



AVALIAÇÃO DE ROTAS PARA APROVEITAMENTO E CONSUMO DE ÁGUAS NA INDÚSTRIA DE COSMÉTICOS

Luis Guilherme Laino da Silva Pereira

Projeto Final de Curso

Orientadora

Prof^ª. Fabiana Valéria da Fonseca, *D. Sc.*

Agosto de 2018

AVALIAÇÃO DE ROTAS PARA APROVEITAMENTO E CONSUMO DE ÁGUAS NA INDÚSTRIA DE COSMÉTICOS

Luis Guilherme Laino da Silva Pereira

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Química.

Aprovado por:

Prof^a. Andrea Medeiros Salgado, *D. Sc.*

Eng^a. Aline Marques Ferreira, *M. Sc.*

Eng^a. Viviane Nascimento da Silva e Sá, *M. Sc.*

Orientado por:

Prof^a. Fabiana Valéria da Fonseca, *D. Sc.*

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Agosto de 2018

Ficha Catalográfica

Laino, Luis Guilherme.

Avaliação de rotas para aproveitamento e consumo de águas na indústria de cosméticos. / Luis Guilherme Laino da Silva Pereira. Rio de Janeiro:

UFRJ/EQ, 2018.

v, 35 p.; il

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2018.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Fabiana Valéria da Fonseca.

1. Aproveitamento de água. 2. Cosméticos. 3. Indústria. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Fabiana Valéria da Fonseca. I. Título

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau e bacharel em Engenharia Química.

AVALIAÇÃO DE ROTAS PARA APROVEITAMENTO E CONSUMO DE ÁGUAS NA INDÚSTRIA DE COSMÉTICOS

Luis Guilherme Laino da Silva Pereira

Agosto, 2018

Orientadora: Prof. Fabiana Valéria da Fonseca, Dr^a.

A indústria de cosméticos, perfumaria e produtos de higiene pessoal (HPPC) está presente no cotidiano de grande parte da população ao redor do mundo – hoje 95% dos brasileiros consideram os produtos dessa categoria como essenciais e indispensáveis. Essa constatação pode ser provada com a movimentação de 465 bilhões de dólares no mundo em 2017 pelo setor. O consumo de água nas indústrias chega ao nível 22% do consumo total de água no mundo, e em países da Europa e nos EUA, isto chega na marca de 50%. As indústrias necessitam de qualidades de águas diferentes dependendo do setor no qual se encontram e dos produtos que estão sendo desenvolvidos. Além do consumo de água, as indústrias geram efluentes que devem ser tratados de acordo com os grupos de poluentes que possuem e a necessidade da qualidade de água que é definido por lei. Nas últimas décadas, a legislação ambiental tem se tornado mais rigorosa com os padrões de lançamento de efluentes gerados nas indústrias, com o intuito de preservar o meio ambiente e a saúde humana. Sendo assim, os custos com o tratamento de efluentes têm aumentado gradativamente. Atualmente, existe a cobrança pelo consumo de água tratada pela companhia de abastecimento público ou pelo consumo de fontes de águas naturais por parte do departamento do governo responsável por regular os recursos hídricos. Sendo assim, a cobrança incentiva o uso consciente da água na indústria e a utilização de técnicas de reuso. No presente estudo, realizou-se um estudo de caso de uma fábrica de produtos HPPC situada no estado do Rio de Janeiro. A caracterização das águas de insumos utilizados em diferentes usos da fábrica e dos efluentes gerados foi realizada em laboratório. A partir da caracterização, quatro possibilidades de reuso ou reaproveitamento de águas e efluentes dentro da fábrica em estudo foram propostas e, com isso, foi avaliada a viabilidade técnica para implementação das mesmas. Para três das quatro propostas de modificação foram realizadas uma avaliação preliminar da economia que cada mudança poderia gerar para a fábrica. O estudo de caso possui um potencial de redução de consumo de 31.778,4 m³ de água por ano do abastecimento público (CEDAE) e uma avaliação preliminar de economia de R\$ 1.814.890,50 no primeiro ano de projeto.

ÍNDICE

Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 - Setor Industrial	1
1.2 - Tratamento de Água	8
1.3 - Tratamento de Efluentes	14
1.4 - Ambiental: processo de reuso e reutilização	18
Capítulo 2 - Objetivos	20
Capítulo 3 - Materiais e Métodos	21
3.1 - Unidade de estudo – Estudo de caso	21
3.2 - Caracterização do Efluente	22
3.3 - Mapeamento de vazão	22
3.4 - Reuso e Reutilização	23
3.5 - Estudo preliminar da economia em relação ao gasto e reuso de água	23
Capítulo 4 - Resultados e Discussão	24
4.1 - Vazões	25
4.2 - Caracterização da Água	26
4.3 - Reuso e Reutilização	26
4.3.1 - Utilização do Poço 4	26
4.3.2 - Utilização do rejeito da OI	27
4.3.3 - Reuso do Efluente do Decantador	28
4.3.4 - Água de Chuva	31
4.3.5 - Mapa de Reuso e Reutilização	32
Capítulo 5 - Estudo preliminar da economia em relação ao gasto e reuso da água	33
5.1 - Utilização do Poço 4	33
5.2 - Caldeira e Torre de Resfriamento	33
5.3 - Reuso do Efluente do Decantador	34
5.4 - Água de Chuva	34
Capítulo 6 - Conclusões e Sugestões	35
Referências Bibliográficas	36

1. Introdução

1.1. Setor industrial

Cosméticos, perfumaria e produtos de higiene pessoal (HPPC) são produtos que estão presentes no cotidiano de grande parte da população ao redor do mundo – hoje 95% dos brasileiros consideram os produtos dessa categoria como essenciais e indispensáveis. Essa constatação pode ser provada com a movimentação de 465 bilhões de dólares no mundo em 2017 pelo setor (ABIHPEC, 2018). O aumento do consumo de cosméticos e produtos para beleza pode ser justificado pela crescente popularidade de canais referentes ao assunto em mídias sociais como Instagram e YouTube, sendo muitos deles dedicados para ensinar a correta utilização e fornecer dicas para os expectadores, ajudando a criar uma demanda de produtos específicos (STATISTICS PORTAL, 2018).

O crescimento da produção mundial do setor de HPPC é consequência do crescimento do mercado de beleza na Ásia e no Pacífico, que tem projeção de crescimento de 14,9 bilhões de dólares de vendas até 2021 (STATISTICS PORTAL, 2018). Em 2013, o mercado consumidor de produtos de cosméticos era dominado pela Europa, com a Alemanha como país que liderava o consumo (MARKETS AND MARKETS, 2018). O ranking dos países com maior consumo de produtos de HPPC em 2017 está na tabela a seguir (ABIHPEC, 2018).

Tabela 1: Lista 10 países com maior consumo em HPPC em bilhões de US\$ e sua participação mundial.

Fonte: ABIHPEC, 2018

País	Consumo (US\$ Bilhões)	Participação Mundial (%)
Estados Unidos	86,1	18,5
China	53,5	11,5
Japão	36,1	7,8
Brasil	32,1	6,9
Alemanha	18,6	4,0
Reino Unido	16,4	3,5
França	14,5	3,1
Índia	13,6	2,9
Coreia do Sul	12,6	2,7
Itália	11,2	2,4

O setor de HPPC se divide em subcategorias. Uma proposta de divisão de categorias está demonstrada a seguir (MARKETS AND MARKETS, 2018):

- produtos de cuidado com a pele, em inglês *Skin Care Products*, que são produtos que ajudam na integridade, melhoram a aparência e aliviam as condições da pele;
- cosméticos de coloração, em inglês *Hair Color Products*, que são produtos que são utilizados para colorir os cabelos e pelos;
- produtos capilares, em inglês, *Hair Care Products*, que são produtos cosméticos usados para o cuidado, higiene e tratamento dos cabelos e pelos;
- fragrâncias e desodorantes, em inglês *Fragrance and Deodorants*, que são os produtos utilizados para prevenir odor corporal, prevenir transpiração e perfumar;
- produtos de proteção contra o Sol, em inglês *Sun Care Products*, que são produtos utilizados para proteção da pele contra os raios solares. Esta categoria inclui além de protetores solares, cosméticos e maquiagens que possuam fator de proteção contra o Sol;
- sabão e produtos para banho, em inglês *Soaps, Bath & Shower Products*, que são produtos utilizados para higiene pessoal durante banho. Nesta categoria encontram-se os esfoliantes, sabões sólidos e líquidos, sais de banhos, fragrâncias e óleos de banho;
- produtos de higiene bucal, em inglês *Oral Hygiene Products* ou *Oral Care Products*, que são produtos utilizados para manter a higiene da boca, prevenir doenças e outras condições, como mau hálito. Esta categoria inclui escova de dentes, creme dental, fio dental e enxaguante bucal;
- produtos de higiene pessoal, em inglês *Personal hygiene products*, que são produtos utilizados para higiene, prevenção de doenças e sensação de bem-estar. Alguns exemplos são a haste flexível de plástico com algodões em suas pontas e papel higiênico;
- outros produtos, onde estão incluídos os produtos de cuidado com o bebê, produtos de cuidado feminino, produtos de depilação, entre outros;

As subcategorias que representaram a maior parte do mercado mundial em 2016 foram: 1) produtos de cuidado com a pele - 36% do mercado global; 2) produtos para cuidado com os cabelos - 23% do mercado global; 3) outros: produtos de maquiagem - 18,2% do mercado mundial (STATISTICS PORTAL, 2018). O sucesso em vendas da maioria dos produtos do setor de HPPC tem como fatores determinantes a inovação e o

avanço tecnológico (MARKETS AND MARKETS, 2018). Com isso, é esperado que as empresas realizem os investimentos em pesquisa e desenvolvimento baseado no tamanho do mercado consumidor e, conseqüentemente, com a representatividade da possibilidade de lucro da descoberta de novas tecnologias e novos produtos de cada subcategoria.

A análise do mercado consumidor de produtos de HPPC por geografia está representada na Figura 1 a seguir.

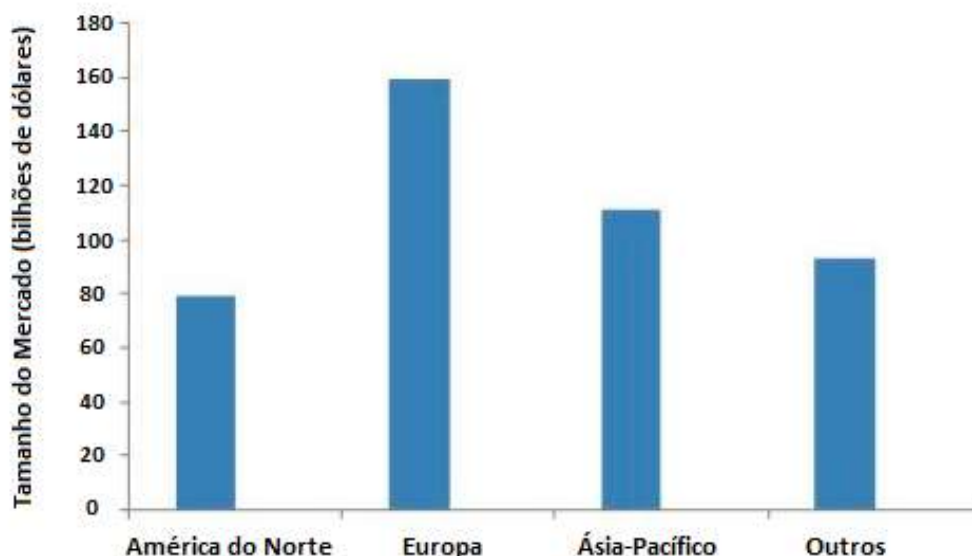


Figura 1: Tamanho do mercado consumidor por região em 2016. Fonte: Markets and Markets (2018)

Legenda: Outros - Restante do Mundo

A projeção para o crescimento do mercado é de 6,3% ao ano, com a Europa sendo a região que continua liderando com o maior mercado consumidor. Além disso, é esperado um crescimento acelerado nos mercados emergentes, isso inclui a Ásia-Pacífico e o restante do mundo. Entretanto, é esperado que o crescimento do consumo da Ásia-Pacífico seja o maior crescimento entre as quatro regiões. Este crescimento previsto é explicado pelos seguintes fatores: mudança de visão, na qual os consumidores acreditam que os cosméticos são essenciais na vida cotidiana; crescimento econômico, através do qual os países emergentes possuem maior renda e, conseqüentemente, podem gastar mais com os produtos do setor de HPPC; novos avanços tecnológicos, que é um dos fatores determinantes para o mercado desse segmento; e mudanças nas tendências da moda (MARKETS AND MARKETS, 2018).

A produção do setor de HPPC está concentrada em empresas multinacionais. A classificação das 10 maiores empresas do setor, baseado em valor de vendas total, é mostrado na ordenação a seguir de 2016 (WWD, 2018):

- 1) L'Oréal (França/Varejo) - US\$ 28,6 bilhões
- 2) Unilever (Inglaterra/Varejo) - US\$ 20,52 bilhões
- 3) Procter & Gamble (EUA/Varejo) - US\$15,4 bilhões
- 4) Estée Lauder (EUA/Varejo) - US\$ 11,4 bilhões
- 5) Shiseido (Japão/Varejo) - US\$ 7,69 bilhões
- 6) Beiersdorf (Alemanha/Varejo) - US\$ 5,93 bilhões
- 7) Pacific Amore (Coréia do Sul/Varejo) - US\$ 5,58 bilhão
- 8) Kao (Japão/Varejo) - US\$ 5,53 bilhões
- 9) LVMH (França/Varejo) - US\$ 5,48 bilhões
- 10) Coty (EUA/Varejo) - US\$ 5,4 bilhões

Em 2016, a L'Oréal lucrou 28,6 bilhões de dólares, fazendo com que a empresa liderasse o setor. Além disso, a empresa também lidera o registro de patentes do setor, com 314 patentes registradas apenas em 2015 (STATISTICS PORTAL, 2018).

