

# **AVALIAÇÃO DOS FILTROS DE LEITO GRANULAR DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA REPOSIÇÃO EM USINA SIDERÚRGICA**

Natália Favaretto Medeiros – Aluna do Curso de Engenharia Química  
Escola Politécnica – PUCRS

## **Resumo**

O tratamento da água de reposição em uma indústria siderúrgica é realizado por uma Estação de Tratamento de Água, que utiliza os processos de floculação, decantação e filtração para atender a qualidade exigida. A filtração, última etapa física, retém a última quantidade de sólidos suspensos provindos do fluxo anterior percorrido pela água captada e é realizada por filtros de leito granular autolaváveis. Nesse caso de estudo, ambos os filtros entram em retrolavagem de forma antecipada, impedindo que a vazão necessária de água disponível para reposição seja alcançada. A inequação da mídia escolhida, bem como sua altura apresentam diferenças na sua perda de carga quando comparados os cenários atuais com o de objetivo. A lama depositada acima do leito, causada por falhas nas operações anteriores, contribui com a elevação da saturação dos filtros, o que auxilia para ocorrência desse problema. Melhorias de baixo investimento como a troca da mídia, limpeza das estruturas do filtro e adequação do início do processo de captação são alternativas viáveis.

**Palavras-chave:** Água. Siderúrgica. Filtro.

## **Resume**

*The treatment of replacement water in a steel industry is carried out by a Water Treatment Station, which uses flocculation, decantation and filtration processes to meet the required quality. Filtration, the last physical step, retains the last amount of suspended solids coming from the previous flow traveled by the captured water and is carried out by self-washing granular bed filters. In this case study, both filters are backwashed in advance, preventing the required flow of water available for replacement from being reached. The inequality of the chosen media, as well as its height, present differences in its pressure drop when comparing the current scenarios with the objective one. The sludge deposited above the bed, caused by failures in previous operations, contributed to the increase in the saturation of the filters, which contributes to the occurrence of this problem. Low-investment improvements such as changing the media, cleaning the filter structures and adjusting the beginning of the capture process are viable alternatives.*

**Keywords:** Water. Steelmaker. Filter.

## 1 Introdução

Produtora de insumos importantes, a siderúrgica possui um mercado promissor no Brasil para o próximo ano com boas perspectivas de produção e exportação. A produção do aço gera produtos de uso cotidiano e uma diversidade de utilitários e pré-produtos para outros meios de produção. De acordo com a Redação Siderurgia Brasil (2022) e com o Instituto Aço Brasil (IAB, 2022) o aumento de vendas internas comparando janeiro de 2022 com dezembro de 2021 foi de 1,6% e o consumo de produtos oriundos das siderurgias subiu para 0,6% no mesmo período de comparação. Ainda sobre os mesmos parâmetros, de acordo com a estatística mensal fornecida pelo IAB (2022) o consumo de produtos em fevereiro desse ano cresceu em 8,5% atingindo 1,5 milhão de toneladas.

Com a alta da demanda de compra e exportação e com perspectivas para o seguimento do ano de 2022 positivas, o aumento da produção do aço é considerado (IAB, 2022) e por consequência o recurso de águas para utilização na indústria também aumenta. Ainda de acordo com o IAB, em 2020 cerca de 166 m<sup>3</sup> de água doce foi captada para ser utilizada na produção do material.

A indústria siderúrgica utiliza como principal fonte de refrigeração, dos sistemas de trocadores de calor e condensadores dos processos produtivos, as águas em ciclos fechados com torres de resfriamento (MIERZWA e HESPANHOL, 2014). As águas de uso são classificadas através do contato direto ou indireto com os produtos, de forma que cada uma possui um complexo de tratamento. A principal perda de água durante o resfriamento ocorre pelas purgas nos sistemas das torres, que servem para retirar os sólidos suspensos que se acumulam nos depósitos de água fria (STOECKER e JABARDO, 2018).

