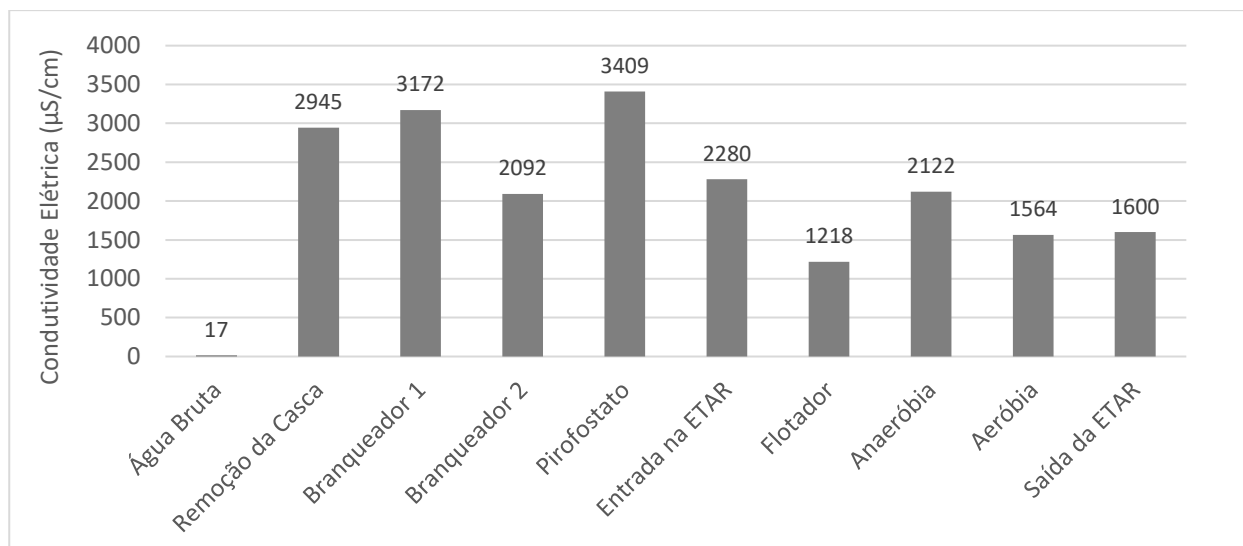


Figura 5.5 - Níveis de condutividade elétrica da água a cada etapa do processo produtivo.

Definitivamente, o pirofostato representa a etapa com maior índice de contribuição em condutividade elétrica da água, mas todas as etapas anteriores e sucessoras também apresentavam valores superiores ao requerido para entrar no processo industrial que é de 400 μS/cm. Então, a fonte causadora do aumento da condutividade elétrica não estava em nenhuma fase do processo, isoladamente, mas na própria matéria prima.

Para além das análises realizadas pelo controle ambiental da empresa, foram realizadas análises laboratoriais das águas residuais nas etapas de tratamento, para aferição das cargas poluentes, nomeadamente de iões contaminantes que pudessem estar relacionados com a condutividade elétrica. Foram solicitados índices de nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), azoto amoniacal ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$), sólidos totais (mg/l), nitrogénio total (N), potássio total (K^+) e sulfatos (SO_4^{2-}) e foram obtidos os resultados da Figura 5.6.

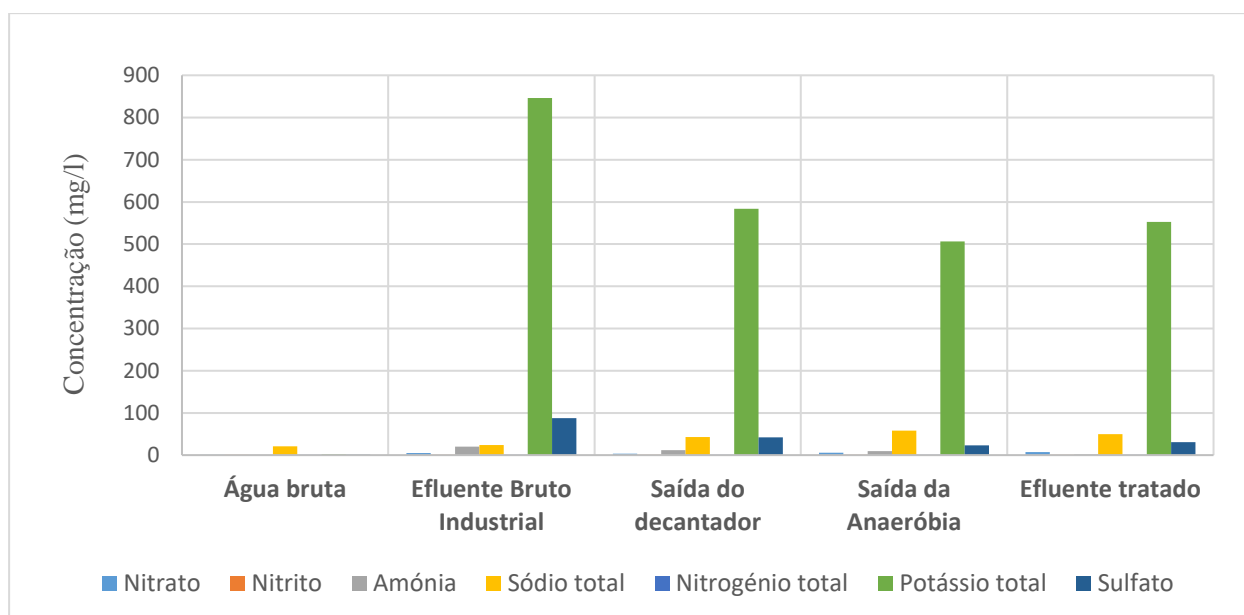


Figura 5.6 - Análises laboratoriais de caga poluente das águas residuais em mg/L.

A Figura 5.6, claramente, aponta que as concentrações de potássio total estão potencialmente acima dos outros, sendo diretamente a causa do elevado nível de condutividade elétrica da água residual.

De facto, atendendo à composição da matéria prima (rica em potássio), seria de esperar potássio em grande quantidade, sendo esta a razão do aumento da condutividade elétrica da água, após o primeiro contato com a batata.

Encontrado o fator limitante da reutilização das águas residuais tratadas e sua origem, passou-se a etapa de investigação bibliográfica relativamente a estudos de casos de sucesso para remoção de carga iónica, especificamente de potássio (K^+), além de processos efetivos para redução da condutividade elétrica, e assim encontrar uma solução para o reaproveitamento da água no processo industrial. Seguidamente à identificação destes casos de sucesso, prossegue-se a experimentação e prototipagem para aferição da eficiência no caso de estudo específico.

5.3 EXPERIMENTAÇÕES E PROTOTIPAGENS

A remoção de iões de potássio na água não é uma tarefa fácil, considerando a sua dimensão minúscula. Para tal atividade, foram pensadas duas alternativas de tratamento de efluentes que pudessem resultar numa remoção ou transformação dos iões de potássio presentes na água.

Baseado nas evidências de experimentações de sucesso no tratamento de efluentes com remoção iónica, tomou-se como hipótese a aplicação do processo de rizofiltração.

A rizofiltração, ou fitorremediação, é uma técnica que consiste no uso de plantas e sua comunidade microbiana associada para degradar, sequestrar ou imobilizar poluentes presentes na água, através do processo de absorção de íons e carga orgânica presente na água através das raízes das plantas flutuantes (Siliciano e Germida, 1999).

Experimentações comprovam a redução de carga iônica em 40% num tempo de retenção de 15 dias, para águas residuais de atividades de tratamento de efluente doméstico e de uma fecularia (indústria de produção de féculas de batata, sendo a fécula um produto amiláceo extraído de alimentos enterrados, que podem ser tubérculos, raízes e rizomas) (Oliveira e Bruzon, 2018).

Foram estudados alguns tipos de plantas que poderiam ser aplicadas ao caso de estudo, principalmente na questão da profundidade das bacias arejadas, dado que a remoção ocorre ao nível das raízes das plantas. As opções mais convenientes encontradas foram o capim Vetiver, o bambu e a *Eichhornia crassipes* (jacinto d'água), entretanto tendo em consideração o custo relativo à implantação de uma estrutura flutuante que sustentasse essas plantas na superfície das lagoas, mais especificamente o capim vetiver e o bambu, considerou-se que os jacintos de água seriam a alternativa mais adequada ao tipo de lagoa existente, pois além destas plantas serem autofluantes pretendeu-se verificar se seria uma alternativa eficiente mesmo sem alterar a área e profundidade das lagoas, isto é, evitando alterações no sistema de tratamento existente.

A planta escolhida para a rizofiltração foi a "*Eichhornia crassipes*", mais conhecida como Aguapé ou Jacinto de água (ver Figura 5.7). Esta planta alimenta-se através das suas raízes de matéria orgânica poluente presente na água. Logo, ela é um vetor indicativo de poluição quando aparece nas margens dos rios. Caso a água esteja totalmente limpa, a Aguapé morre, por não ter nutrientes para absorver.