As principais empresas possuem estratégia similar de desenvolvimento e crescimento: lançamentos de novos produtos, aquisições de novas empresas e fusões entre empresas para aumentar a presença globalmente e melhorar o portfólio de produtos fornecidos para os consumidores (MARKETS AND MARKETS, 2018). A primeira empresa brasileira a aparecer no ranking mundial é a Natura, com US\$ 1,61 bilhões de vendas em 2016 (NATURA, 2018). As empresas Grupo Boticário e Hypermarchas também estão no ranking das 100 maiores empresas do setor em valor de vendas.

O Brasil, conforme citado anteriormente, ocupou em 2017 a quarta posição mundial em consumo de produtos de HPPC, o que equivale a 6,9% do consumo total, mesmo a população brasileira representando 2,8% da população mundial, o que é um indício da importância desses produtos para a população. Além do consumo interno de produtos, um total de 95 empresas participantes do setor de HPPC – incluindo produtos acabados, insumos da cadeia produtiva e acessórios do segmento – exportaram produtos, somando a quantia de 98,3 milhões de dólares, destinados a um total de 102 países diferentes (ABIHPEC, 2018). Estes valores demonstram a importância do Brasil como potência em produção desse segmento para o mundo e não apenas mercado consumidor

interno. Nas Tabelas 2 e 3 a seguir podem ser observados os 15 países que mais importam os produtos de HPPC do Brasil e os que mais exportam os produtos de HPPC para o Brasil (ABIHPEC, 2018). Algumas conclusões importantes em relação aos dados apresentados: 1) a Argentina é o maior parceiro do Brasil em relação ao setor de HPPC; 2) os países da América Latina e Mercosul possuem alta demanda de exportação dos produtos brasileiros; 3) países como China, Índia e Malásia são fundamentais para o setor no Brasil por serem produtores de matéria-prima e produto não acabado.

Tabela 2: Os 10 países que mais importam para o Brasil produtos de HPPC, sua variação entre 2016 e 2017 e sua representatividade em relação ao ano de 2017. Fonte: ABIHPEC, 2018

TOP TEN IMPORTAÇÕES BRASILEIRAS HPPC				
Acumulado janeiro a dezembro (FOB - US\$ milhões)				
Descrição do País	2016	2017	% Variação	Representatividade
1 Argentina	147,0	118,4	-19,5%	15,7%
2 Estados Unidos	103,7	113,8	9,8%	15,1%
3 França	75,7	112,2	48,3%	14,9%
4 China	74,8	88,2	17,9%	11,7%
5 México	47,6	63,7	33,8%	8,5%
6 Espanha	27,3	42,1	54,5%	5,6%
7 Alemanha	25,5	22,3	-12,3%	3,0%
8 Índia	11,4	20,6	80,2%	2,7%
9 Itália	12,6	18,1	44,0%	2,4%
10 Canadá	18,6	17,0	-8,3%	2,3%
11 Colômbia	10,7	13,6	27,1%	1,8%
12 Suíça	9,7	13,1	35,1%	1,7%
13 Reino Unido	8,9	11,8	33,2%	1,6%
14 Malásia	11,3	7,9	-29,9%	1,1%
15 Chile	5,7	6,8	18,7%	0,9%
Outros	75,4	83,0	10,2%	11,0%
Total Importações	666	753	13,1%	100,0%

Tabela 3: Os 15 países que mais exportam do Brasil produtos de HPPC, sua variação entre 2016 e 2017 e sua representatividade em relação ao ano de 2017. Fonte: ABIHPEC, 2018

TOP 15 EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS HPPC				
Acumulado janeiro a dezembro (FOB - US\$ milhões)				
Descrição do País	2016	2017	% Variação	Representatividade
1 Argentina	146,8	153,6	4,7%	23,8%
2 Colômbia	64,2	69,5	8,1%	10,8%
3 México	63,3	66,9	5,7%	10,4%
4 Chile	64,7	60,2	-6,9%	9,3%
5 Paraguai	50,2	49,9	-0,7%	7,7%
6 Peru	39,4	45,8	16,4%	7,1%
7 Uruguai	26,6	29,2	9,8%	4,5%
8 Bolívia	25,1	26,8	6,8%	4,1%
9 Equador	10,1	18,0	78,7%	2,8%
10 Estados Unidos	18,7	14,3	-23,8%	2,2%
11 Portugal	8,6	12,8	48,9%	2,0%
12 Venezuela	11,1	7,8	-29,6%	1,2%
13 Cuba	4,2	6,7	57,8%	1,0%
14 Angola	2,7	6,1	127,0%	0,9%
15 Costa Rica	6,1	5,8	-4,6%	0,9%
Outros	76,0	72,3	-4,9%	11,2%
TOTAL EXPORTAÇÃO	618	646	4,5%	100,0

O setor de HPPC em 2017 teve um crescimento real de 2,75% líquido de impostos sobre vendas, como pode ser observado na Figura 2, a seguir (ABIHPEC, 2018). A associação acredita que o crescimento foi impulsionado por cinco fatores: crescente participação da mulher no mercado de trabalho, aumento da expectativa de vida, lançamento constante de produtos – como explicado anteriormente –, visão do consumidor voltada para o cuidado com a saúde e bem-estar, e intensificação do consumo de produtos de HPPC por parte da população masculina.

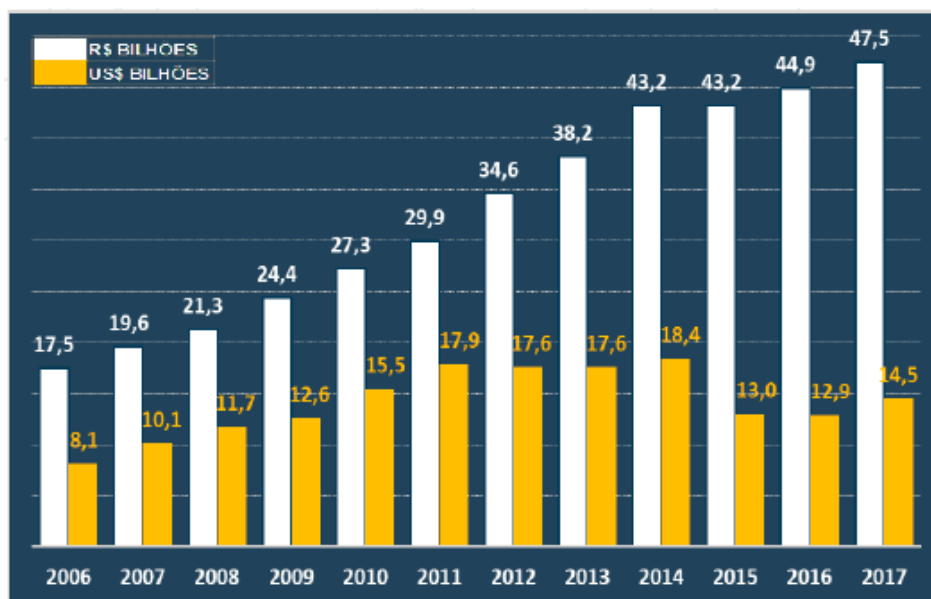


Figura 2: Total de vendas do setor de HPPC em bilhões de reais e de dólares entre os anos de 2006 e 2017

Fonte: ABIHPEC, 2018

A Tabela 4 a seguir apresenta a variação anual do PIB, o crescimento da indústria em geral e do setor de HPPC nos últimos 10 anos (ABIHPEC, 2018). O setor apresentou queda por dois anos consecutivos, 2015 e 2016, provavelmente causado pela crise econômica brasileira. Entretanto, o crescimento maior que a média observado até 2014 causa, no período de 10 anos observado, uma média de crescimento maior que a da indústria em geral.

Tabela 4: Variação do PIB, do setor industrial em geral e do setor de HPPC deflacionado durante os anos de 2008 a 2017 e a média referente a esse período. Fonte: ABIHPEC, 2018

VARIÇÃO ANUAL (%)			
ANO	PIB	INDÚSTRIA GERAL	SETOR DEFLACIONADO
2008	5,2	3,1	5,5
2009	-0,3	-7,4	9,6
2010	7,5	10,5	10,5
2011	2,7	0,4	6,3
2012	0,9	-2,5	8,8
2013	2,3	1,2	5,3
2014	0,1	-1,2	7,0
2015	-3,8	-8,3	-9,3
2016	-3,6	-6,6	-6,3
2017	1,0	0,2	2,8
Médio Composto últimos 10 anos	1,1	-1,2	3,8

1.2. Tratamento de Água

Atualmente, o consumo de água nas indústrias chega ao nível de 22% do consumo total de água no mundo, e em países da Europa e nos EUA, isto chega na marca de 50% (JANA et al., 2018). As indústrias necessitam de qualidades de águas diferentes dependendo do setor no qual se encontram e dos produtos que estão sendo desenvolvidos. Sendo assim, os tratamentos utilizados para a água visam produzir o insumo ideal para o processo, isto é, água com os padrões de qualidade adequados (HOSLETT et al., 2018). Existem diferentes métodos – utilizados para tratar grupos de poluentes específicos – que podem ser utilizados nos processos de tratamento de Estação de Tratamento de Água (ETA) e de Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), alguns desses processos são triagem grossa e fina, sedimentação, coagulação e floculação, filtração e desinfecção (YANG et al., 2017). Nos próximos parágrafos, os métodos serão citados mais detalhadamente.

O Filtro Lento de Areia é um método que vem sendo utilizado por mais de 150 anos, por ser um método simples e fácil de operar. À medida que a água passa através da areia, sólidos, micro-organismos e metais pesados – por exemplo Cobre (Cu) e Cromo (Cr) – são removidos. Durante a filtração, ocorre a formação de uma camada bacteriana que serve para combater possíveis micro-organismos presentes na água (BRUNI; SPUHLER, 2012; BLAND et al., 2008; MUHAMMAD, 1998). Embora tenha os benefícios citados, o método é que requer grandes áreas e a vazão de tratamento é lenta. Por isso, não é um método usual na indústria (HUSIMAN; BRUNI, 1974; HOSLETT et al., 2018). A Figura 3 a seguir apresenta o esquema do processo de filtro lento de areia.

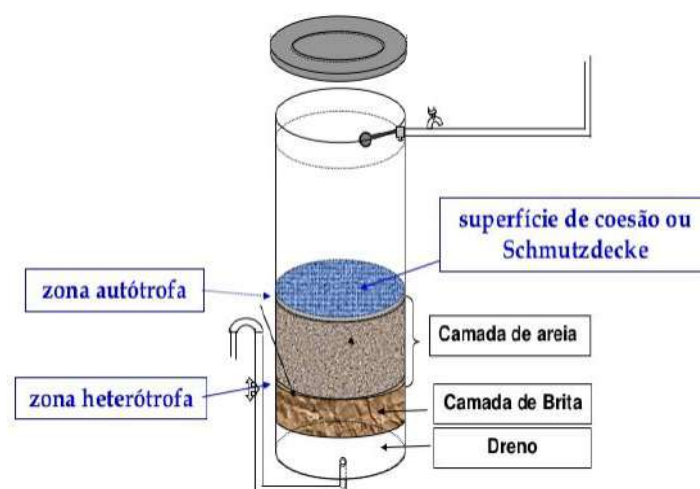


Figura 3: Esquema do processo de filtro lento de areia. Fonte: SlideShare

O Filtro Rápido de Areia é um processo apenas físico – não apresenta formação de biofilme de bactérias –, diferente do método anterior. Sendo assim, é um excelente método para remover sólidos suspensos (BRUNI; SPUHLER, 2018). Os Filtros Rápidos de Areia necessitam de retrolavagem para a etapa de regeneração (HAN et al., 2009) e possibilidade de trocas periódicas caso exista deterioração causada pelo tempo (MARÍN, 1992). A filtração de areia tem a capacidade de remover metais pesados apenas quando a areia está ativada com outros compostos, como por exemplo óxido de ferro ou manganês, ou polianilina (HUANGFU et al., 2017; SMITH et al., 2017; EISAZADEH et al., 2013). A Figura 4 a seguir apresenta o esquema do processo de filtro rápido de areia.

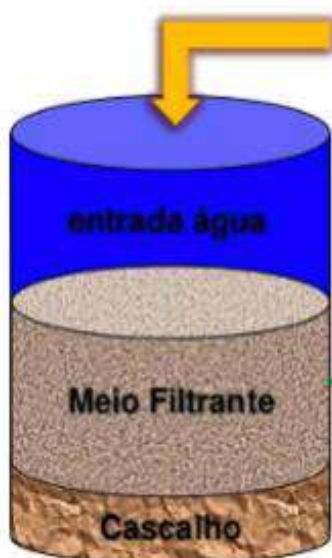


Figura 4: Esquema do processo de filtro rápido de areia. Fonte: SlideShare

Os Filtros de Carvão Ativado podem ser fabricados a partir de uma variedade de materiais, como por exemplo a casca de coco (ARENA et al., 2016), e possuem diferentes características, como número de poros e área superficial (DE SILVA, 2000). O carvão ativado é usado geralmente para adsorver compostos orgânicos que podem gerar cor, sabor e odor para a água. A eficiência do método depende da qualidade do carvão ativado, tipo de poluente e concentração. Alguns filtros de carvão ativado podem remover metais pesados (KARELID et al, 2017; KATSIKIANNIS et al, 2015). Outro método para remover metais pesados que pode ser considerado é o tratamento com ácido nítrico (HNO_3) ou ácido fosfórico (H_3PO_4) (HOSLETT et al., 2018). A Figura 5 a seguir apresenta o esquema do processo de filtro de carvão ativado e de adsorção em poro de carvão ativado.