A fim de evitar o desperdício e uso frequente da água captada diretamente de fontes hídricas naturais, o tratamento da água bruta é feito pela Estação de Tratamento de Água (ETA) com o objetivo de fornecer a reposição em condições adequadas. Problemas como incrustação, corrosão e crescimento biológico também podem ser evitados com o uso do tratamento (METCALF & EDDY, 2003). Combinada com outros processos na ETA, a filtração apresenta-se como a última barreira física para conter sólidos indesejados, desempenhando um papel fundamental para o sistema (SECKLER, 2017).

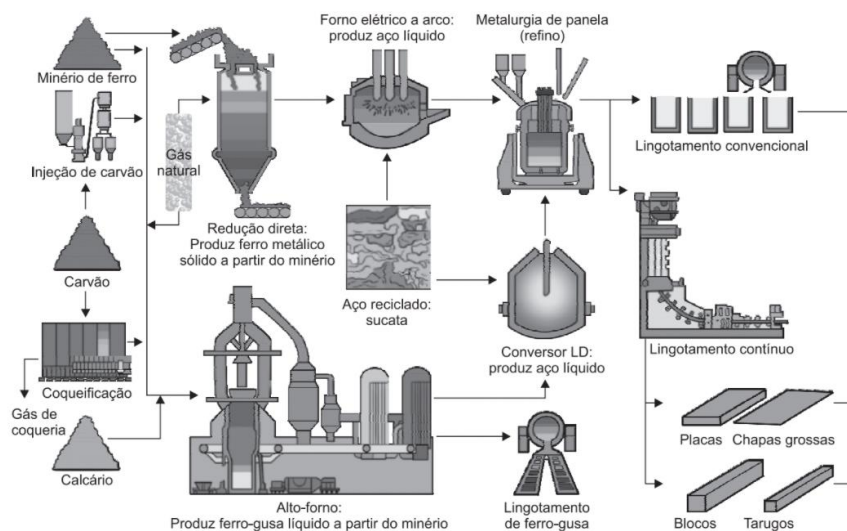
Visando melhorar as condições da água utilizada para reposição dos sistemas, a otimização do processo de tratamento e a quantidade de água clarificada disponível, o presente trabalho tem como objetivo o estudo das mídias e operação de filtros de leito granular utilizados em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) de uma indústria siderúrgica. Os estudos englobam a comparação entre a condição atual de operação com a qual os filtros foram designados a produzir, sugerir melhorias para auxiliar o alcance do objetivo de produção de água tratada e verificar a causa dos problemas apresentados pelo equipamento.

## 2 Referencial teórico

### 2.1 Processo siderúrgico

A siderúrgica na sua forma como é conhecida hoje teve seu início em 1960 com a criação das usinas integradas que trouxeram avanços para os principais aprendizados dos séculos anteriores sobre a fundição e o manuseio do ferro. O aço, liga de ferro e carbono, principal produto oriundo dessa indústria, está presente em ferramentas e utilitários importantes para o dia a dia da população (GAUTO e ROSA, 2013). As usinas podem apresentar duas formas de processo produtivo: a usina integrada, composta por três etapas: redução, refino e laminação (IAB, 2022) e as usinas semi-integradas, com etapas de refino e laminação, que possuem a sucata, ferro-gusa ou ferro-esponja como a principal matéria-prima e utilizam fornos elétricos na etapa da aciaria (SANTOS, 2015). Ambos podem ser verificados na Figura 1.

Figura 1 – Processo de obtenção de tarugos em usinas integradas e semi-integradas



Fonte: Santos, 2015.

### 2.1.1 Utilização de água no processo siderúrgico

De acordo com Mierzwa e Hespanhol (2014), as águas podem ser utilizadas na indústria com diferentes fins, desde matéria-prima a transporte e assimilação de contaminantes. Na indústria siderúrgica o seu uso principal é como fluido de aquecimento e/ou resfriamento dos equipamentos e produtos internos. Esse uso permite que a água possua uma qualidade inferior, mas que atenda as condições de proteção que as tubulações e demais partes dos equipamentos requerem.