Figura 5.7 - *Eichhornia crassipes* (adaptado de Lider Agronomia, 2012)

A *Eichhornia crassipes* utiliza os sais minerais da água onde está em benefício próprio para o seu crescimento, possuindo a função de purificação da água devido as suas raízes longas e finas, pelas quais absorve elevada quantidade de fungos, bactérias e metais pesados e armazena-os em sua parte aérea,

contribuindo com o seu crescimento. Esse método é classificado como rizofiltração ou fitorremediação, em razão da absorção que a Aguapé faz nesses compostos químicos e elimina apenas água de forma filtrada, podendo ser comprovada através das pesquisas a sua capacidade de realização desse processo (Pott e Pott, 2002).

Marcondes et al. (1997) afirmam que a *Eichhornia crassipes* é uma planta aquática capaz de aumentar sua massa verde em 15% ao dia, dobrando-a a cada seis ou sete dias, acumulando 800 kg por hectare por dia. Quando em condições ótimas, produz até 480 toneladas de massa verde por hectare em um ano, com um incremento de volume de 4,8% ao dia. Um lago coberto por estas plantas perde de duas a oito vezes mais água por evapotranspiração do que se estivesse com a superfície livre.

Outra característica interessante desta planta, diz respeito à sua autorreprodução, pois ela se multiplica automaticamente na presença de nutrientes para absorver e, portanto, seria uma solução eficiente e economicamente interessante por não necessitar de custos de reposição.

Outrossim, como a empresa já dispõe de estrutura adequada para tratamento de resíduos sólidos orgânicos, os gestores anaeróbios e a biomassa resultante da morte das plantas pode ser reencaminhada e gerar energia a partir do biogás.

Foram realizadas experimentações, no intuito de aplicação das plantas flutuantes nas bacias arejadas da ETAR da empresa, visando aproveitar a infraestrutura das instalações de tratamento já existente dentro da empresa. No tratamento secundário, nas bacias arejadas, a oxigenação forçada contribui com a movimentação de partículas presentes na água e conseqüentemente poderia contribuir na redução dos índices requeridos. O único fator que poderia influenciar o não atingimento dos resultados estava relacionado com o tempo de retenção destas bacias que, juntas, somam 12 dias e meio e, em experimentações apresentadas em estudos de referência (e.g., Oliveira e Bruzon, 2018), o tempo mínimo era de 15 dias.

Foram criados protótipos com recipientes que simulavam bacias de retenção. Estas foram acopladas com uma minibomba de ar que bombeava oxigênio simulando as bacias de tratamento aeróbio com oxigenação forçada (Figura 5.8). Foram feitos experimentos com as águas residuais proveniente da bacia arejada e da bacia de decantação, no intuito de acompanhar o efeito da fitorremediação nos dois casos, dentro da limitação de tempo.



Figura 5.8 - Protótipo de fitorremediação nas bacias arejadas com oxigenação forçada

O resultado foi o que se apresenta na Figura 5.9, onde se identificou que a melhor etapa para implantação desta proposta seria no tempo em que o efluente está na bacia de arejamento. Entretanto, devido ao tempo reduzido de retenção, a redução de $400 \mu\text{S}/\text{cm}$ de condutividade elétrica não era suficiente para reutilização das águas residuais tratadas, tendo em vista que para conseguir reutilizar a água no processo industrial, a condutividade necessária era de $400 \mu\text{S}/\text{cm}$, e o experimento, ao fim de 12 dias apenas chegou a aproximadamente $1600 \mu\text{S}/\text{cm}$.

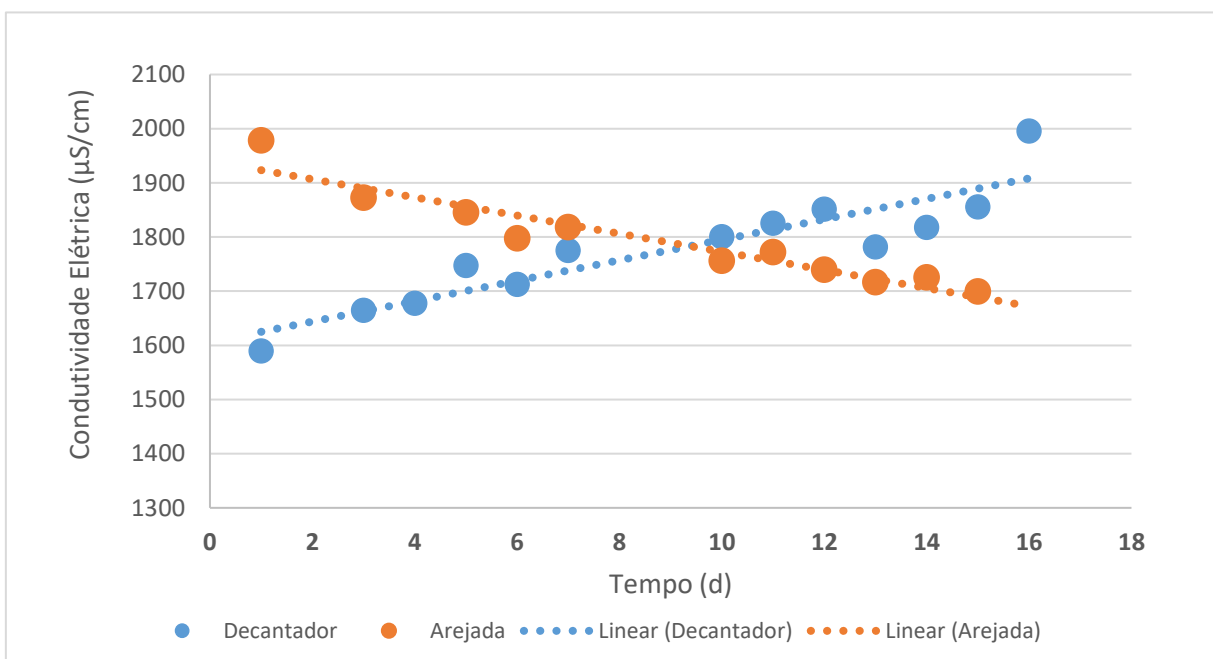


Figura 5.9 - Acompanhamento do nível de condutividade elétrica, na aplicação do protótipo de rizofiltração em bacias arejadas com oxigenação forçada.

Para solucionar a questão de aproveitamento das águas residuais de volta ao processo produtivo, foram pensadas outras alternativas.

Realizaram-se pesquisas para aplicação de filtros físico-químicos, além de colunas de troca iônica, para aplicação após a etapa de adsorção nas bacias de aeração. Considerou-se a possibilidade de implantação de um filtro ou coluna na saída das bacias arejadas e, antes da última bacia de decantação, pois, com resultados positivos de eficiência, seria possível aplicar esse tratamento e reutilizar uma quantidade maior das águas residuais tratadas no processo industrial.

Foram levantadas hipóteses de filtros físico-químicos e também uma coluna de permuta iônica que pudessem efetivar a remoção de sólidos suspensos e iões respetivamente e, conseqüentemente, rebaixar eficientemente os níveis de condutividade elétrica da água. Na experimentação, já devíamos dimensionar os filtros para um caudal constante de água, para aferição da longevidade de filtração do material, para definir período de renovação e, então, fazer o dimensionamento econômico. Este assunto será tratado no subcapítulo 5.5.

Foram testados filtros de alguns materiais com diferentes características físico-químicas. As quantidades de material filtrante foram as seguintes: areia; areia e carvão ativado; fibra de coco; cinzas, em algumas diferentes proporções, que podem ser aferidas na Figura 5.9, para identificação de melhor eficiência. Na legenda da Figura 5.9, onde aparecem as designações 10A/2C/10A/2C/12A e 4,5A/3,5C/3,5A, refere-se a experimentos com várias camadas de areia e carvão ativado, respetivamente (10 g de areia + 2g de carvão + 10 g de areia + 2 g de carvão + 12 g de areia) e (4,5 g de areia + 3,5 g de carvão + 3,5 g de areia).

Os ensaios de filtração para redução da condutividade elétrica foram realizados em laboratório, usando de colunas com capacidade de 15 ml. Entretanto, pôde-se constatar que nenhuma das opções obteve êxito, pois o processo físico de filtração clássica consiste na remoção de sólidos suspensos e também poderia remover óleos e gorduras, no entanto não seriam capazes de remover matéria dissolvida na água, como é o caso dos catiões potássio (K^+), embora se esperasse alguma remoção por reatividade da parte das cinzas. Os valores de condutividade permaneceram os mesmos ou até aumentavam de valor (Figura 5.10), demonstrando-se que estas soluções eram ineficazes a baixar a condutividade elétrica, uma vez que se trata de um contaminante dissolvido, com elevada solubilidade e, portanto, com baixa afinidade para a adsorção pelos adsorventes usados (carvão, fibra de coco, cinzas).