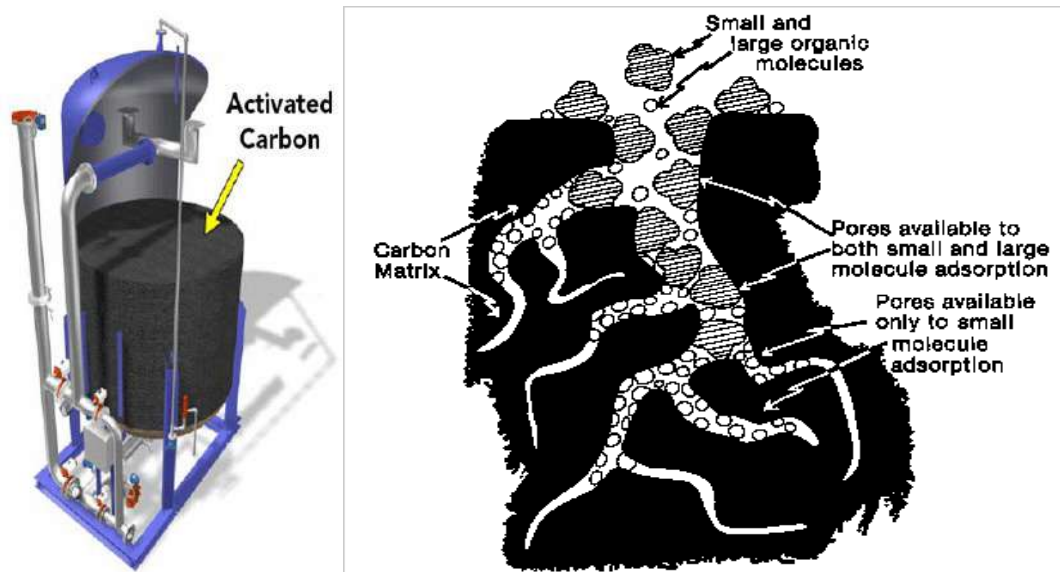


Figura 5: Esquema do processo de filtro de carvão ativado a esquerda. Fonte: WaterProfessional Esquema de adsorção de partículas em um poro de carvão ativado a direita. Fonte: SteviaTechnology

Diferente da filtração por meio granular – filtro de areia e de carvão – que o líquido percola entre as partículas do meio filtrante, a filtração por membrana ocorre através de uma única camada de material, a membrana, no qual o líquido e parte dos sólidos solúveis e suspensos podem passar. As filtrações por membrana são divididas pelo tamanho dos poros: microfiltração (MF), de 0,5 a 5 μm ; ultrafiltração (UF), de 0,005 a 0,5 μm ; nanofiltração (NF), de 0,0007 a 0,005 μm ; e osmose inversa (OI), que remove qualquer contaminante maior que uma molécula de água (ENGINEERING GP, 2012). As membranas podem ser fabricadas de fibras de tecidos (CHOLLOM et al., 2017), cerâmicas (MOUIYA et al., 2018), materiais poliméricos ou metálicos (WASZAK; GRYTA, 2016), podendo ser modificadas para melhorar o desempenho na remoção de contaminantes e em características específicas, como durabilidade. Outras características durante os processos de filtração podem ser alteradas para aumentar a eficiência de remoção, como por exemplo, o aumento do pH de uma solução de 4 para 10 ou a diminuição da condutividade da solução, que resultam em um efeito positivo na remoção de arsenatos, arsenitos, cromatos e percloratos (YOON et al., 2009). A Figura 6 a seguir apresenta o esquema da diferença entre filtração por meio granular e filtração por membrana.

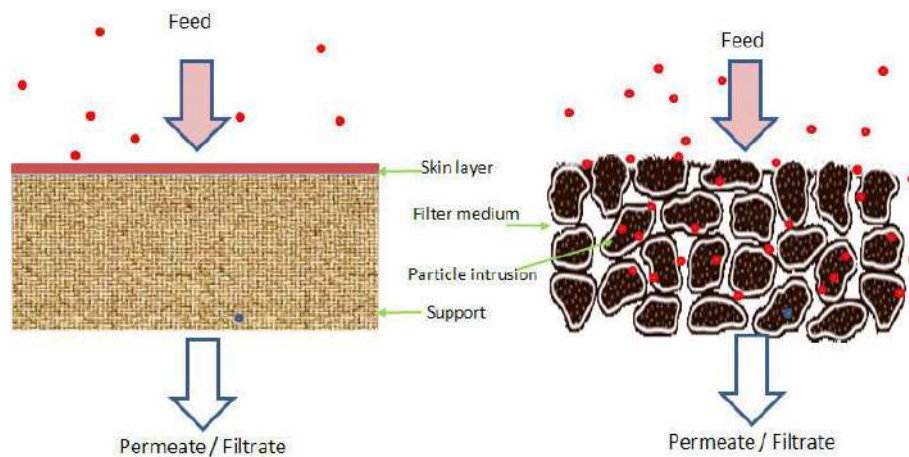


Figura 6: Esquema da diferença entre filtração por meio granular e filtração por membrana. Fonte: OnlineMBR

A MF não remove partículas tão pequenas quanto a UF e a NF. Entretanto, pode ser eficiente na eliminação de algumas bactérias, dependendo do tamanho do poro e das bactérias (CHOLLOM et al., 2017). Comumente, MF e UF são utilizadas como pré-tratamento para os processos de NF e OI (GWENAELLE et al., 2017), reduzindo assim a possibilidade de incrustação (JAMALY et al., 2014). A maior vantagem do uso da MF e da NF é a capacidade remover matéria orgânica (SURESH et al., 2016). No entanto, não existem relatos de remoção de metais pesados nos estudos, reforçando a ideia de que a MF e a UF podem ser utilizadas como pré-tratamento para os processos de NF ou OI. Uma das desvantagens do método é a necessidade de realizar a retrolavagem para retirar os materiais que se acumulam nas membranas (GWENAELLE et al., 2017). A Figura 7 a seguir apresenta o esquema representativo da diferença peneira, filtro de areia, MF e UF.

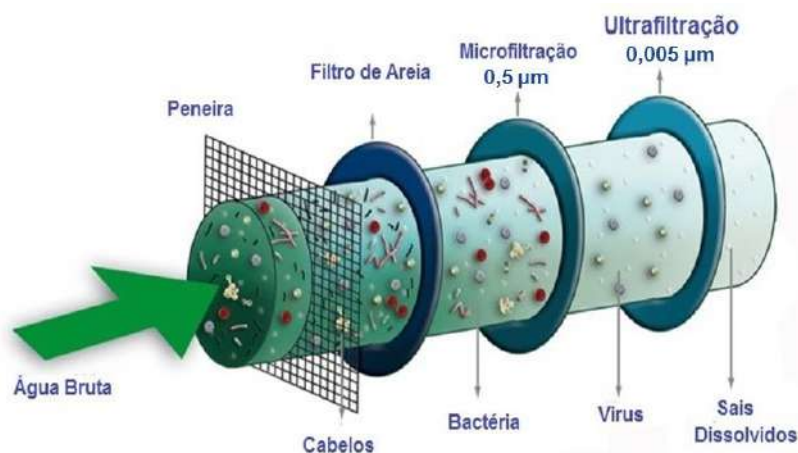


Figura 7: Esquema representativo da diferença peneira, filtro de areia, MF e UF. Fonte: NaturalTec

A NF é capaz de remover solutos que se encontram entre a capacidade de remoção de contaminante da UF e da OI (SUTHERLAND, 2009). Sendo assim, a NF tem a tendência de acumular impurezas e contaminantes rapidamente. Por isso, se faz necessária a utilização de pré-tratamentos para aumentar o tempo de operação sem necessidade de limpeza. Alguns pré-tratamentos que podem ser utilizados são coagulação e MF (SAMCO, 2017). A NF é mais econômica do que a OI pois necessita de uma menor pressão transmembrana para um mesmo fluxo de permeado. Contudo, a NF é menos efetiva em remover íons presentes na água (YORGUN et al., 2008).

A OI é um processo de separação que consiste em remover íons da água, através de aplicação de pressão hidráulica suficiente para superar a pressão osmótica, gerando assim água com baixa concentração de íons, conforme esquematizado na Figura 8. O processo tem um alto custo, pela necessidade de consumo energético para geração da pressão hidráulica, que é mais alta entre os processos de filtração com membrana. Assim como a NF, a água que passa pelo processo de OI necessita de pré-tratamento, com o intuito de remover bactérias, vírus e moléculas orgânicas que podem causar incrustação para as membranas (BLANCO-MARIGORTA et al., 2017). O desempenho da OI depende de fatores como concentração inicial de sal, temperatura e diferença entre pressão hidráulica e pressão osmótica. Tais fatores afetam a quantidade de rejeito – concentrado iônico – e a qualidade da água produzida pela OI (SHAABAN; YAHYA, 2017). Um dos processos utilizados para aumentar a eficiência da OI e diminuir o gasto energético é incluir uma Osmose Direta, em inglês, *Forward Osmosis*, que é responsável por realizar a primeira etapa de separação de contaminantes e a água, seguida do processo de OI (BARTHOLOMEW et al., 2017). Em geral, as membranas que são utilizadas em OI são feitas de poliamidas e são suscetíveis a ser danificadas por contato com cloro que possa estar presente no meio. Sendo assim, não se deve utilizar a OI após desinfecção com cloro, e deve ser realizada remoção do cloro caso este esteja presente na corrente aquosa (HYDRANAUTICS, 2001). Também é possível utilizar membranas com maior tolerância ao cloro, como por exemplo as membranas de acetato de celulose. Por último, apesar de alta eficiência de redução de concentração de poluentes, a remoção completa de um poluente em específico nem sempre é possível (BI et al., 2016).

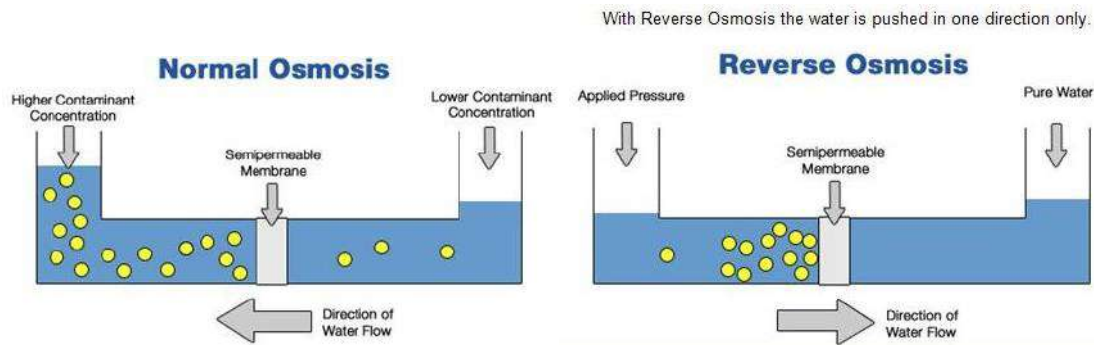


Figura 8: Esquema do processo de osmose normal e osmose inversa. Fonte: Water Filter Man

Outro importante método de remoção de íons é o processo de troca iônica através da utilização de resina, polímero ou zeólita. Esses materiais são altamente porosos e possuem cavidades e canais que os tornam adsorventes de alta eficiência para alguns íons. A troca iônica ocorre baseado na concentração de íons em solução e da seletividade dos poros, que por sua vez depende da estrutura tridimensional e da carga dos poros (LI et al., 2019). Comercialmente, os equipamentos de troca iônica específicos para remover a dureza da água – íon Cálcio e Magnésio – são conhecidos como abrandadores. O funcionamento deles ocorre com a saturação dos poros da resina com íons Sódio através de uma solução saturada de Cloreto de Sódio, pois, em seguida, a resina apresenta capacidade de realizar a troca, visto que a seletividade dessas resinas é maior para os íons Cálcio e Magnésio. A Figura 9 a seguir apresenta o esquema representativo do processo de troca iônica de um abrandador.