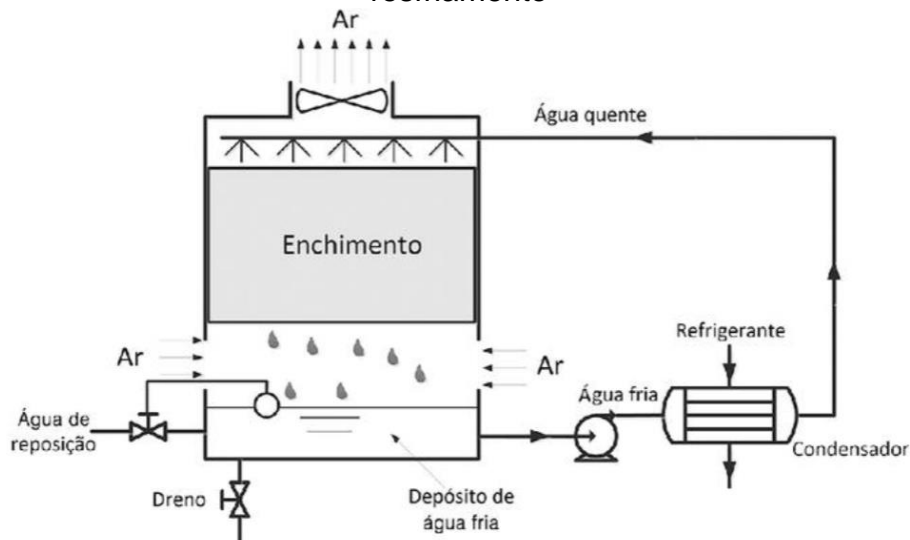
A água bruta, captada diretamente de rios ou outros recursos naturais hídricos, apresenta sólidos suspensos elevados e não apresenta qualquer tipo de tratamento prévio (MIERZWA e HESPANHOL, 2014). Para se obter as condições de utilização nos sistemas de resfriamento se faz necessário que essa água passe por um processo de tratamento que resulte em uma água tratada (ou clarificada) que atenda as condições ideais para o seu específico fim (MIERZWA e HESPANHOL, 2014).

A água industrial, utilizada como fluido refrigerante é destinada para os equipamentos, retira o calor necessário e é encaminhada para as torres de resfriamento para passar pelo processo de troca térmica, retornando à sua condição inicial (MIERZWA e HESPANHOL, 2014). O funcionamento das torres de resfriamento consiste em receber a água com elevada temperatura e promover uma troca térmica com o ar. Essa troca ocorre através do equilíbrio pela convecção e através do seu próprio calor latente pela evaporação, assim ocorre a condensação fazendo com que a água goteje e seja recebida e armazenada no depósito de água fria. Por meio de bombas o refrigerante é encaminhado novamente aos equipamentos e assim completa um circuito fechado, conforme ilustra a Figura 2 (STOECKER e JABARDO, 2018).

Ao percorrer as tubulações e conjuntos o meio carrega consigo materiais depositados ao longo do tempo de uso dos sistemas de refrigeração, causando uma elevação na quantidade de sólidos suspensos no meio, que por sua vez se depositam no fundo do recipiente de água fria (STOECKER e JABARDO, 2018). Além disso, a evaporação ao longo da torre também contribui para esse aumento. A purga, retirada do lodo formado pelas partículas, é realizada através de um dreno, e serve para melhorar a condição da água que retorna. Esse lodo posteriormente é encaminhado para tratamento de efluentes. A drenagem do efluente da piscina e as perdas por

evaporação geram uma redução de água significativa para o sistema e por isso a água deve ser reposta (MIERZWA e HESPANHOL, 2014).

Figura 2 – Representação esquemática do circuito de água em uma torre de resfriamento



Fonte: Stoecker e Jabardo (2018).

### 2.1.2 Parâmetros da água

O sistema de água descrito acima necessita de tratamentos químicos que servem para garantir o funcionamento de bombas, tubulações, e máquinas de forma segura e duradoura. Para o uso industrial, os parâmetros que devem ser atendidos são: dureza, alcalinidade, pH, turbidez, sólidos suspensos e dissolvidos, demanda química de oxigênio (DQO), compostos orgânicos, ortofosfato total, cloretos, cloro livre, sulfatos e alguns metais (MIERZWA e HESPANHOL, 2014). Esses podem ser tratados por produtos químicos flocculantes, coagulantes, inibidores de corrosão e biocidas antes do encaminhamento para o sistema (METCALF & EDDY, 2003).