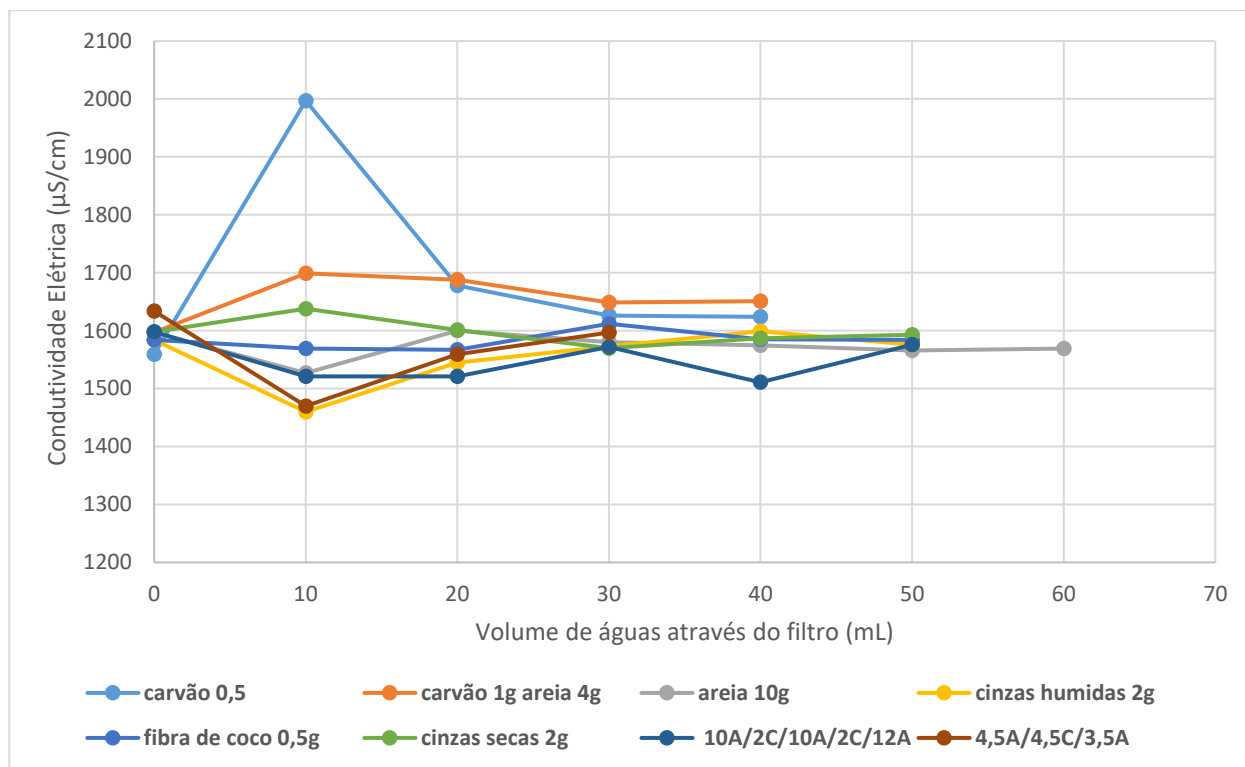


Figura 5.10 - Análises de experimentações de filtros físico-químicos.

Também foi testada uma resina de troca iônica que resultou na diminuição total da condutividade elétrica da água na primeira passagem dos efluentes pela coluna. A resina mista (mistura de resinas de permuta catiônica e aniônica), mostra-se eficiente pelo seu lado catiônico, removendo o potássio (K^+) de forma mais eficiente, e além disso, as resinas aniônicas podem remover os íons CO_3^{2-} e HCO_3^- , que são uma das principais causas de depósitos/incrustações nos tubos e equipamentos nos processos industriais quando é usada água quente.

A experimentação também foi realizada em bureta, que simula uma coluna de troca iônica, de capacidade de 15 ml, onde foram inseridas 7,5 gramas de resina mista, para avaliação da eficiência de redução da condutividade elétrica, através da passagem de água através da coluna (Figura 5.11). Somente o uso de resinas mistas foi capaz de atingir os valores desejáveis de condutividade, além disso, essas resinas podem ser reutilizadas após a regeneração por um tratamento químico apropriado.

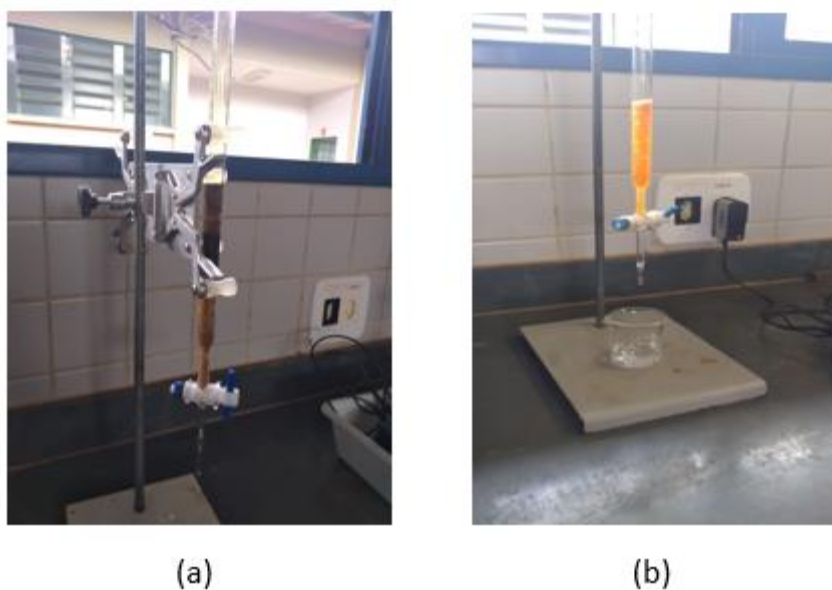


Figura 5.11 - Ensaio com filtros de areia e carvão (a) e resina mista (b).

Como restrições ao uso desta resina, existe o impasse financeiro de aquisição desta para atendimento de todo o caudal de $67 \text{ m}^3/\text{h}$ que sai da estação de tratamento de efluentes. A resina mista é um material de alto custo de aquisição e o volume de utilização para tratamento de todo o caudal que sai da ETAR. Além da necessidade de adquirir um volume extra de resina reserva, que seria utilizada durante o período de renovação do primeiro montante, quando chegasse ao nível de saturação, de aproximadamente 175,2 litros, considerando um intervalo de troca da resina na coluna de troca iónica, que seria de cerca de dois dias.

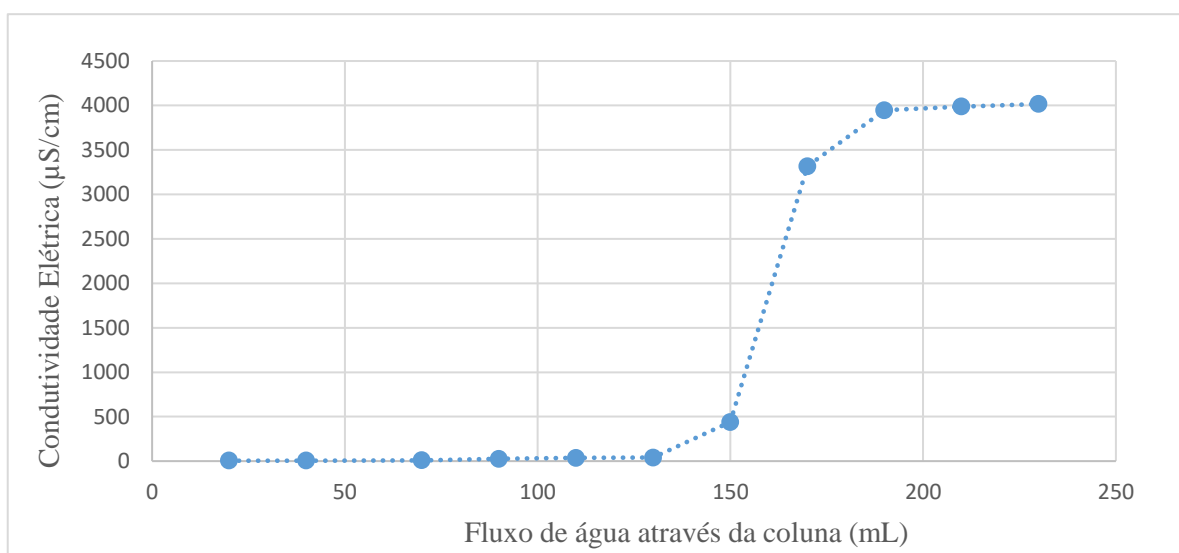


Figura 5.12 - Curva de comportamento da resina mista frente ao volume de águas residuais filtradas.