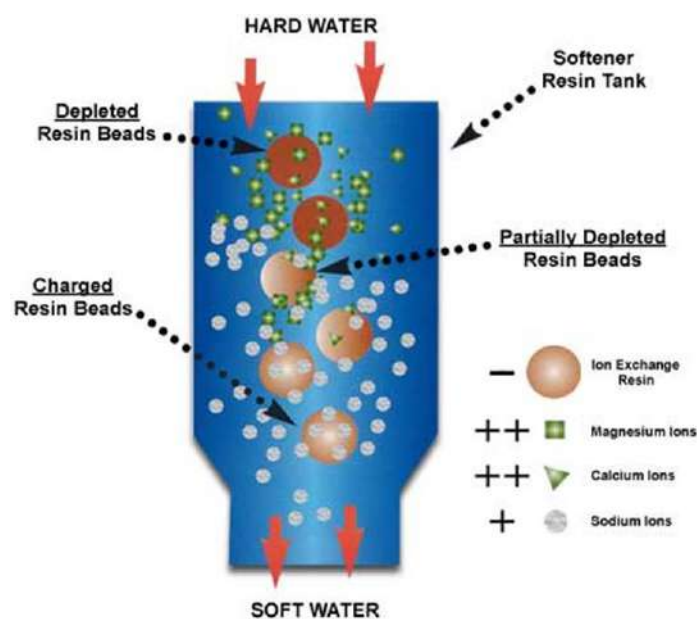


Figura 9: Esquema representativo do processo de troca iônica de um abrandador. Fonte: GlobalSpec

Por último, o processo de desinfecção é utilizado para águas ou efluentes que possuem micro-organismos – bactérias, vírus, protozoários entre outros – e necessitam de eliminação dos mesmos. O método de desinfecção ocorre a partir da adição de cloro livre ou outros agentes oxidantes em forma gasosa, líquida ou em pó. A desinfecção utilizando o cloro como agente desinfetante é uma técnica que é utilizada por mais de um século e já se mostrou robusta e eficiente (GITIS; HANKINS, 2018). O problema da utilização do cloro na desinfecção de água é a possibilidade de formação de compostos orgânicos clorados, caso exista presença de matéria orgânica (LIANG; SINGER, 2003). Esses compostos clorados podem causar câncer, (KOMULAINEN, 20014), sendo necessário, portanto, utilizar concentrações que evitem formação desses compostos. Com isso, o método pode ser menos eficiente para desinfecção de alguns patógenos específicos (BULL et al., 1990; CLARK et al., 1994).

1.3. Tratamento de Efluentes

Como explicado no tópico anterior, os métodos de tratamento são utilizados para tratar grupos de poluentes, de acordo com a necessidade da qualidade de água que se deseja obter. O projeto de uma ETE visa tratar os efluentes gerados em uma indústria para adequar aos limites exigidos pela legislação vigente no local onde a indústria está instalada. Alguns dos métodos utilizados em ETE são triagem grossa e fina, sedimentação, coagulação e floculação, filtração e desinfecção (YANG et al., 2017). O princípio de operação de alguns destes métodos foram explicados no tópico anterior.

O processo de coagulação e floculação é utilizado para remover coloides presentes em suspensão, bem como alguns íons (SILLANPAA et al., 2018; EBELING et al., 2003). A coagulação é um método químico, isto é, baseado na adição de produtos químicos no efluente. Após a adição do agente coagulante, submete-se a solução a cisalhamento hidrodinâmico, que gera a aglomeração de partículas – coloidais e macromoléculas – presentes no efluente (GHOSH et al., 1994; SHIN et al., 2008). O processo de floculação consiste na união dos coágulos formados na etapa anterior e, com isso, formação dos flocos na solução. Esta parte do processo pode ser realizada com adição de algum agente químico, geralmente um polímero, que auxilia na formação dos flocos. Em seguida, o processo pode ser seguido de uma sedimentação, caso os flocos formados sejam grandes e densos, ou uma flotação por ar dissolvido, caso os flocos não sejam suscetíveis à

decantação natural ou necessite ser realizado a separação com uma rapidez maior que ocorre a decantação natural. Partículas menores e menos densas ou partículas que não são floculadas devem ser removidas por algum método de filtração, como os explicados anteriormente (YAO et al., 1971). A Figura 10 a seguir apresenta o esquema do processo de coagulação e floculação.

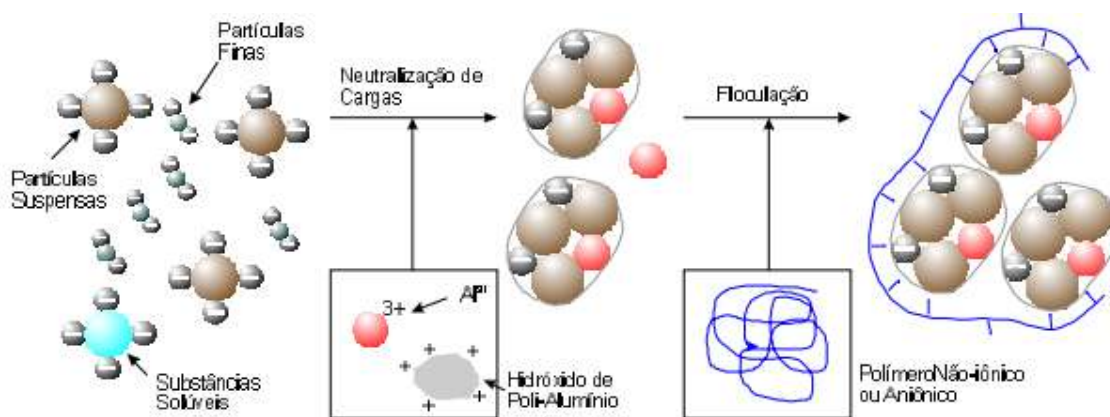


Figura 10: Esquema do processo de coagulação e floculação. Fonte: Kurita

Os tratamentos biológicos têm sido utilizados no tratamento de efluentes industriais, pela capacidade de reduzir matéria orgânica, nutrientes, metais e contaminantes orgânicos que estão presentes (TCHOBANOGLOUS et al. 2014). Alguns tratamentos biológicos podem ser utilizados para poluentes específicos, como por exemplo remover arsênio de águas subterrâneas (CAMARILLO; STRINGFELLOW, 2018). Nos próximos parágrafos, alguns métodos biológicos serão explicados.

O tratamento com leito fixo é um dos tratamentos mais utilizados e uma de suas vantagens é sua resistência às condições extremas e choques de cargas do efluente comparado aos outros tratamentos biológicos (GAVRILESCU; MACOVEANU, 2000). A configuração mais utilizada é a de leito fixo com meio compactado, podendo ser aeróbicos – com inserção de ar comprimido no sistema – ou anaeróbicos. O tratamento com reator anaeróbico de leito fixo com fluxo ascendente tem maior eficiência de remoção de compostos aromáticos do que o reator anaeróbico de batelada (GHORBANIAN et al., 2014). A taxa de carga orgânica que esse método pode receber varia entre $0,14 \text{ kg DQO} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ (GUO et al., 2014) a $4,21 \text{ kg DQO} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ (DONG et al., 2011) e as taxas de remoção de DQO variam entre 60% e 80%, desde que os parâmetros operacionais definidos do projeto sejam adequados, como, por exemplo, a retenção

hidráulica. Em geral, o tempo de retenção hidráulica varia entre 4 e 48 horas. Além disso, o tratamento também possui capacidade de remover amônia e sulfetos (GUO et al., 2014).

O tratamento utilizando biorreatores com membrana é um método biológico que não necessita de decantação, pois as membranas também são utilizadas para separar os sólidos presentes (TCHOBANOGLIOUS et al. 2014). A remoção de DQO é maior do que 80% em estudos, mesmo possuindo diferentes parâmetros de controle (CAMARILLO; STRINGFELLOW, 2018). Isto indica que o método, além de possuir boa tratabilidade, é capaz de se adaptar ao processo que está sendo utilizado. A remoção de DQO é alta mesmo na presença de surfactantes (SCHOLZY; FUCHS, 2000). Tipicamente, o tempo de retenção hidráulico varia entre 6 e 96 horas (PENDASHTEH et al., 2012) e o tempo de retenção de sólidos variam entre 30 a 100 dias. Os fluxos relatados variam entre 2,2 L.m⁻².h⁻¹ a 10 L.m⁻².h⁻¹, entretanto alguns estudos utilizam vazões fora desta faixa (CAMARILLO; STRINGFELLOW, 2018). A Figura 11 a seguir apresenta o esquema do processo de biorreator com membrana.

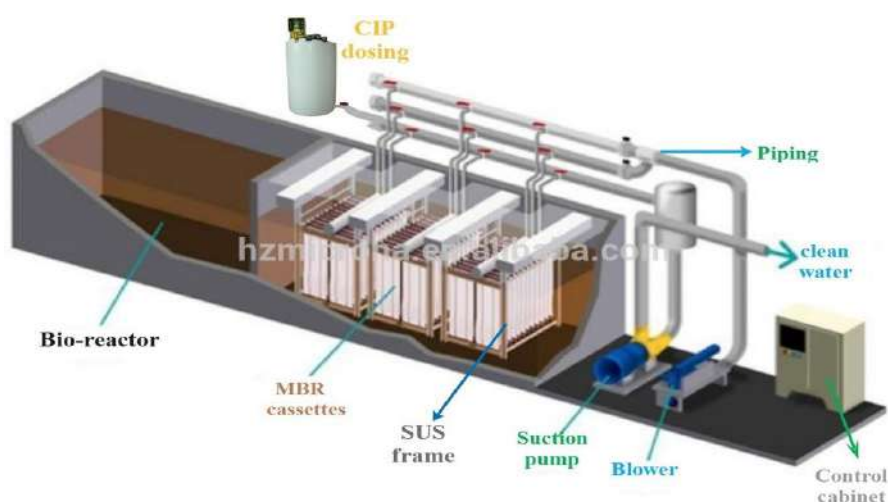


Figura 11: Esquema do processo de biorreator com membrana. Fonte: Alibaba

Tratamentos em lagoas são utilizadas e sua principal vantagem é o baixo custo de operação e manutenção, mantendo uma redução de DQO razoável – maior que 70%. O tratamento em lagoas é capaz de reduzir a concentração de óleos e graxas, ferro, manganês, níquel e zinco (PARDUE et al., 2014). É importante observar que a remoção de alguns contaminantes está relacionada com a profundidade do lago. Por exemplo, o aumento da profundidade da água aumenta a remoção de metais como cádmio, cobre, níquel e zinco, mas diminui a remoção de contaminantes traços, como 1,2-benzofluorenona e 1-metilciclopentanol (ALLEY et al., 2013). O tratamento em lagoa é

capaz de reduzir a concentração de nitrogênio no efluente (JI et al. ,2007) e tornar a águas com qualidade suficiente para utilizar para consumo por gado (HORNER et al. ,2012).

O tratamento utilizando lodo ativado é uma tecnologia madura e promove remoção de DQO maior que 82%, além de nitrato, fosfato e de outros contaminantes (CAMARILLO; STRINGFELLOW, 2018). Uma opção que vem sendo estudada é a utilização de lodo ativado em reatores em batelada, sendo possível reduzir o espaço e o custo de manutenção, pois neste caso não é necessário um decantador. Um parâmetro que deve ser observado é a toxicidade do efluente que irá ser tratado, isto é, se o efluente pode gerar uma inibição biológica nos micro-organismos do lodo ativado. Sendo assim, é possível adicionar nutrientes, diluir o efluente com efluentes sanitários e adicionar carvão ativado, entre outros pré-tratamentos, para diminuir a toxicidade e possibilitar alta remoção de DQO (FREIRE et al., 2001). Com o tratamento de lodo ativado, é possível notar remoção de contaminantes específicos, como o fenol (WOOLARD; IRVINE, 1995). Quando combinado com uma osmose reversa é capaz de produzir efluente com os padrões necessários para irrigação (LESTER et al., 2015). A Figura 12 a seguir apresenta o esquema do processo de lodo ativado.

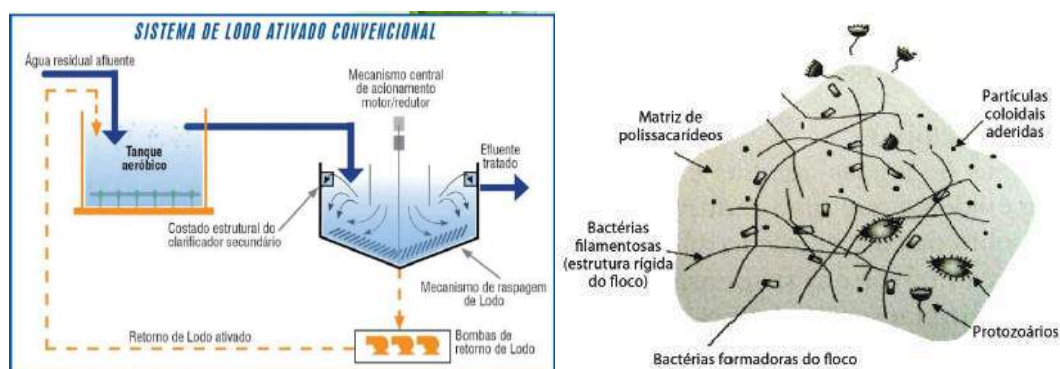


Figura 12: Esquema do processo de lodo ativado. Fonte: SlideShare

A principal vantagem do método de tratamento anaeróbico é a possibilidade de aproveitamento energético dos gases gerados. Entretanto, a salinidade do efluente pode inibir o tratamento e muitos hidrocarbonetos apenas são degradados por vias aeróbicas (XIAO; ROBERTS, 2010). Neste método, a remoção de DQO varia entre 37% e 87% e o tempo de retenção hidráulico varia entre 12 horas e 15 dias. A remoção de DQO é variável de acordo com a composição do efluente, visto que o tratamento não é capaz de degradar alguns compostos orgânicos, como citado anteriormente (RINCON et al. 2003). A geração de sulfeto de hidrogênio pode ser controlada no método alterando o pH do

meio e purgado com gás nitrogênio (VIEIRA et al., 2005). A Figura 13 a seguir apresenta o esquema do processo biológico anaeróbico.

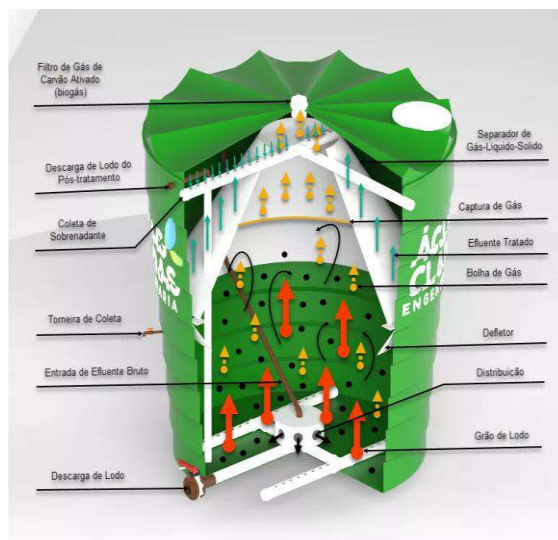


Figura 13: Esquema do processo biológico anaeróbico. Fonte: ÁguasClaraEngenharia

1.4. Aspecto ambiental: processo de reuso e reutilização

Nas últimas décadas, a legislação ambiental tem se tornado mais rigorosa com os padrões de lançamento de efluentes gerados nas indústrias, com o intuito de preservar o meio ambiente e a saúde humana. Sendo assim, os custos com o tratamento de efluentes têm aumentado gradativamente. Na indústria, a água é utilizada para consumo humano, matéria prima, como fluído auxiliar, fluído de aquecimento e resfriamento, etc. Como explicado anteriormente, a qualidade da água tratada depende do setor industrial e a finalidade do produto que está sendo produzido. Atualmente, existe a cobrança pelo consumo de água tratada pela companhia de abastecimento público ou pelo consumo de fontes de águas naturais por parte do departamento do governo responsável por regular os recursos hídricos. A cobrança incentiva o uso consciente da água na indústria e a utilização de técnicas de reuso (MIRRE, 2012).

Na indústria química, a abordagem tradicional de poluição era focada no tratamento de efluente como controle de emissão. Nos últimos anos, o foco tem sido minimizar a geração de efluentes. Como explicado anteriormente, o maior incentivo é o financeiro com objetivo de reduzir os custos com água pura e com o tratamento de efluentes. Entretanto, nem sempre é possível reduzir a quantidade de água utilizada e de efluente gerado no processo. Sendo assim, as indústrias estão utilizando três métodos para

reduzir a demanda de água e a geração de efluentes de uma planta (WANG; SMITH, 1994):

- 1) Reutilização: a água residual é reutilizada diretamente em outra operação posterior, no qual o seu nível de contaminação da saída do primeiro processo é aceitável como entrada no segundo processo, sem interferir no desempenho;
- 2) Regeneração e reutilização: as águas residuais são regeneradas por remoção parcial de contaminantes, através de algum tratamento citado anteriormente nos tópicos 1.2 e 1.3. Em seguida, as águas são reutilizadas em outra operação;
- 3) Regeneração e reciclagem: as águas residuais são regeneradas e depois recicladas; podendo ser usada na mesma operação.

Em processos químicos, a primeira contribuição para minimizar a vazão total de efluentes aquosos começou com o trabalho de EL-HALWAGI e MANOUSIOUTHAKIS (1989), que introduziram o conceito de redes de transferência de massa. O trabalho introduziu a ideia de transferir os contaminantes das correntes ricas para correntes pobres, utilizando conceitos de transferência de massa. A contribuição de WANG e SMITH (1994a,b; 1995a,b), apresenta uma metodologia que permite reduzir o consumo de água em sistemas com múltiplos contaminantes utilizando o conceito de curva composta e transferência vertical. A metodologia também foi aplicada para casos de regeneração, restrição de vazão, taxa de perda fixa e múltiplas fontes de água. Por último, o estudo de CASTRO et al. (1999) desenvolveu uma metodologia para o alcance da meta do consumo mínimo de água de modo simultâneo à síntese da rede de transferência de massa, considerando situações de reuso e regeneração, para um contaminante específico (MIRRE, 2012).

2. Objetivos

O presente trabalho possui como objetivo:

- Avaliar o atual sistema da ETA e ETE de uma indústria de HPPC do estado do Rio de Janeiro
- Realizar o levantamento de dados de consumo de água e geração de efluentes nos pontos de transformação da fábrica
- Propor modificações para reuso e reutilização de águas e efluentes
- Reduzir o consumo de fontes naturais de água.
- Realizar a avaliação econômica preliminar das mudanças propostas.

3. Materiais e Métodos

3.1. Unidade de estudo – Estudo de caso

O levantamento de dados da ETA e da ETE, a caracterização das águas e efluentes, e a mudança proposta foram baseados numa fábrica de HPPC localizada no estado do Rio de Janeiro. Os dados foram obtidos por meio de entrevista com funcionários que trabalham na fábrica em estudo. Nas Figuras 14 e 1, a seguir, podem ser vistos, respectivamente, o fluxograma do mapa de águas da fábrica e o fluxograma do processo da ETA.

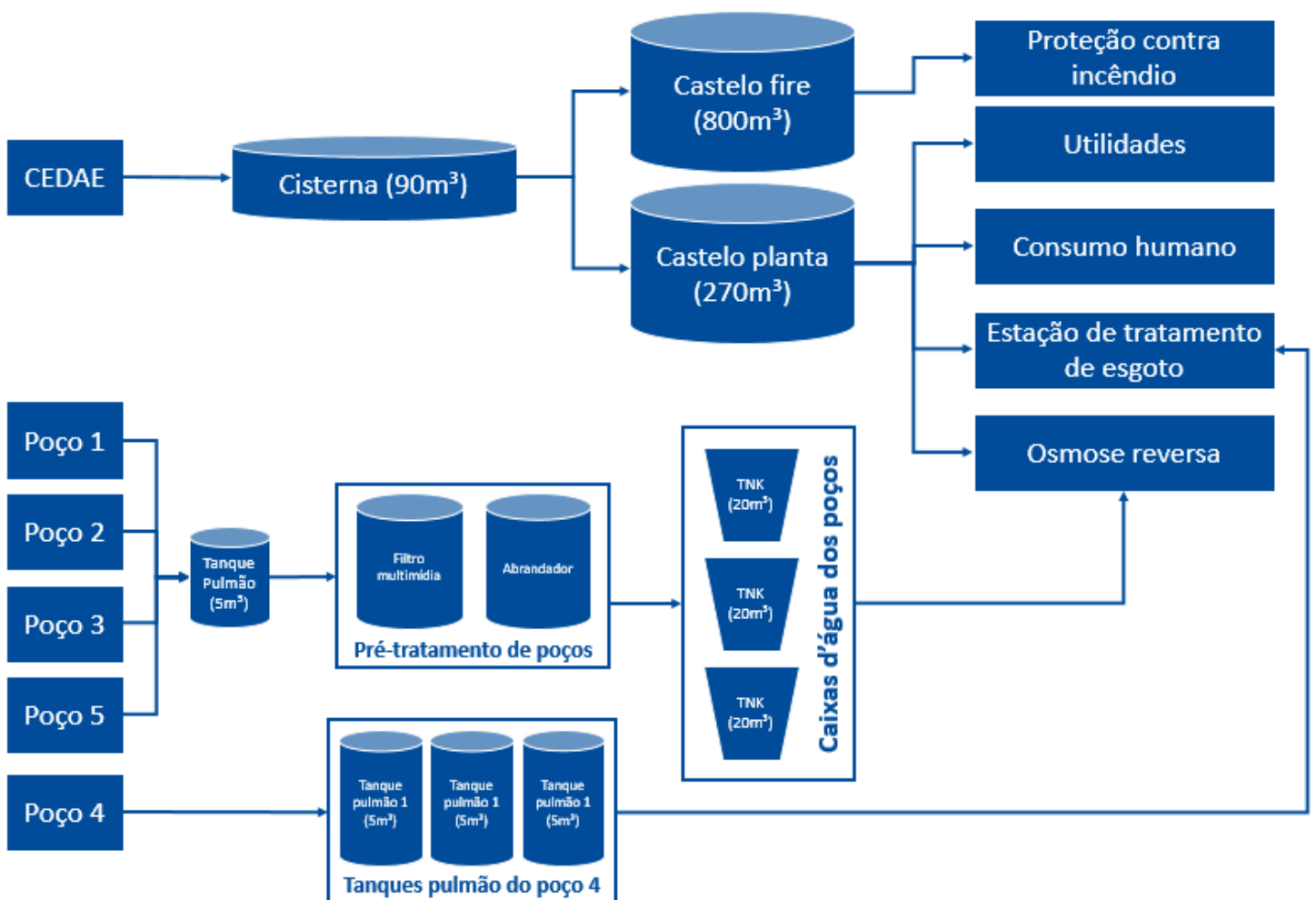


Figura 14: Mapa de águas presente na fábrica do estudo de caso. Fonte: Interna

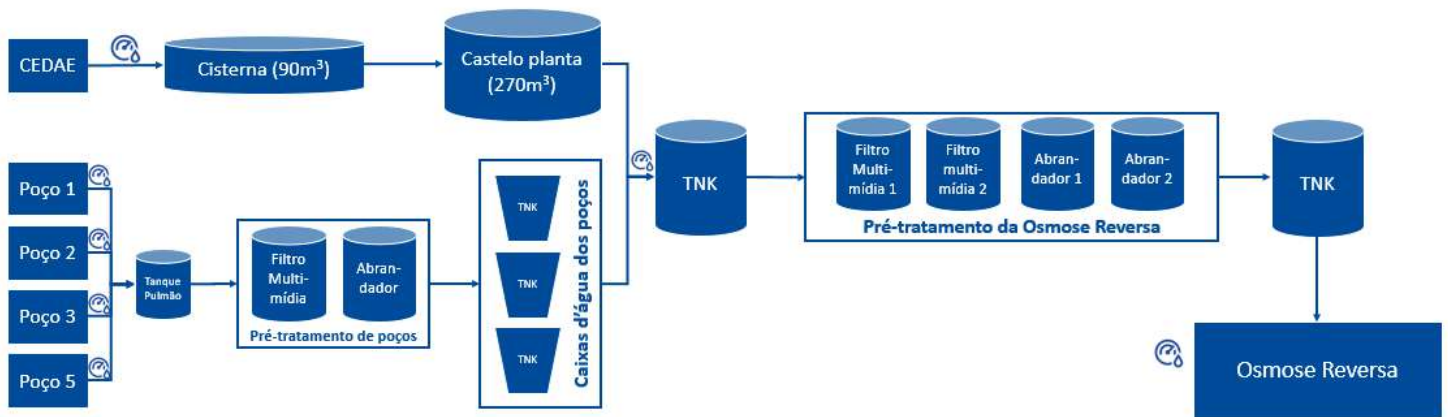


Figura 15: Fluxograma da ETA da fábrica do estudo de caso. Fonte: Interna

3.2. Caracterização do efluente

As seguintes análises e os seus respectivos métodos foram utilizadas para caracterizar os efluentes e as águas de insumo da fábrica:

- pH: medidor de pH
- Condutividade: condutivímetro
- Dureza: titulação com EDTA
- Turbidez: turbidímetro
- Fosfato: Kit de análise de Fosfato (Hexis)
- DQO: Kit de reagente de DQO (Hexis)

3.3. Mapeamento de vazão

Os dados de vazões de entrada e saída de cada ponto de transformação de todos os processos – ETA, ETE e processo produtivo – foram compilados a partir dos dados diários históricos referentes ao ano de 2017, calculando-se a média destes valores para obter o valor médio mensal de cada uma das vazões.

3.4. Reuso e reutilização

O reuso e a reutilização dos efluentes gerados na fábrica como entrada em outras etapas do processo são propostas com base na caracterização do efluente e nos requerimentos da qualidade de entrada de cada um dos pontos do processo.

3.5. Estudo preliminar da economia em relação ao gasto e reuso de água

A primeira etapa para propor um projeto de reutilização de água numa indústria é a viabilidade tecnológica da alteração proposta. A próxima etapa é a realização da avaliação econômica para saber se o projeto é rentável ou não, a partir da utilização do fluxo de caixa descontado. A avaliação econômica preliminar foi feita baseada na economia, considerada como lucro, e nos custos de alteração, considerado como custo capital ou de operação.

4. Resultados e Discussão

Como pode ser observado na Figura 5, a ETA da fábrica em estudo realiza o tratamento das águas extraídas dos poços artesanais e da água fornecida pelo abastecimento público da CEDAE para atender aos padrões de qualidade necessários para fabricação dos produtos. O tratamento consiste em adição de cloro nas águas providas dos poços, seguido de um filtro multimídia e um abrandador. Após isso, a água pré-tratada dos poços mistura-se com a água da CEDAE, e essa mistura passa por um filtro multimídia, um abrandador, adição de um produto químico para remoção de cloro, e filtração com um MF de 5 micrômetros (filtro 5 micra) e uma OI.

A adição de cloro nas águas dos poços tem o papel de garantir a desinfecção e evitar que ocorra a proliferação de micro-organismos e biofilme durante as etapas seguintes do tratamento. Os filtros multimídias, que são constituídos de brita, areia, carvão e zeólita, são utilizados como método de filtração por meio filtrante para remoção de partículas sólidas não solúveis, matéria orgânica e turbidez. Os abrandadores são utilizados para remover a dureza da água, ou seja, os íons de cálcio e magnésio. Após a água estar filtrada e abrandada, esta precisa receber o pré-tratamento para passar pela osmose. O pré-tratamento da osmose consiste em remoção do cloro da água com adição de metabissulfito de sódio, e uma MF (Filtro 5 micra, 3M). Por último, a água passa pelo tratamento da OI (Osmose Reversa Filmtec, Dow).