A Figura 5.12 apresenta o comportamento da coluna de resina mista com relação à redução da condutividade eléctrica da água residual em função do volume (tempo multiplicado pelo caudal) que

atravessou a coluna. Percebe-se que os resultados são francamente eficientes, até um determinado volume de efluente. Quando a resina deixa de permutar os iões, a curva sobe abruptamente, deixando de se revelar eficaz. Este seria o momento da troca do material filtrante com as capacidades iniciais para utilização, enquanto esta seria encaminhada para limpeza e renovação iônica até que fosse possível reutilizá-la novamente no filtro.

Também foi constatado que a diluição da água residual tratada em água bruta é consideravelmente eficiente até uma determinada proporção e é capaz de reduzir os valores dos índices de poluição, podendo assim fazer com que a água residual tratada se torne aproveitável.

Tendo em conta que a problemática em questão não é totalmente o trabalho de tornar a água potável, pois a ETAR já é suficientemente eficiente, e apenas se pretende baixar a condutividade elétrica da água, realizou-se uma experimentação de diluição da água residual tratada, depois da bacia de decantação, em água bruta, proveniente da fonte de captação de água da empresa. Esses resultados são apresentados na figura 5.13.

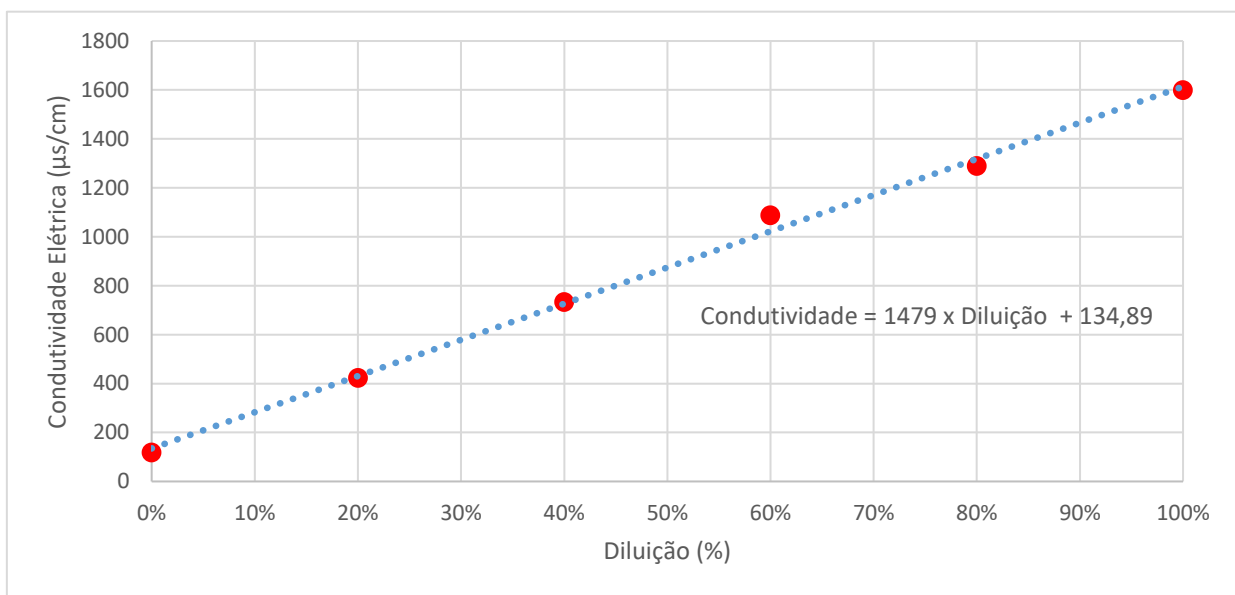


Figura 5.13 - Avaliação da redução de condutividade elétrica da água versus a diluição da água residual tratada em água bruta.

O aumento da diluição da água apresenta um comportamento retilíneo em proporção à redução da condutividade elétrica. Isso sugere a possibilidade de aproveitamento de até 20% do volume de água que sai da ETAR, para os níveis de 400 µS/cm, unicamente aplicando este processo de diluição.

5.4 PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS

No intuito de consolidar uma proposta de solução para otimização do ciclo da água e das águas residuais no caso de estudo, passou-se aos cálculos, através dos princípios de economia circular, pensando na preservação dos recursos hídricos e diminuição dos impactos ambientais.

Através dos dados apurados nos ensaios realizados, percebeu-se que a aplicação do processo de rizofiltração nas bacias de aeração surtiram um efeito positivo de redução da condutividade elétrica até 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, durante o tempo de retenção das bacias (12 h), o que possibilitaria aproveitar esta redução de condutividade elétrica, em conjugação com a coluna de troca iónica de resina mista, de forma a efetivar a reutilização de 20% do volume de água tratada.

A definição de tratamento de apenas 20% do volume de águas residuais, usando uma coluna com resina mista, surgiu pelo custo elevado de aquisição da matéria prima (resina mista), além da necessidade de possuir dois ou três volumes de material, para manejo e gestão entre colunas, para quando uma das colunas chegassem ao limite de utilização, pudesse ser substituída por outra, enquanto era submetida ao processo de regeneração para reutilização.

Sendo assim, o processo de rizofiltração será instalado nas lagoas arejadas, pois foi comprovada sua maior eficiência quando trabalhando junto a estas lagoas, e 20% dos efluentes tratados passarão pelos processos de troca iónica em coluna de resina mista e depois reencaminhados para o processo industrial, representando um caudal de 14,6 m^3/h , ou seja, 350,4 m^3 por dia.

Para aplicação dos processos de rizofiltração, foram quantificadas as áreas superficiais das bacias de retenção arejadas, para mensuração da quantidade de plantas. As áreas das bacias arejadas, com oxigenação forçada, 1 e 2 são 852 m^2 e 3971 m^2 , respetivamente. A quantidade de plantas por área de superfície é de, aproximadamente, 5 plantas/ m^2 (Oliveira e Bruzon, 2018), o que totalizaria uma quantidade de 24 115 mudas de plantas. Na Figura 5.14 apresenta-se o esquema de disposição das plantas na superfície das bacias arejadas e o posicionamento da colina de resina.

O volume de resina mista, a ser utilizado na coluna de troca iónica, após as bacias de retenção com oxigenação forçada, foi de 262,8 kg de resina, considerando que existirão três colunas de resina, para facilitar a gestão e manejo dos fluxos através das colunas, para que, enquanto uma coluna a esteja atendendo ao processo de tratamento, outra possa estar em processo de regeneração para posterior reutilização, e a terceira funcione como reserva de suporte. O tempo de troca considerado para este dimensionamento foi de 2 dias.

Também constatamos que, se aplicássemos a diluição da água residual tratada em água bruta, poderíamos reaproveitar mais 20% do volume das águas residuais.

Outrossim, existe a possibilidade reaproveitar as águas residuais para outros fins que não exatamente os fins industriais, como por exemplo, reutilizar para fins sanitários dentro da própria indústria. Estimou-se, face ao número de trabalhadores, uma possibilidade de reutilização de 5% do volume das águas residuais tratadas.

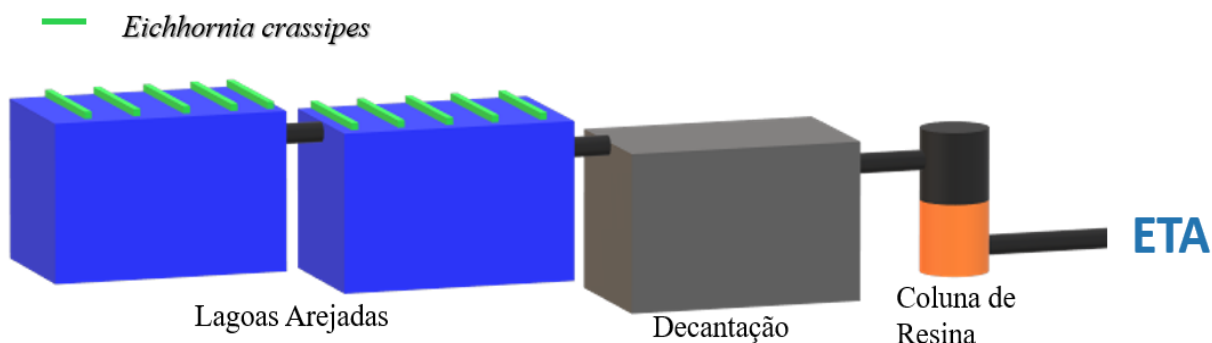


Figura 5.14 - Esquema de implementação nos processos de tratamento de águas residuais.

Na Figura 5.15 é possível visualizar um esquema que apresenta um reaproveitamento cumulativo de 45% do volume de efluentes tratados, reduzindo assim 50% da captação de água. Ao reduzir o despejo de 45% do volume de AR, geram-se economias dentro dos processos, visto que a redução dos volumes captados e bombeados para despejo promovem um impacto financeiro no médio e longo prazo. Passa a haver uma redução dos custos de captação e descarte da água, o que promove a redução dos custos operacionais, amplia a margem de contribuição, aumenta a competitividade da empresa no mercado e a sua participação no mercado (“*marketshare*”) e concede à empresa um estatuto de referência relativamente a outras indústrias do ramo alimentício.