A ETE da fábrica em estudo trata os efluentes industrial e sanitário gerados na fábrica. O tratamento consiste em um tanque de equalização, tratamento físico-químico com flotação por ar dissolvido e tratamento biológico de lodo ativado seguido de separação por meio de decantador. O tanque de equalização é utilizado para manter o efluente que irá passar pelo processo de tratamento com vazão e composição química tão homogêneas quanto possível, visto que os efluentes gerados pela fábrica variam quantitativamente e qualitativamente. A primeira etapa é o tratamento físico-químico para remoção de sólidos suspensos, através da adição de Policloreto de Alumínio e polímero. Antes de ser direcionado para o tratamento biológico, o efluente passa por uma etapa de correção de pH. No tratamento biológico, ocorre a remoção da matéria orgânica dissolvida no efluente e, em seguida, o efluente tratado é separado do lodo, passando por um decantador.

4.1. Vazões

Na Tabela 5 a seguir podem ser encontrada as vazões mensais das entradas oriundas de abastecimento público da CEDAE ou de poços artesanais, dos pontos de consumo e dos pontos de saída. A média foi feita a partir dos dados históricos do ano de 2017. O balanço de massa entre as entradas, o consumo e a saída foi feito para garantir a confiabilidade dos dados, isto é, o volume médio das entradas (8385,2 m³) é aproximadamente igual à soma do volume médio dos pontos de consumo (6745,3 m³) e do volume médio do rejeito da osmose (1553,9 m³). O volume de saída da ETE não deve ser considerado no balanço de massa, pois o efluente da ETE é proveniente dos pontos de consumo. Sendo assim, se fosse considerada, estaria sendo contabilizado duas vezes.

Tabela 5: Vazões médias das entradas da fábrica, dos pontos de consumos e das saídas da fábrica, baseado nos valores do ano de 2017

Identificação	Vazão média (m³/mês)
Entradas	
CEDAE	4016,1
Poços (Produção)	4048,8
Poço (ETE)	320,3
Total	8385,2
Consumos	
Administrativo	733,1
Academia	70,9
Cozinha	126,7
Aquecedor	118,2
Sistema de proteção contra incêndio	1,3
Torre (Caldeira + Torre de Resfriamento)	897,3
OI Purificada	4797,9
Total	6745,3
Saídas	
OI Rejeito	1553,9
ETE	3071,8
Total	4625,7

4.2. Caracterização da água

Foram escolhidos cinco pontos diferentes do processo para a caracterização das águas e efluentes, sendo eles: Poço artesanal 4, que é utilizado apenas para abastecer a ETE, no preparo dos reagentes do tratamento físico-químico e lavagem dos equipamentos e da área; Mistura dos poços artesanais 1, 2, 3 e 5, que são as águas provenientes dos poços misturadas em um mesmo tanque e enviado para a ETA da fábrica; Saída do decantador, que é a saída do tratamento da ETE; Saída da fábrica, que é a saída do decantador misturada com o rejeito da osmose; Rejeito, que é o efluente gerado pela OI durante a operação de produção de água purificada para o consumo da produção.

Na Tabela 6 a seguir estão apresentados os resultados dos parâmetros analisados para cada um dos pontos selecionados. Algumas das análises não foram realizadas em todas os pontos, pois não se fazia necessário tendo conhecimento da origem do efluente.

Tabela 6: Parâmetros analisados para os pontos de interesse

	pH	Condutiv. ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	Dureza (ppm CaCO_2)	Turbidez (NTU)	Fosfato (mg/L)	DQO (mg/L)
Poço 4 (ETE)	7,33	129,5	60	0,87	-	-
Poços 1, 2, 3 e 5	7,03	415,9	80	0,51	-	-
Decantador	6,73	3010	770	5,19	0,1	90
Saída	6,89	1645	480	3,9	0,22	58
Rejeito da osmose	6,45	508	10	0,27	-	-

4.3. Reuso e reutilização

4.3.1. Utilização do Poço 4

O poço artesanal 4 da fábrica em estudo é utilizado apenas no consumo da ETE, pois o time da operação da fábrica acredita que a água gerada pelo poço não poderia ser tratada de forma satisfatória durante o tratamento da ETA para ser utilizada como insumo para a produção. Sendo assim, é perdido por mês uma capacidade de aproximadamente 400 m³ que poderia ser extraído do poço e ser reduzido do consumo da água da CEDAE.

Diferente do que o time da operação acreditava, alguns parâmetros – condutividade e dureza – do poço 4 – 129,5 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ e 60 ppm CaCO_2 – são melhores do que da mistura dos outros poços – 415,9 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ e 80 ppm CaCO_2 . A turbidez do poço 4

– 0,87 NTU – é maior que a da mistura dos poços – 0,51 NTU. A turbidez apesar de ser maior, está dentro da concentração máxima permitida – 1 NTU – para entrar no tratamento da OR. Fonte: manual do fabricante

Para realizar esta modificação não seria necessário alterações estruturais, isto é, não existe necessidade de investimento de capital. O custo de operação seria acrescido pelo aumento do uso de cloro na desinfecção e aumento do uso do filtro multimídia e abrandador exclusivo para o tratamento da água dos poços. Entretanto, o custo total do insumo de água da CEDAE seria reduzido.

4.3.2. Utilização do rejeito da OI

A caldeira e a torre de resfriamento são alimentadas com a água da CEDAE. A água que é enviada para a caldeira possui tratamento químico para eliminar o cloro presente na água e remover íons de cálcio e magnésio. Considerando que a Caldeira é um equipamento crítico em segurança de processos, esses tratamentos são importantes para prevenir degradação do equipamento e incrustação dentro dos vasos do equipamento, garantindo bom funcionamento e segurança para as pessoas, ou seja, sem depósitos ou incrustações. A água utilizada na torre de resfriamento não recebe tratamento. Esse tópico irá avaliar a reutilização da água do rejeito como insumo para a caldeira e a torre de resfriamento e, se é necessário etapa de regeneração ou não.

A qualidade da água para ser utilizada no equipamento da caldeira deve ser definida pelo fabricante do equipamento – manual do equipamento –, deve estar de concordância com os padrões nacionais – ABNT – e legislação local vigente – NR 13. Na Tabela 7, podem ser encontrados os padrões para qualidade de água de alimentação de caldeiras (SNATURAL). Por último, a empresa da fábrica do estudo de caso possui um padrão interno de qualidade de água para ser utilizado na caldeira: condutividade máxima de 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ e turbidez máxima de 1 NTU. Considerando que as medidas obtidas nas análises (508 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ e 0,27 NTU) estão dentro dos limites estabelecidos pela empresa e pela referência citada – a pressão de operação da caldeira é menor que 10 Kgf/cm^2 – é possível realizar a utilização do rejeito da osmose como fonte de alimentação para a Caldeira. A qualidade de água para alimentar a torre de resfriamento deve seguir o projeto do equipamento instalado. Entretanto, como os critérios de qualidade de água da caldeira são mais restritos, conclui-se que é possível utilizar a água também para o

equipamento da torre de resfriamento. Sendo assim, isso representa uma economia média de 897,3 m³ por mês de água da CEDAE.

Tabela 7: Padrões para qualidade de água de alimentação de caldeira baseado na faixa de pressão de operação. Fonte: SNATURAL

ITEM DE CONTROLE	Faixa de Pressão (Kgf/ cm ²)						
	< 10	10 a 20	20 a 40	40 a 60	60 a 80	80a 100	< 100
pH	10,5 a 11,5		10,0 a 11,0	9,5 a 10,5		9,0 a 10,0	8,5 a 9,8
Condutividade (μS/cm, 25°C)	< 4000	< 3000	< 2000	< 800	< 500	< 150	< 60
Alcalinidade Total (ppm CaCO ₃)	< 800	< 600	< 400	< 150	< 50	---	---
Alcalinidade Hidróxida (ppm CaCO ₃)	150 a 350	100 a 300	80 a 150	Depende do Tratamento			
Sólidos Totais Dissolvidos (ppm STD)	< 3500	< 2500	< 1800	< 1000	< 400	< 50	< 20
Dureza Total (ppm CaCO ₃)	< 2,0	< 1,0	ZERO				

Para realizar esta modificação seria necessário realizar a construção de um tanque de armazenamento para a água do rejeito da osmose com um sensor de nível para realizar a automação. Considerando o consumo médio diário da caldeira e da torre de resfriamento, conclui-se que um tanque de 30 m³ seja suficiente. As bombas de saída do rejeito e de alimentação da caldeira e da torre não necessitariam alterações. O custo de operação talvez fosse reduzido, caso não fosse mais necessário a adição de químicos para evitar a incrustação dentro dos vasos de pressão. Entretanto, avaliar a continuidade em utilizar o químico da caldeira não é o escopo do trabalho atual. Além disso, o custo total do insumo de água da CEDAE seria reduzido.

4.3.3. Reuso do efluente do decantador

A ETE gera um volume médio mensal de efluente tratado igual a 3071,8 m³ com um baixo teor de matéria orgânica – DQO de 90 mg/L. Considerando todas as etapas presentes no tratamento da ETE, desde desinfecção até a OI, é possível avaliar a

viabilidade tecnológica para reutilizar o efluente tratado da ETE como insumo para a ETA. Sendo assim, se é possível realizar o reuso e se é necessário etapa de regeneração.

A qualidade da água para ser utilizada no tratamento deve ser avaliada em todas as etapas do processo da ETA, para avaliar a capacidade de tratamento da mistura gerada. A etapa crítica será a OR, na qual a qualidade da mistura não pode causar impacto nas membranas. A OI está projetada para tratar águas salinas, que possuem condutividades de cerca de aproximadamente $42.000 \mu\text{S}/\text{cm}^2$, consultado do manual. Sendo assim, a condutividade do efluente da ETE, de $3010 \mu\text{S}/\text{cm}^2$, não será um parâmetro que possa gerar impedimento para a sua utilização como insumo para a ETA. Segundo o manual do fabricante (OSMOSE REVERSE DOW FILMTEC), a turbidez máxima permitida para entrar na OI é de 1 NTU, para não comprometer a eficiência e a vida útil das membranas. Na Tabela 8, podem ser encontrados os dados de condutividade e volume em quatro situações distintas: situação 1, que é o cenário atual; situação 2, que é uma simulação de substituição total da água da CEDAE pelo efluente tratado da ETE; situação 3, que é uma simulação da adição do volume do poço 4 discutido no tópico 4.3.1 e substituição do volume restante pelo volume gerado pela ETE; situação 4, que é a simulação adicionando o poço 4 e adicionando efluente da ETE até a restrição de 1 NTU para a mistura formada.

Tabela 8: Resultados de quatro simulações de alimentação da OI, variando as correntes de entradas e as quantidades de cada corrente

Origem	Turbidez (NTU)	Volume (m³)
Situação 1		
Poços 1, 2, 3 e 5	0,51	4048,8
CEDAE	1,80	2302,9
Mistura	0,98	6351,8
Situação 2		
Poços 1, 2, 3 e 5	0,51	4048,8
CEDAE	1,80	0,0
ETE	5,19	2302,9
Mistura	2,21	6351,8
Situação 3		
Poços 1, 2, 3 e 5	0,51	4048,8
CEDAE	1,80	0,0
ETE	5,19	1902,9
Poço 4	0,87	400,0
Mistura	1,93	6351,8
Situação 4		
Poços 1, 2, 3 e 5	0,51	4048,8
CEDAE	1,80	1750,9
ETE	5,19	152,0
Poço 4	0,87	400,0
Mistura	1,00	6351,8

A princípio, a mistura entre água de poço, CEDAE e efluente da ETE deveria respeitar a restrição imposta na situação 4, para estar adequada com o manual do fabricante da OR. No entanto, o efluente gerado pela ETE seria adicionado no tanque pulmão dos poços para passar pela etapa de desinfecção, que não está contemplada no tratamento da ETE. Sendo assim, o efluente seria misturado com águas de outras fontes e passaria por 3 processos de filtração antes de entrar na OR: dois filtros multimídias e um filtro 5 micra. Essas etapas são responsáveis por filtrar matérias orgânicas, o que possivelmente reduziria para abaixo da turbidez máxima permitida pela OR. Outro ponto que deve ser observado é que a turbidez da água da CEDAE é de 1,8 NTU (Fonte: Site

da CEDAE) e a mistura da situação 3 tem turbidez 1,93 NTU. Considerando que o sistema originalmente foi projetado para tratar água da CEDAE pura, esse seria mais um indício que os pré-tratamentos de filtração seriam capazes de entregar a qualidade de água dentro do limite para a OI. Para comprovar a eficiência de todos os processos de tratamento e a viabilidade de utilização do efluente da ETE como água na ETA, deveriam ser realizados testes em bancadas com a proporção desejada de mistura, e realizar o processo completo em bancada com os tratamentos e equipamentos utilizados na ETA da fábrica. Para fins deste trabalho, considera-se que a situação 3 é a ideal a ser realizada. Sendo assim, seria possível reduzir o custo total médio de água da CEDAE referente a 1902,9 m³/mês.

Para realizar esta modificação não seria necessário alterações estruturais, isto é, não existe necessidade de investimento de capital, pois a bomba instalada continuará sendo a mesma e o destino será alterado para o tanque pulmão. O custo de operação seria acrescido pelo aumento do uso de cloro na desinfecção e aumento do uso do filtro multimídia e abrandador exclusivo para o tratamento da água dos poços. Entretanto, o custo total do insumo de água da CEDAE seria reduzido.

4.3.4. Água de chuva

Uma oportunidade que pode ser explorada é a captação de água de chuva para utilização em limpeza das áreas administrativas e externas, nas descargas dos banheiros e na irrigação dos jardins. A estimativa de água que pode ser captada e aproveitada é baseada na área construída, de 18.902 m², e do volume de chuva anual no estado do Rio de Janeiro, de 1278 mm (CLIMATE). Sendo assim, seria possível captar um volume médio mensal de chuva correspondente a 2.013 m³. Não existem dados disponíveis do consumo específico dos pontos citados anteriormente. Por isso, é difícil estimar a quantidade de água de abastecimento público que poderia ser economizado com a implementação de captação da água de chuva.

Para realizar esta modificação seria necessário construir o sistema de captação, de armazenamento da água de chuva e de distribuição para os pontos de consumos citados anteriormente. Não haveria aumento de custo de operação.

4.3.5 Mapa de reuso e reutilização

As propostas de reuso e reutilização estão representadas em verde na Figura 7, com os números representando as alterações propostas anteriormente. A corrente 1 representa a utilização do poço como entrada na ETA – tópico 4.3.1. A corrente 2 representa o rejeito da OI sendo alimentação para a caldeira e a torre de resfriamento – tópico 4.3.2. A corrente 3 representa a saída do decantador da ETE como insumo para a ETA – tópico 4.3.3. A corrente 4 representa a água de chuva sendo captada e utilizada para jardinagem, limpeza e vasos sanitários – tópico 4.3.4. Além das melhorias propostas, houve duas alterações: 1) a mudança para o nome correto do equipamento Osmose inversa e 2) separação do consumo humano de água do consumo de limpeza, jardinagem e vasos sanitários.

Totalizando todas as propostas de modificações, o estudo de caso possui um potencial de redução de consumo de 31.778,4 m³ de água por ano do abastecimento público (CEDAE).

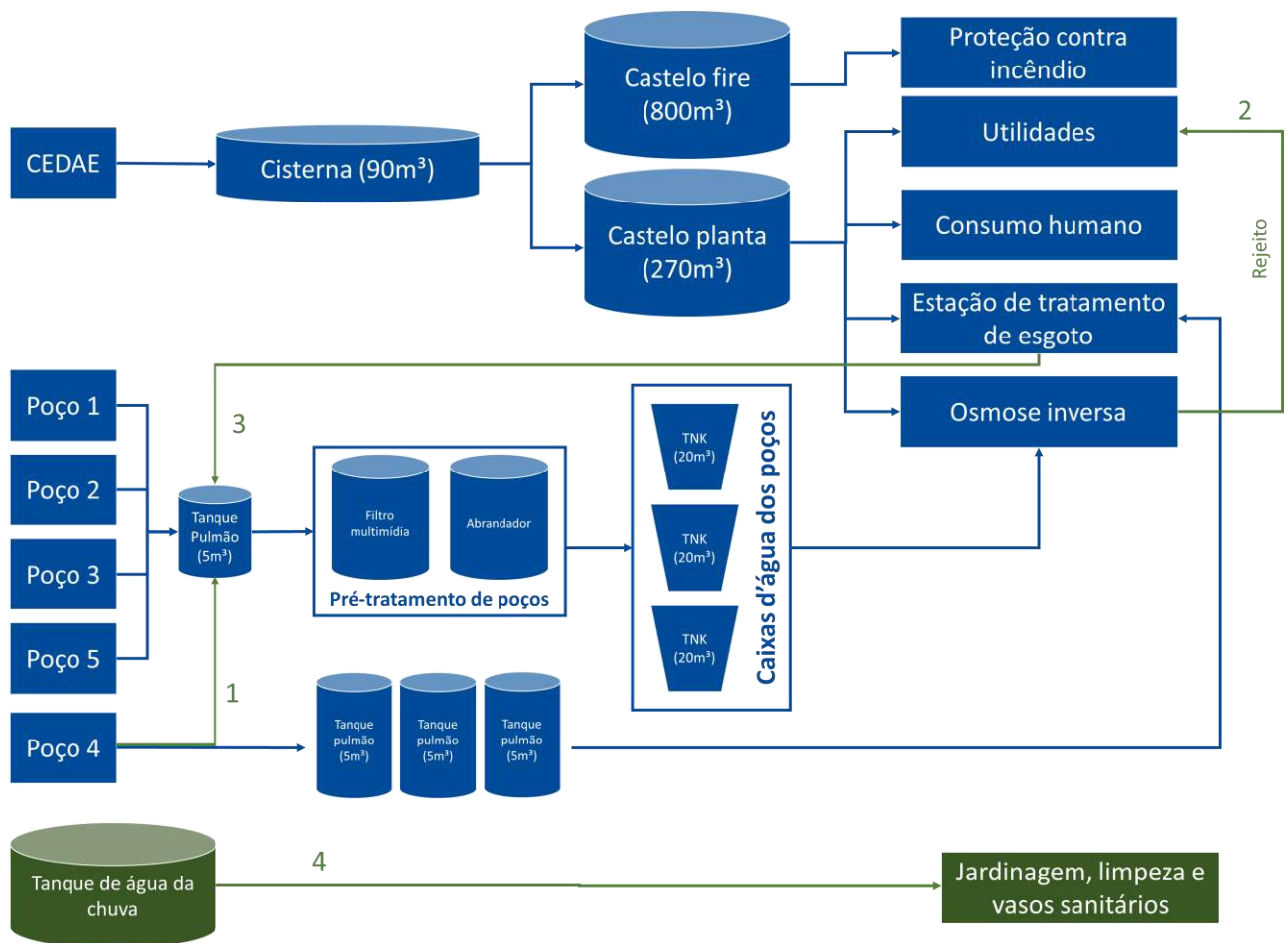


Figura 7: Novo mapa de águas com as propostas de mudanças no fluxograma

5. Estudo preliminar da economia em relação ao gasto e reuso de água

Como será visto nos próximos tópicos, as modificações propostas do estudo de caso possuem um potencial de economia de R\$ 146.007,30 no primeiro mês de projeto. O escopo do trabalho é realizar uma avaliação econômica preliminar, com isso, nem todos os custos foram levados em custos e seria necessário realizar a avaliação econômica completa.

5.1. Utilização do Poço 4

Como resultado da avaliação tecnológica, não será realizado mudança estrutural e apenas será realizado a dosagem de cloro para a desinfecção. Considerando o preço pago pela m³ de água igual a R\$ 50 (CEDAE), o preço do cloro ativado como R\$ 6080 por 22500 kg (Alibaba) e a dosagem de 4 ppm de cloro para desinfecção, é possível calcular o lucro gerado por ano:

Tabela 9: Resultado preliminar da econômica da mudança proposta no tópico 4.3.1.

Consumo (m³/mês)	Economia gerada (R\$/mês)	Gasto com Insumo (R\$/mês)	Economia 1° ano (R\$/mês)
400	R\$ 20.000	R\$ 0,46	R\$ 19.999,5

5.2. Caldeira e torre de resfriamento

Como resultado da avaliação tecnológica, será realizado uma mudança estrutural para armazenar o rejeito da osmose. Considerando o preço pago pela m³ de água igual a R\$ 50 (CEDAE) e o preço de um recipiente para armazenar água de 15 m³ igual a R\$ 7.000 (Leroy Merlin):

Tabela 10: Resultado preliminar da econômica da mudança proposta no tópico 4.3.2.

Consumo (m³/mês)	Economia gerado (R\$/mês)	Gasto com Tanque (R\$)	Lucro 1° ano (R\$)
897,3	R\$ 44.865	R\$ 14.000	R\$ 30.865

O tanque de armazenamento foi considerado como duas caixas de água comercial de 15 m³, pois não existe a necessidade de utilizar um tanque industrial para o armazenamento de água.

5.3. Reuso do efluente do decantador

Como resultado da avaliação tecnológica, não será realizada mudança estrutural e apenas será realizado a dosagem de cloro para a desinfecção. Considerando o preço pago pela m³ de água igual a R\$ 50 (CEDAE), o preço do cloro ativado como R\$ 6080 por 22500 kg (Alibaba) e a dosagem de 4 ppm de cloro para desinfecção, é possível calcular o lucro gerado por ano:

Tabela 11: Resultado preliminar da econômica da mudança proposta no tópico 4.3.3.

Consumo (m ³ /mês)	Economia gerado (R\$/mês)	Gasto com Insumo (R\$/mês)	Lucro 1° ano (R\$/mês)
1902,9	R\$ 95.145	R\$ 2,2	R\$ 95.142,8

Neste tópico, apenas foi analisado a adição do efluente do decantados como insumo para a ETA como uma etapa de regeneração. A análise da entrada do poço 4 já foi analisada no tópico 5.3.1

5.4. Água de chuva

A análise econômica não foi realizada para a mudança relatada no tópico 4.3.4, pois não foi possível obter uma estimativa monetária de quanto custaria realizar as mudanças necessárias para coletar, armazenar e utilizar a água de chuva.

6. Conclusões e sugestões

O estudo de caso possui um potencial de redução de consumo de 2.648,2 m³ de água por ano do abastecimento público (CEDAE) e uma economia de R\$ 146.007,30 no primeiro mês de projeto. Sendo assim, é indicado que as três modificações propostas – os tópicos 4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3 – que possuem avaliação econômica sejam estudadas com o intuito de implementá-las, os próximos passos do estudo são indicados nos parágrafos a seguir. A última modificação – tópico 4.3.4 – deve possuir um estudo de viabilidade econômica antes de ser implementado.

Por uma questão de estatística, antes de implementar as propostas, o projeto deveria realizar pelo menos mais duas caracterizações dos efluentes para ser possível avaliar as mudanças com os valores médios de todas as medidas. Além de análise estatística, deveriam ser realizadas análises complementares para garantir eficiência nas mudanças propostas, como por exemplo SDI (silt density index) para poder confirmar a possibilidade de utilização do efluente do decantador na ETA. As análises complementares devem ser feitas com base nos equipamentos nos quais o efluente irá ser enviado, como por exemplo, parâmetros limites para o bom funcionamento da caldeira e da osmose. Em geral, esses parâmetros e seus respectivos limites podem ser encontrados no manual do fabricante, na legislação vigente e nos padrões internos da empresa.

Por último, seria interessante realizar testes em bancadas para garantir que as mudanças propostas não possuem efeitos não desejados, como por exemplo, diminuição do tempo entre a troca das membranas da osmose. Ao realizar os testes em bancada, deve ser conferido se existe alguma alteração no processo e se essa mudança irá impactar o custo de manutenção ou insumo para manter o sistema de tratamento da ETA. Caso ocorra alguma alteração durante o teste, os custos relacionados devem ser levados em conta e uma nova análise econômica da modificação deve ser realizada antes de ser implementada.

Referências Bibliográficas

ABIHPEC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE HIGIENE PESSOAL, PERFUMARIA E COSMÉTICOS. (Brasil). **Panorama do Setor de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos** : Resultados 2017. 2018. Disponível em: <<https://abihpec.org.br/publicacao/panorama-do-setor-2019/>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

ALLEY BL, WILLIS B, RODGERS J, CASTLE JW (2013) Water depths and treatment performance of pilot-scale free water surface constructed wetland treatment systems for simulated fresh oilfield produced water. **Ecol Eng** 61:190–199. <https://doi.org/10.1016/j.ecole ng.2013.09.021>

ARENA, N., LEE, J., CLIFT, R., 2016. Life Cycle Assessment of activated carbon production from coconut shells. **J. Clean. Prod.** 125:68–77. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.073>.

BARTHOLOMEW, T.V., MEY, L., ARENA, J.T., SIEFERT, N.S., MAUTER, M.S., 2017. Osmotically assisted reverse osmosis for high salinity brine treatment. **Desalination** 421:3–11. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.04.012>.

BI, F., ZHAO, H., ZHOU, Z., ZHANG, L., CHEN, H., GAO, C., 2016. Optimal design of nanofiltration system for surface water treatment. **Chin. J. Chem. Eng.** 24:1674–1679. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2016.05.012>.

BLANCO-MARIGORTA, A.M., LOZANO-MEDINA, A., MARCOS, J.D., 2017. A critical review of definitions for exergetic efficiency in reverse osmosis desalination plants. **Energy** 137: 752–760. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.136>.

BLAND, L.; ALVAREZ, C.; KIM, Y.-G.; MITCHELL, TJ; RUIZ, J.; SOBERANIS, L.; YOUNG, P. Sustainable community development – water slow-sand filtration. 2017. Disponível em: <https://cfpub.epa.gov/ncer_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.highlight/abstract/8625/report/>. Acesso em: 07 jul. 2018.

BRUNI, M.; SPUHLER, D. Rapid sand filtration. **Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox** (2018). Disponível: <<https://www.sswm.info/category/implementation-tools/water-purification/hardware/semi-centralised-drinking-water-treatme-14>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

BRUNI, M.; SPUHLER, D. **Slow Sand Filtration**. 2018. Disponível em: <<https://www.sswm.info/water-nutrient-cycle/water-purification/hardwares/semi-centralised-drinking-water-treatments/slow-sand-filtration>>. Acesso em: 07 jul. 2018.

BULL, R. J.; GERBA, C.; TRUSSELL, R. R.. Evaluation of the health risks associated with disinfection, **Crit. Rev. Environ. Control** 20 (2) (1990) 77–113.

CAMARILLO, M. K.; STRINGFELLOW, W. T. Biological treatment of oil and gas produced water: a review and meta-analysis. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 20, n. 6, p. 1127–1146, 2018. Springer Berlin Heidelberg. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10098-018-1564-9>>. .

CHOLLOM, M.N., PIKWA, K., RATHILAL, S., PILLAY, V.L., 2017. Fouling mitigation on a woven fibre microfiltration membrane for the treatment of raw water. *S. Afr. J. Chem. Eng.* 23:1–9. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2016.12.003>.

CLARK, R. M.; ADAMS, J. Q.; BENJAMIN, W.; LYKINS, J. DBP control in drinking water: cost and performance, **J. Environ. Eng.** 120 (4) (1994) 759–782

DE SILVA, F., 2000. Activated carbon filtration. (2017). http://www.watertreatmentguide.com/activated_carbon_filtration.htm.