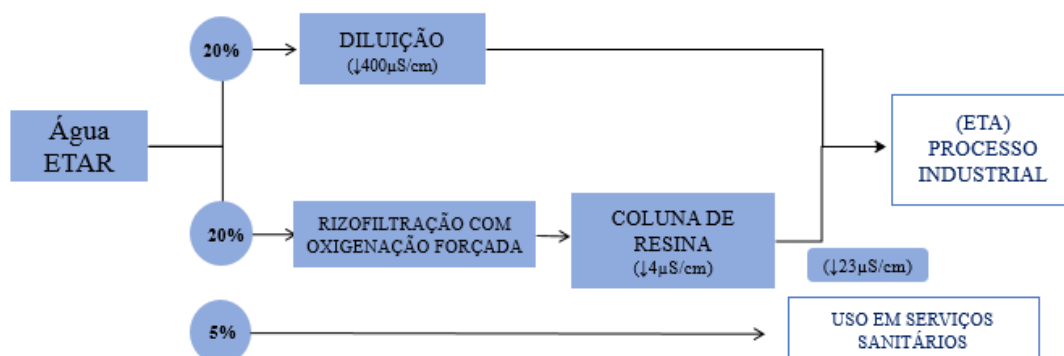


Figura 5.15 - Esquema de reaproveitamento de águas residuais tratadas.

As práticas da economia circular, considerados para desenvolvimento do estudo de implementação foram baseados nos conceitos de projeto sem resíduos e produção mais limpa, visando otimizar os gastos energéticos e a produção de resíduos com a atividade industrial; transitou-se para práticas de uso de energias vindas de fontes renováveis, considerando que uma parte da energia, gerada pelos biodigestores (de propriedade da empresa, que transformam os resíduos sólidos em energia) e pelas caldeiras, vai estar sendo gerada com águas residuais tratadas e com a biomassa das plantas flutuantes; idealizaram-se sistemas, em que se procurou inteirar da complexidade e da interligação entre cada etapa do processo de captação, tratamento pré-utilização, utilização e pós utilização e pensamento em cascata, quando se agrega valor aos materiais biológicos e técnicos, fazendo-os regressar ao ciclo de consumo, seja para a mesma utilidade ou para diferentes utilizações.

Promoveu-se ainda suprimentos circulares, recuperação de recursos e extensão da vida do produto, através de reparação, atualização e remanufatura dos processos de tratamento das águas residuais e de gestão dos resíduos provenientes do tratamento sugerido, implementações estas também sugeridas para efetivação da economia circular.

Relativamente às estratégias sugeridas nos modelos analíticos de *Water Pinch*, que coincidem com os princípios da economia circular, utilizaram-se os seguintes conceitos:

- estabelecimento dos objetivos e limites do projeto, sendo estes a reutilização das águas residuais tratadas, redução da rejeição de águas residuais, sendo as limitações do projeto, a intervenção num sistema industrial mecanizado fechado, já em funcionamento;
- Identificação da fonte de água, neste caso, poços artesianos dentro da propriedade da empresa;
- Avaliação dos fatores limitantes de reutilização (condutividade elétrica);
- Preparação do esquema e avaliação econômica, onde se considerou a complexidade da operação, a relação custo-benefício e as conformidades regulatórias relativas às práticas sugeridas.

As mudanças propostas partiram da abordagem de reutilização após tratamento, quando se aplicam tratamentos adicionais para posterior reinserção das águas residuais tratadas de volta ao processo industrial. O modelo de tratamento dos efluentes manteve-se centralizado, tendo em vista a complexidade do sistema operacional, já existente, que une todos os fluxos de águas residuais, e, conseqüentemente, qualquer outra proposta descentralizada, geraria maior custo de implementação.

A Figura 5.16 apresenta o esquema do fluxo de águas e de águas residuais ao longo do processo existente no caso de estudo da indústria, onde não existe reutilização das águas residuais.

Em seguida a Figura 5.17 apresenta o novo diagrama de fluxos de consumo de água e de reutilização das águas residuais tratadas, apresentando também os caudais reduzidos na saída das águas residuais para

rejeição, bem como na distribuição das águas captadas no poço artesiano para encaminhamento direto para a ETA e para o processo de diluição junto às AR tratadas, antes de serem encaminhadas para o tratamento de águas.

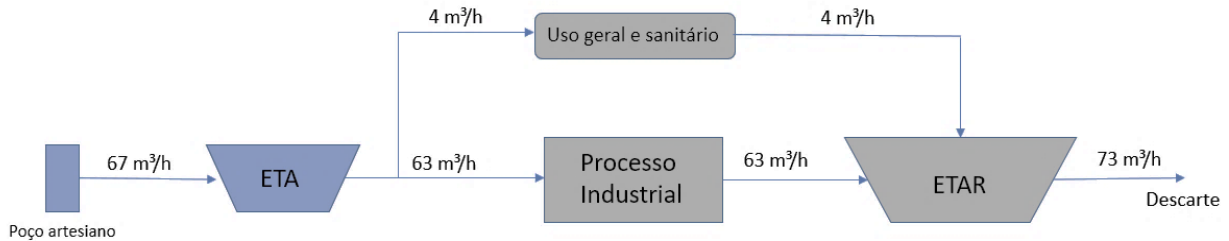


Figura 5.16 - Esquema Inicial do ciclo de água na Indústria

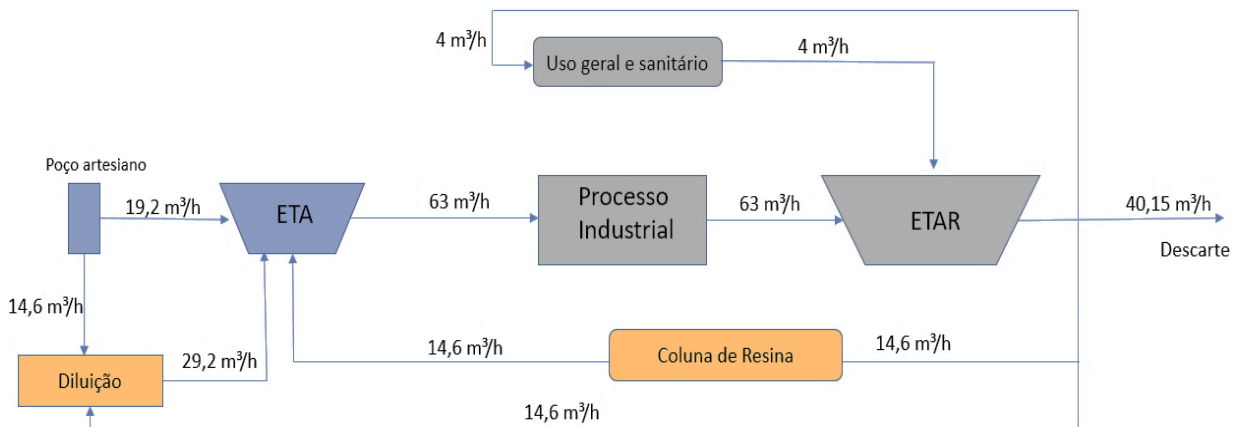


Figura 5.17 - Fluxo de água posterior à análise de *Water Pinch*

5.5 ANÁLISES ECONÔMICAS

A intervenção, baseada na economia circular e gestão eficiente da água no caso de estudo, resumiu-se a implementações de etapas de tratamento e na estação de tratamento de águas residuais, visto tratar-se de uma intervenção num sistema existente e operante. A viabilidade e eficiência da implementação deve refletir a redução de consumo de água, de geração de águas residuais, evitando as possibilidades de geração de grandes custos de implementação, além do aumento da complexidade em operacionalização.

A otimização da gestão circular da água na empresa estudada, necessitará de investimentos, apresentados na Tabela 5.5 que, em médio e longo prazo, resultará em economias financeiras consideráveis aí listadas.

Ainda assim, devem ser contabilizados os consumos mensais de energia elétrica, das estações elevatórias dos conjuntos de bombas, para aferição e contabilização de economia, ao longo do tempo. Devem ser levantados os custos relacionados com as aquisições das plantas flutuantes e da resina, bem como a construção da infraestrutura necessária para o funcionamento da proposta.

Sabidos os valores totais de investimento inicial e das economias mensais, provenientes da redução de gastos, é possível realizar o cálculo da taxa de retorno dos investimentos. Desta forma, estimar-se-ia em quanto tempo de operação do sistema proposto conseguir-se-ia compensar o investimento inicial. Estes cálculos e pesquisas financeiras não foram realizados neste estudo por razões de falta de tempo para aprofundamento em dados e informações que pudessem promover conclusões concisas e confiáveis sobre este quesito, um dos mais pertinentes para a tomada de decisão relativamente ao custo-benefício do projeto, bem como pela complexidade de aferir valores reais de investimento em grande escala, baseado em experimentos protótipos. A mensuração de ganhos também deve ser avaliada a médio e longo prazo, o que abre espaço para discussões e adequações do projeto ao longo de sua implementação e consequentemente oferece oportunidades de pesquisas futuras.