DONG ZY, LU M, HUANG WH, XU XC (2011) Treatment of oilfield wastewater in moving bed biofilm reactors using a novel suspended ceramic biocarrier. **J Hazard Mater** 196:123–130. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.09.001>

EBELING, J.M., SIBRELL, P.L., OGDEN, S.R., SUMMERFELT, S.T., 2003. Evaluation of chemical coagulation–flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus from intensive recirculating aquaculture effluent discharge. **Aquac. Eng.** 29:23–42. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(03\)00029-3](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(03)00029-3).

EISAZADEH, A., EISAZADEH, H., KASSIM, K.A., 2013. Removal of Pb(II) using polyaniline composites and iron oxide coated natural sand and clay from aqueous solution. **Synth. Met.** 171:56–61. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2013.03.014>.

ENGINEERING GP, 2012. Membrane filtration: reverse osmosis, nanofiltration, ultrafiltration and microfiltration. (1–12). https://www.gea.com/en/binaries/membrane-filtrationultrafiltration-nanofiltration-microfiltration-reverse-osmosis-gea_tcm11-34841.pdf, Accessed date: 21 December 2017.

FREIRE DDC, CAMMAROTA MC, SANT’ANNA GL (2001) Biological treatment of oil field wastewater in a sequencing batch reactor. **Environ Technol** 22:1125–1135. <https://doi.org/10.1080/09593332208618203>

GAVRILESCU M, MACOVEANU M (2000) Attached-growth process engineering in wastewater treatment. **Bioprocess Eng** 23:95–106. <https://doi.org/10.1007/s004490050030>

GHORBANIAN M, MOUSSAVI G, FARZADKIA M (2014) Investigating the performance of an up-flow anoxic fixed-bed bioreactor and a sequencing anoxic batch reactor for the biodegradation of hydrocarbons in petroleum-contaminated saline water. **Int Biodeterior Biodegrad** 90:106–114. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.02.009>

GHOSH, M.; AMIRTHARAJAH, A.; ADIN, A. Particle destabilization for tertiary-treatment of municipal waste-water by filtration, **Water Sci. Technol.** 30 (9) (1994) 209–218.

GITIS, V.; HANKINS, N. Water treatment chemicals: Trends and challenges. **Journal of Water Process Engineering**, v. 25, n. May, p. 34–38, 2018. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214714418301612>>. .

GUO CM et al (2014) Combined hydrolysis acidification and biocontact oxidation system with air-lift tubes and activated carbon bioreactor for oilfield wastewater treatment. **Bioresour Technol** 169:630–636. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.07.018>

GWENAELE, M.P.O., JUNG, J., CHOI, Y., LEE, S., 2017. Effect of microbubbles on microfiltration pretreatment for seawater reverse osmosis membrane. **Desalination** 403:153–160. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.06.012>.

HAN, S.; FITZPATRICK, C. S. B.; WETHERILL, A. The impact of flow surges on rapid gravity filtration. **Water Research**. v. 43, p. 1171–1178, 2009. Elsevier Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.12.003>>

HORNER JE, CASTLE JW, RODGERS JH, GULDE CM, MYERS JE (2012) Design and performance of pilot-scale constructed wetland treatment systems for treating oilfield produced water from Sub-Saharan Africa. **Water Air Soil Pollut** 223:1945–1957. <https://doi.org/10.1007/s11270-011-0996-1>

HOSLETT, J.; MASSARA, T. M.; MALAMIS, S.; et al. Surface water filtration using granular media and membranes: A review. **Science of the Total Environment**, v. 639, p. 1268–1282, 2018. The Authors. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.247>>. .

HUANGFU, X., MA, C., MA, J., HE, Q., YANG, C., ZHOU, J., et al., 2017. Effective removal of trace thallium from surface water by nanosized manganese dioxide

enhanced quartz sand filtration. **Chemosphere** 189:1–9.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.039>.

HUSIMAN, L.; WOOD, W. E. Slow Sand Filtration. **World Health Organisation, Geneva**. Hydranautics. 2001. Commercial RO technology. (1–6). Disponível: <<http://www.membranes.com/docs/trc/commerc.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

HYDRANAUTICS, 2001. **Commercial RO technology**. (1–6). <http://www.membranes.com/docs/trc/commerc.pdf>, Accessed date: 8 January 2018.

JAMALY, S., DARWISH, N.N., AHMED, I., HASAN, S.W., 2014. A short review on reverse osmosis pretreatment technologies. **Desalination** 354:30–38. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.09.017>.

JANA, S.; GNANAKAN, K.; JANA, B. B. Multiple Reuse of Wastewater : Economic Perspectives. , p. 255–267, 2018.

JI GD, SUN T, ZHOU QX, SUI X, CHANG SJ, LI PJ (2002) Constructed subsurface flow wetland for treating heavy oil-produced water of the Liaohe Oilfield in China. **Ecol Eng** 18:459–465. [https://doi.org/10.1016/s0925-8574\(01\)00106-9](https://doi.org/10.1016/s0925-8574(01)00106-9)

K.-M. YAO, M.T. HABIBIAN, C.R. O’MELIA, Water and waste water filtration. Concepts and applications, **Environ. Sci. Technol.** 5 (11) (1971) 1105–1112.

KÅRELID, V., LARSSON, G., BJÖRLENIUS, B., 2017. Pilot-scale removal of pharmaceuticals in municipal wastewater: comparison of granular and powdered activated carbon treatment at three wastewater treatment plants.

KATSIGIANNIS, A., NOUTSOPOULOS, C., MANTZIARAS, J., GIOLDASI, M., 2015. Removal of emerging pollutants through granular activated carbon. **Chem. Eng. J.** 280:49–57. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.05.109>.

KOMULAINEN, H.; Experimental cancer studies of chlorinated by-products; **Toxicology** 2004, 198 2004 May 20; 198(1-3):239-248.

Lester Y, Ferrer I, Thurman EM, Sitterley KA, Korak JA, Aiken G, LINDEN KG (2015) Characterization of hydraulic fracturing flowback water in Colorado: implications for water treatment. **Sci Total Environ** 512:637–644. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.043>

LI, Y.; BAI, P.; YAN, Y.; et al. Removal of Zn²⁺, Pb²⁺, Cd²⁺, and Cu²⁺ from aqueous solution by synthetic clinoptilolite. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 273, n. May 2018, p. 203–211, 2019. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2018.07.010>>..

LIANG, L.; SINGER, P. C. Factors influencing the formation and relative distribution of haloacetic acids and trihalomethanes in drinking water. **Environmental Science and Technology**, v. 37, n. 13, p. 2920–2928, 2003.

MARGESIN R, SCHINNER F (2001) Biodegradation and bioremediation of hydrocarbons in extreme environments. **Appl Microbiol Biotechnol** 56:650–663

MARÍN, G. R., 1992. Ripening of silica sand used for filtration. **Water Res.** 26:683–688. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(92\)90245-Y](https://doi.org/10.1016/0043-1354(92)90245-Y).

MARKETS AND MARKETS. (EUA). **Cosmetic Products Market by Type (Skin, Hair, Sun, Oral, Fragrance, Color, Soap, Bath, Shower, Personal Hygiene), Distribution Channel (Supermarket, Pharmacy, Departmental, Specialty, Direct, Internet, Salon) & Geography - Global Trends & Forecasts to 2019**. 2018. Disponível em: <<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/cosmetic-products-market-240004417.html>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

MIRRE, R. C.; FERREIRA, C. L.; DIAS, A. R.; PESSOA, F. L. P. Conservação e reúso de águas usando o método Diagrama de Fontes de Água para processos em batelada: estudo de casos. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v. 7, n. 1, 2012.

MOUIYA, M., ABOURRICHE, A., BOUAZIZI, A., BENHAMMOU, A., EL HAFIANE, Y., ABOULIATIM, Y., et al., 2018. Flat ceramic microfiltration membrane based on natural clay and Moroccan phosphate for desalination and industrial wastewater treatment. **Desalination** 427: 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.11.005>.

MUHAMMAD, N.; PARR, J.; SMITH, M. D.; WHEATLEY, A. D. Removal of Heavy Metals by Slow Sand Filtration. **Loughborough University**. 23rd WEDC International Conference, Durban, South Africa, 1-5 September 1997, p.167-170.

NATURA. (Brasil). **RELATÓRIO ANUAL Natura 2017**. 2018. Disponível em: <<http://natu.infoinvest.com.br/ptb/6646/Relatorio%20anual%202017%20-%20port.pdf>>. Acesso em: 07 jul. 2018.

PARDUE MJ, CASTLE JW, RODGERS JH, HUDDLESTON GM (2014) Treatment of oil and grease in produced water by a pilot-scale constructed wetland system using biogeochemical processes. **Chemosphere** 103:67–73. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.11.027>

PENDASHTEH AR, ABDULLAH LC, FAKHRU’L-RAZI A, MADAENI SS, ABIDIN ZZ, BIAK DRA (2012) Evaluation of membrane bioreactor for hypersaline oily

wastewater treatment. **Process Saf Environ Protect** 90:45–55. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2011.07.006>

RINCON N, CHACIN E, Marin J, Torrijos M, Moletta R, Fernandez N (2003) Anaerobic biodegradability of water separated from extracted crude oil. **Environ Technol** 24:963–970

SCHOLZY W, FUCHS W (2000) Treatment of oil contaminated wastewater in a membrane bioreactor. **Water Res** 34:3621–3629. [https://doi.org/10.1016/s0043-1354\(00\)00106-8](https://doi.org/10.1016/s0043-1354(00)00106-8)

SHAABAN, S., YAHYA, H., 2017. Detailed analysis of reverse osmosis systems in hot climate conditions. **Desalination** 423:41–51. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.09.002>.

SHIN, J.Y.; SPINETTE, R.F.; O'MELIA, C.R. Stoichiometry of coagulation revisited, **Environ. Sci. Technol.** 42 (7) (2008) 2582–2589.

SILLANPÄÄ, M., NCIBI, M.C., MATILAINEN, A., VEPSÄLÄINEN, M., 2018. Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review. **Chemosphere** 190:54–71. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.113>.

SMITH, K., LI, Z., CHEN, B., LIANG, H., ZHANG, X., XU, R., et al., 2017. Comparison of sand-based water filters for point-of-use arsenic removal in China. **Chemosphere** 168:155–162. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.021>.

SURESH, K., PUGAZHENTHI, G., UPPALURI, R., 2016. Fly ash based ceramicmicrofiltrationmembranes for oil-water emulsion treatment: parametric optimization using response surface methodology. **J. Water Process Eng.** 13:27–43. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2016.07.008>.

SUTHERLAND, K., 2009. What is Nanofiltration? :p. 2017. <http://www.filtsep.com/waterand-wastewater/features/what-is-nanofiltration/>

TCHOBANOGLIOUS G, STENSEL HD, TSUCHIHASHI R, BURTON F (2014) Wastewater engineering: treatment and resource recovery, 5th edn. McGraw Hill Education, New York, NY

THE STATISTICS PORTAL: STATISTICS AND STUDIES FROM MORE THAN 22,500 SOURCES. (Londres). **Cosmetics Industry - Statistics & Facts** . 2018. Disponível em: <<https://www.statista.com/topics/3137/cosmetics-industry/>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

VIEIRA DS, SERVULO EFC, CAMMAROTA MC (2005) Degradation potential and growth of anaerobic bacteria in produced water. **Environ Technol** 26:915–922. <https://doi.org/10.1080/09593332608618499>

WANG, Y. P.; SMITH, R. Wastewater minimisation. **Chemical Engineering Science**, v. 49, n. 7, p. 981–1006, 1994.

WASZAK, M., GRYTA, M., 2016. The ultrafiltration ceramic membrane used for broth separation in membrane bioreactor. *Chem. Eng. J.* 305:129–135. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.11.058>.

WOOLARD CR, IRVINE RL (1994) Biological treatment of hypersaline wastewater by a biofilm of halophilic bacteria. **Water Environ Res** 66:230–235

WWD. (EUA). **WWD Beauty Inc.'s Top 10 Beauty Companies of 2016** . 2017. Disponível em: <<https://wwd.com/beauty-industry-news/beauty-features/gallery/wwd-beauty-inc-s-top-10-beauty-companies-of-10864705/#!1/beauty-web-charts-3>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

XIAO YY, ROBERTS DJ (2010) A review of anaerobic treatment of saline wastewater. **Environ Technol** 31:1025–1043. <https://doi.org/10.1080/09593331003734202>

YANG, L., SHE, Q., WAN, M.P., WANG, R., CHANG, V.W.-C., TANG, C.Y., 2017. Removal of haloacetic acids from swimming pool water by reverse osmosis and nanofiltration. **Water Res.** 116:116–125. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.03.025>.

YANG, L.; SHE, Q.; WAN, M. P.; WANG, R.; CHANG, V. W. C.; TANG, C. Y. Removal of haloacetic acids from swimming pool water by reverse osmosis and nanofiltration. **Water Research**, v. 116, p. 116-125, 2017. Elsevir. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.03.025>>

YOON, J., AMY, G., CHUNG, J., SOHN, J., YOON, Y., 2009. Removal of toxic ions (chromate, arsenate, and perchlorate) using reverse osmosis, nanofiltration, and ultrafiltration membranes. **Chemosphere** 77:228–235. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.07.028>.

YORGUN, M.S., BALCIOGLU, I.A., SAYGIN, O., 2008. Performance comparison of ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis on whey treatment. **Desalination** 229:204–216. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.09.008>.