Tabela 5.5 - Avaliação de investimentos e economias relacionados a intervenção

Investimentos	Economias
<i>Aquisição das plantas flutuantes (investimento único)</i>	<i>Redução no custo/consumo de energia elétrica e manutenção no sistema de captação de água</i>
<i>Aquisição da resina mista</i>	<i>Redução do custo/consumo de energia elétrica para bombeamento de efluentes tratados até o corpo hídrico</i>
<i>Construção de coluna de troca iónica</i>	<i>Geração de energia através da geração de biomassa das plantas flutuantes</i>
<i>Construção de uma central de tratamento/recuperação da resina</i>	<i>Substituição do conjunto motor-bomba por equipamento com valor de menor potência, compatível com o volume corrigido de efluentes tratados para descartar</i>
<i>Construção de um sistema de adução das águas residuais tratadas a central de tratamento de águas.</i>	
<i>Mão de obra para manutenção do sistema</i>	<i>Redução das taxas de recursos hídricos</i>

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

A implementação de processos de tratamento de águas residuais dentro de um contexto industrial, onde existem peculiaridades específicas, não é uma tarefa de fácil solução. Entretanto tende a ser explorada e aprimorada, através dos elementos políticos e econômicos que vem influenciando a implantação dos conceitos de economia circular, nos diversos setores de consumo dos recursos hídricos, face ao crescimento populacional e aumento da demanda de água do meio ambiente.

Os conceitos de economia circular, para serem implantados dentro de uma empresa, requerem diversas avaliações de custo e eficiência técnica e econômica e, para isto, é requerido necessariamente o conhecimento aprofundado de cada etapa do processo produtivo.

As análises de *Water Pinch technology* contribuem fortemente na idealização do ciclo da água dentro dos processos industriais, bem como os efeitos provenientes das intervenções de implementação, apontando também para as restrições de implantação e mensuração de economias financeiras e impactos ambientais.

No desenvolver da pesquisa, buscou-se identificar a aplicação de soluções diferentes para a mesma problemática. Pôde-se perceber a importância da aglomeração de mais do que um processo para obtenção de um volume considerável de água a reutilizar, visando a economia financeira para a empresa, bem como a redução dos impactos ambientais relativamente aos atuais consumos.

As indústrias apresentam características peculiares de poluição e tratamento de efluentes que variam de acordo com a matéria prima e os resíduos contaminantes, provenientes da atividade de fabricação. No desenvolver da pesquisa, percebeu-se que, para o caso de estudo, ou para outras indústrias semelhantes, a batata, matéria prima da atividade manufatureira, é responsável pela elevação dos níveis de condutividade elétrica, devido à presença de potássio (K^+) em sua composição.

Os resultados dos experimentos, quando combinados na proposta de implementação, a saber, aplicação e processos de fitorremediação nas bacias arejadas da ETAR, diluição das águas residuais tratadas em água bruta e coluna de resina mista, apontaram para 45% de redução de descarga de águas residuais

tratadas e redução em 50% o volume de captação de água. Isso conduz a consequentes reduções no consumo de energia para o sistema de bombeamento, tanto na captação de água quando na adução para descarga.

A planta flutuante escolhida para o processo de fitorremediação foi da espécie *Eichhornia crassipes*, planta com acentuada capacidade de reprodução e bom potencial de adsorção nutrientes através de suas raízes. Sua utilização não se limita unicamente ao tratamento de águas residuais, mas, também, à geração de biomassa e consequente geração de energia proveniente do biogás, após extinção de sua vida.

Este trabalho poderá servir como modelo (i) de experimentação de inovações tecnológicas em processos de tratamento terciário de águas residuais da indústria alimentar; (ii) de implantação dos conceitos de economia circular e *Water Pinch*; (iii) e de preocupações acerca de impactos ambientais nos recursos hídricos devido aos diversos modos de consumo da água e subsequente rejeição.

Como pesquisa, no ramo de Gestão da Construção, o trabalho contribui positivamente pela sua vertente de investigação em áreas complementares à Engenharia Civil, o tratamento de águas, economia circular e análise “water pinch”, de elevada importância a nível tecnológico, político e social.

6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A dissertação desenvolvida abordou uma questão pertinente no atual cenário do consumo de recursos hídricos e de valorização dos recursos renováveis por parte do setor industrial. Mais especificamente, visou o setor da produção de alimentos que apresenta poucas publicações voltadas ao tema de economia circular na gestão das águas, apesar de se pretenderem alcançar metas ousadas na redução de consumo de água para as próximas décadas, segundo os planeamentos e metas para o desenvolvimento sustentável da Organização das Nações Unidas, dentre outros objetivos mundiais de gestão dos recursos renováveis.

Realizaram-se pesquisas e experimentos de efetivação da redução de poluentes nas águas residuais, bem como mensuração da quantidade de material, infraestrutura e mão de obra a investir na implementação. Também foi feita uma descrição das economias provenientes da intervenção, que no médio e longo prazo compensarão o investimento. Contudo, era desejável a reprodução de protótipos e estudos à escala piloto, para identificação de pontos de melhoria e ajustes à realidade, além de controles analíticos rigorosos.

Pelo tempo reduzido para o desenvolvimento da pesquisa, não foram efetivados os estudos financeiros até os valores específicos de investimento e taxa de retorno para aferição da viabilidade econômica financeira, mesmo estando bem claros os benefícios das intervenções propostas. Assim, como propostas de trabalhos futuros, propõe-se a análise e pesquisas da efetividade dos experimentos à escala piloto,

acompanhados pela indústria, de forma a obter resultados reais mais apurados, bem como o aprofundamento dos estudos econômicos para cálculo de um valor específico de investimento e economias ao longo do tempo. Para quantificação real da gestão financeira da intervenção, serão necessárias pesquisas de preços de material, composição dos serviços a serem realizados na infraestrutura e do cálculo de mão de obra. Estas pesquisas devem ser realizadas levando em consideração a localização da empresa (custo de material e mão de obra), bem como as legislações vigentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, Jéssica Andreia Ganhito (2018). Água na Indústria: base para uma Economia Circular. Dissertação de mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2018. Disponível em <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/24829/1/disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em 05/09/2019.

APA. (2018b). Programa LIFE. Disponível em <https://life.apambiente.pt/content/programa-lifeatual>. Acesso em 15/11/2019.

APA. (2018c). Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água. Disponível em <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=860>. Acesso em 15/11/2019.

ASANO, T.; BURTON, H.; TSUCHIHASHI; TCHOBANOGLOUS, G. – Water Reuse – Issu, Technologies and Applications. Mc Graw-Hill, New York, 2007.

Balabanis, P. (2015). Water in the context of Circular Economy. In *Green Business Week - AcquaLiveExpo* (p. 19). Lisboa, Portugal. Disponível em http://www.ppa.pt/wpcontent/uploads/2015/03/2-10_20H_WATER_CircularEconomy_PBLisbon.pdf. Acesso em 02/02/2020.

BANAT, I. M., NIGAM, P., SINGH, D., MARCHANT, R. (1996). Microbial decolorization of textile-dye containing effluents: A review. *BioresourceTechnology*, 58 (3), 217-227

Baptista, J. M., Almeida, M. do C., Vieira, P., Silva, A. C. M. e, Ribeiro, R., Fernando, R. M., ... Cameira, M. do R. (2001). *Programa Nacional para o uso Eficiente da Água*. Lisboa: APA. Disponível em http://www.apambiente.pt/_zdata/planeamento/pnuea.pdf. Acesso em 02/02/2020.

Basu, A. J., e Van Zyl, D. J. A. (2006). Industrial ecology framework for achieving cleaner production in the mining and minerals industry. *Journal of Cleaner Production*, 14(3–4), 299–304. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.10.008>. Acesso em 02/12/2019.

Brouckaert, C.J. e Buckley, C.A. (2018). WATER PINCH ANALYSIS: A STRATEGIC TOOL FOR WATER MANAGEMENT IN THE FOOD PROCESSING INDUSTRY. Pollution Research Group, University of Natal, Durban, 4041, South Africa. Disponível em http://www.ce.siu.edu/589/notes/T7%20Water_re-use_Water_Pinch.pdf. Acesso em 01/05/2020.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CCDRLVT (2018). Economia Circular como fator de resiliência e competitividade na região de Lisboa e Vale do Tejo. Disponível em <http://www.ccdr-lvt.pt/>. Acesso em: 02/06/2019

Circular Economy Portugal. (2016, May 28). Como o financiamento da UE pode ajudar a transição para uma economia circular. Disponível em <https://www.circulareconomy.pt/singlepost/2016/05/28/Como-o-financiamento-da-UE-pode-ajudar-a-transição-para-umaeconomia-circular>. Acesso em 05/01/2020.

Costa, S. S. (2012). Água virtual em louças sanitárias – caso de estudo (Dissertação de mestrado, Universidade de Aveiro). Disponível em https://ria.ua.pt/bitstream/10773/9504/1/dissertação_FINAL.pdf. Acesso em 12/10/2019.

COTEC Portugal. (2016). Economia Circular: Preservar, otimizar e assegurar recursos essenciais para o nosso futuro. COTEC Portugal. Disponível em http://www.cotecportugal.pt/imagem/20161122_EC_Booklet_Exposição.pdf. Acesso em 10/09/2019.

Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de junho. D. R. I Série A. 139, 2959. Disponível em <https://dre.pt/application/file/365412>. Acesso em 01/11/2019.

Decreto-Lei n.º 23/95 de 23 de agosto. D. R. I Série B. 194, 5284. Disponível em <https://dre.pt/pdf1sdip/1995/08/194B00/52845319.pdf>. Acesso em 01/11/2019.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2014). Building a common vision for sustainable food and agriculture: Principles and Approaches. Rome, FAO. Disponível em: <http://www.fao.org/3/919235b7-4553-4a4a-bf38-a76797dc5b23/i3940e.pdf>. Acesso em 12/10/2019.

FAO (2015). Porcentagem utilizada dos recursos naturais. Disponível em: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/maps/MDG_eng.pdf. Acesso em 05/05/2020.

FCT (2019) “Agenda Temática de Investigação e Inovação Economia Circular”, FCT, Lisboa DOI: <https://doi.org/10.34621/fct.edicoes.agendastematicas-1>

Feitosa A.C.F., Manoel Filho, J. (1997). Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM LABHID/UFPE, 389 p.

Fraga, M. A. C. H. de C. (2017). *A economia circular na indústria portuguesa de pasta, papel e cartão* (Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa). Disponível em <https://run.unl.pt/handle/10362/21794>. Acesso em 02/02/2020.

Fundação Ellen Macarthur (2012). Towards the Circular Economy Vol.1: an economic and business rationale for an accelerated transition. Ellen MacArthur Foundation, 96 p.

Fundação Ellen MacArthur. (2017). Circular Economy Characteristics. Disponível em <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular-1/caracteristicas-1>. Acesso em 12/02/2020.

Geng, Y., Fu, J., Sarkis, J., e Xue, B. (2012). Towards a national circular economy indicator system in China: An evaluation and critical analysis. *Journal of Cleaner Production*, 23(1), 216–224. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.005>. Acesso em 05/04/2020. Acesso em 12/02/2020

Giannetti, B. F., Almeida, C. M. v. B., e Bonilla, S. H. (2007). A ecologia industrial dentro do contexto empresarial. *Banas Qualidade*. São Paulo. Disponível em http://www.advancesincleanerproduction.net/papers/journals/2007/2007_Banas_ecoindlemp.pdf. Acesso em 02/12/2019.

Hespanhol, I., Mierzwa, J. C., Rodrigues, L. D. B., e Silva, M. C. C. (2006). Manual de Conservação e Reúso da água na indústria. Disponível em <https://doi.org/>, ISBN:978-85-89629-61-4. Acesso em 05/02/2020.

Lima, A., Figueiredo, S., Abreu, T. (2019). Reutilização de efluentes tratados – aplicação a um caso de estudo da indústria alimentar. 8.º Seminário APRH-Núcleo Regional Norte: Reutilização de águas residuais tratadas na região Norte. Um desafio?, Esposende, 10 de Dezembro.

Lima, A., Abreu, T., Figueiredo, S. (2020). Reuse of Treated Effluents in a Food Processing Industry. Geoethics & Groundwater Management Congress (GEOETH&GWM'20), Porto, Portugal, 18-20 de maio.

Leitão, A. (2015). Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. *Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting*, 1(2), 149–171. Disponível em <http://u3isjournal.isvouga.pt/index.php/PJFMA/article/view/114/52>. Acesso em 05/10/2019

Lider Agronomia, 2012. Aguapé. Disponível em: <http://www.lideragronomia.com.br/2012/02/aguape.html>. Acesso em: 02/06/2020.

MANN, James G., LIU, Y.A. Industrial Water reuse and wastewater minimization. Department of Chemical Engineering, Virginia Polytechnic and State University, Blacksburg, Virginia. EUA, McGraw-Hill, 1999.

MARCONDES, D. A. S., TANAKA, R. H. Plantas aquáticas nos reservatórios das usinas hidrelétricas da CESP. CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21., 1997, Caxambu. Workshop de Plantas Aquáticas... Caxambu: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 1997. p. 2-4.

Mekonnen, M.M., Hoekstra A.Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances* 2 (2), e1500323-e1500323. doi: 10.1126/sciadv.1500323.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Monte, Helena Marecos; Albuquerque, António, (2010). Reutilização de águas residuais. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos; Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, 2010. ISBN: 978-989-8360-01-4.

Monte, Maria H. Marecos; Santos, M.T.Loureiro; Barreiros, A.M.; Albuquerque, A. (2016). Tratamento de Águas Residuais – Operações e Processos de Tratamento Físico e Químico. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos; Instituto Superior de Engenharia de Lisboa; Universidade da Beira Interior. Lisboa, 2016. ISBN: 978-989-8360-32-8.

Nações Unidas (2015). Até 2030 planeta pode enfrentar déficit de água de até 40%, alerta relatório da ONU. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/ate-2030-planeta-pode-enfrentar-deficit-de-agua-de-ate-40-alerta-relatorio-da-onu/>. Acesso em 05/05/2019

OLIVEIRA, Jessica Caroline Toledo; BRUZON, Gilcelene (2018). APLICAÇÃO DE AGUAPÉ PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES. XI Fórum Científico Fema, Brasil, 2018. Disponível em <https://cepein.femanet.com.br/BDigital/arqPics/1311430158P588.pdf>. Acesso em 05/05/2019.

ÖZCAN, A., OTURAN, M. A., OTURAN, N., SAHIN, Y. (2009). Removal of Acid Orange 7 from water by electrochemically generated Fenton's reagent. *Journal of Hazardous Materials*, 163, 1213–1220.

PORTUGAL (2017) “PLANO DE AÇÃO PARA ECONOMIA CIRCULAR – PAEC”. Ministério do Ambiente, Portugal. Disponível em: <https://www.portugal.gov.pt/download-ficheiros/ficheiro.aspx?v=71fc795e-90a7-48ab-acd8-e49cbbb83d1f>. Acesso em: 04/03/2020

POSEUR. (2018). Eixo III: Proteger o ambiente e promover a eficiência dos recursos. Disponível em <https://poseur.portugal2020.pt/pt/eixos-de-investimento/eixo-iii/>. Acesso em 15/11/2019.

POTT, V. J.; POTT, A. (2002). Potencial de uso de plantas aquáticas na despoluição da água. Embrapa Gado de Corte. Documentos, 133. Disponível em <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/325560>. Acesso em 27/04/2019.

Salmela, M. (2016). *Circular Economy Business Models - Case: UPM Plywood* (Dissertação de mestrado, Universidade de Lahti). Disponível em <http://www.theseus.fi/handle/10024/117719>. Acesso em 15/11/2019.

Sautchúk, C. A., Landi, F. D. N., Mierzwa, J. C., Vivacqua, M. C. R., Siva, M. C. C. da, Landi, P. D. N., e Schmidt, W. (2011). Conservação e reúso de água - Manual de orientações para setor industrial. Federação e Centro Das Indústrias Do Estado de São Paulo - Fiesp/Ciesp. São Paulo. Disponível em <http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/conservacao-ereuso-da-agua-2004/>. Acesso em 12/10/2019

SILICIANO, S. D.; GERMIDA, J. J. Enhanced phytoremediation of chlorobenzoates in rhizosphere soil. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.31, p. 299- 305, 1999.

Stanchev, P., Vasilaki, V., Dosta, J., e Katsou, E. (2017). Measuring the circular economy of water sector in the three-fold linkage of water, energy and materials. Disponível em: http://athens2017.uest.gr/images/selected_ATHENS2017_papers_for_DESALINATION_WATER_TREATMENT.pdf. Acesso em 30/04/2020.

Teixeira, Francisco J. C.; Pereira, Isabel M. B.; Costa, Rosária M. S. S.; Beleza, V. M. (2001). TRATAMENTO DE ÁGUA DE CALDEIRAS. IPP Instituto Politécnico do Porto. 2001/ 1ª edição/ Depósito Legal n° 165013/01. ISBN: 972-97783-7-x.

Teixeira, M. G., e César, S. F. (2005). Ecologia industrial e eco-design: requisitos para a determinação de materiais ecologicamente corretos. *Revista Design Em Foco*, II(1), 51–60. Disponível em <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66120105>. Acesso em 12/10/2019

UN Water (2017). *The United Nations World Water Development Report 2017: Wastewater the untapped resource*. Paris: UNESCO. Disponível em <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002471/247153e.pdf>. Acesso em 15/12/2019.

US International Trade Commission (2012). Projected increase in global annual water demand from 2005 to 2030, by region and sector (in billion cubic meters). Original source: [usitc.gov](http://www.usitc.gov), ID: 27866.

Wang, YP, Smith R (1994). Wastewater minimisation. *Chem Eng Sci*, 49(7): 981-1006

WBCSD. (2017). Business guide to circular water management: spotlight on reduce, reuse and recycle. Genebra: Scriptoria. Disponível em <http://www.wbcd.org/contentwbc/download/3437/44956>. Acesso em 02/02/2020.

World Water Council (2004). E-Conference Synthesis: Virtual Water Trade - Conscious Choices (No. 2). World Water Council 4th Water Forum. Marselha: World Water Council. Disponível em <http://www.worldwatercouncil.org/en/publications/e-conference-synthesis-virtual-watertrade-conscious-choices>. Acesso em 10/10/2019.

WWAP - World Water Assessment Program (2015). *The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World*. Paris, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Disponível em unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf. Acesso em 12/10/2019.

WWAP – World Water Assessment Program (2017). *The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource*. Paris, UNESCO

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

WWAP - World Water Assessment Programme. (2003). Water for People Water for Life: The United Nations World Water Development Report. Paris: Berghahn Book. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>. Acesso em 15/12/2019.

ANEXOS – FICHAS TÉCNICAS DO CONJUNTO MOTOR BOMBA

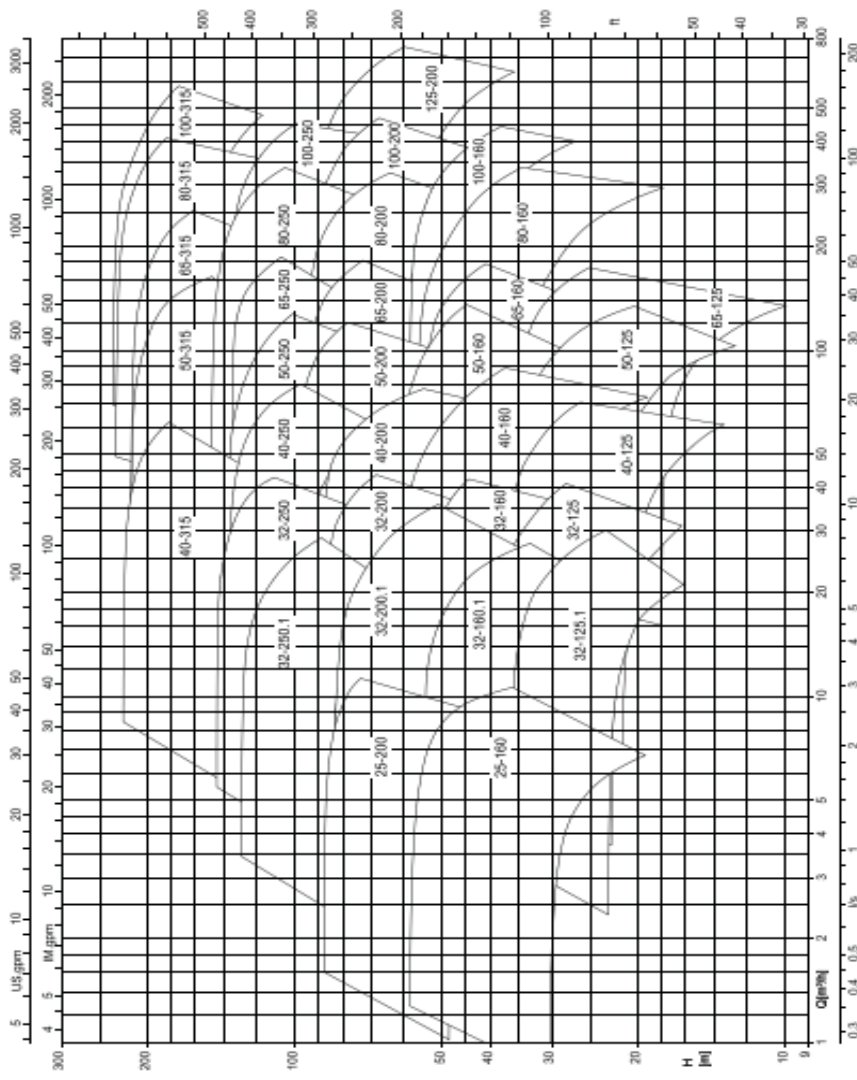
Mosaico de Utilização



Bombas centrífugas com vedação do eixo
Bomba padronizada para uso geral

Diagramas de características

Meganorm, $n = 3500 \text{ min}^{-1}$
 $n = 3500 \text{ min}^{-1}$

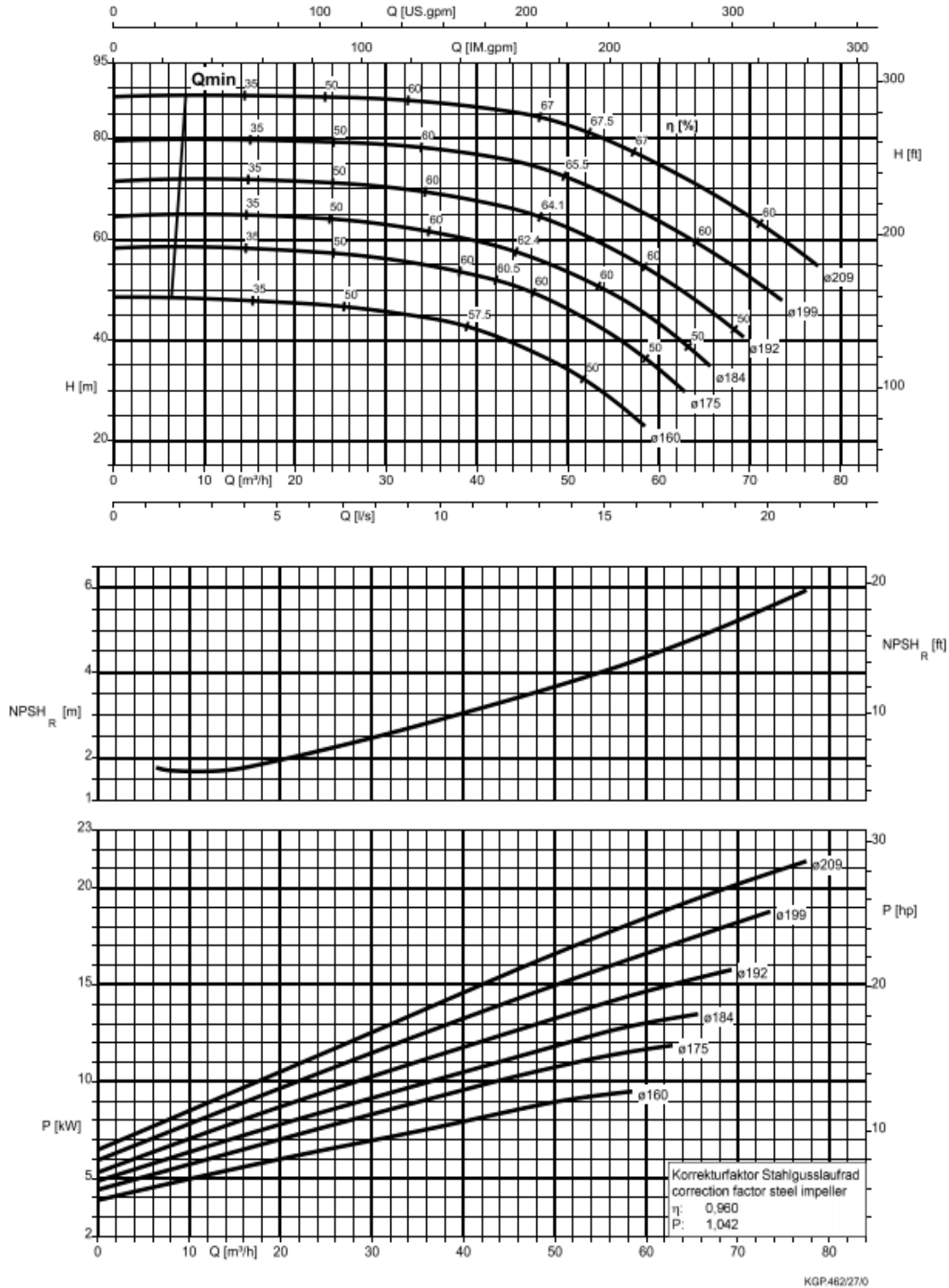


Curvas Características da bomba 40-200



Bombas centrífugas com vedação do eixo
Bomba padronizada para uso geral

Meganorm 065-040-200, n = 3.500 rpm



Curvas Características da bomba 50-250



Bombas centrífugas com vedação do eixo
Bomba padronizada para uso geral

Meganorm 080-050-250, n = 3.500 rpm