A não conformidade dos parâmetros podem causar problemas e interferências diretas na refrigeração e atuação dos circuitos. De acordo com Metcalf & Eddy (2003), os principais problemas referentes a qualidade da água utilizada nas torres de resfriamento são:

- **Incrustação:** causada pela deposição de componentes, principalmente de carbonato, fosfato e sulfato de cálcio, quando há elevação da sua concentração além da solubilidade (GENTIL, 2022). A crosta formada pode reduzir a capacidade de troca de calor nos sistemas, bem como favorecer

o processo de corrosão. Tratamentos químicos para remover os fosfatos por precipitação podem ser utilizados (METCALF & EDDY, 2003);

- Corrosão metálica: pode ser causada pela qualidade de água em relação a componentes como sais e gases dissolvidos, sólidos suspensos, matérias orgânicas e crescimento biológico. O meio contaminado se torna capaz de realizar uma reação química ou eletroquímica quando entra em contato com o metal causando uma deterioração do material de forma estrutural mecânica, química e entre outras (GENTIL, 2022). Inibidores de corrosão podem ser inseridos na água de reposição para controlar o problema (METCALF & EDDY, 2003);
- Crescimento biológico: o calor e os nutrientes presentes nas águas das torres tornam o meio propício para o crescimento de organismos indesejáveis. Esses podem se acumular ao longo dos sistemas causando perdas de eficiência na troca de calor, favorecimento de corrosão e restrição na passagem do fluxo. Para impedir o crescimento é indicado o uso de biocidas em conjunto com outros produtos como reguladores de pH (METCALF & EDDY, 2003);
- Obstrução de trocadores de calor e condensadores (*fouling*): ocorre por precipitação de materiais de corrosão, crescimento biológico, sólidos suspensos e outros, principalmente em linhas de baixa velocidade. Assim como a incrustação e o crescimento biológico, diminui a efetividade da troca de calor nas tubulações dos equipamentos (GENTIL, 2022). Processos químicos e físicos podem ser utilizados para evitar as obstruções através de floculação, coagulação, filtração e uso de dispersantes (METCALF & EDDY, 2003).

### 2.3 ETA

As Estações de Tratamento de Água são responsáveis por tratar de forma química, física e/ou biológica a água bruta para torná-la, dentro de padrões estabelecidos, apropriada para o uso que se tem objetivo. Na indústria siderúrgica o método é implantado na água de reposição das torres de resfriamento que deve

apresentar condições adequadas para ser considerada como água clarificada e posteriormente industrial, evitando os problemas citados acima (MIERZWA e HESPANHOL, 2014). Os processos unitários básicos que fazem parte de uma ETA para tratamento de água bruta são de coagulação, floculação, sedimentação e filtração (SECKLER, 2017).

O processo inicia com a captação da água do recurso hídrico através de um sistema de bombeamento, passando por grades que impedem sólidos grosseiros como galhos e sujidades do solo e o fluxo segue para um reservatório de água. Nesse processo é importante o cuidado com o histórico pluviométrico do local para que não haja futuras perdas e danos ao sistema (BITTENCOURT e PAULA, 2014). Do reservatório, a água é encaminhada para a ETA, onde ocorrem as etapas a seguir.

1. Aplicação dos produtos químicos com ações flocculantes e coagulantes para formar flocos mais densos e consistentes de forma a atender as condições requeridas e auxiliar no processo seguinte (BITTENCOURT e PAULA, 2014);
2. A sedimentação ou decantação ocorre pela deposição das partículas sólidas, as separando da fase líquida e formando uma espécie de lodo. A velocidade dessa etapa depende da dimensão da partícula formada na fase anterior e da diferença da sua massa específica em relação ao líquido (BITTENCOURT e PAULA, 2014);
3. A filtração é a última etapa para garantir a qualidade de uma água clarificada. As partículas que não se depositam ao fundo do equipamento de decantação e permanecem no meio aquoso são removidas pelos filtros através da sua passagem por um leito granular que as retém (BITTENCOURT e PAULA, 2014).

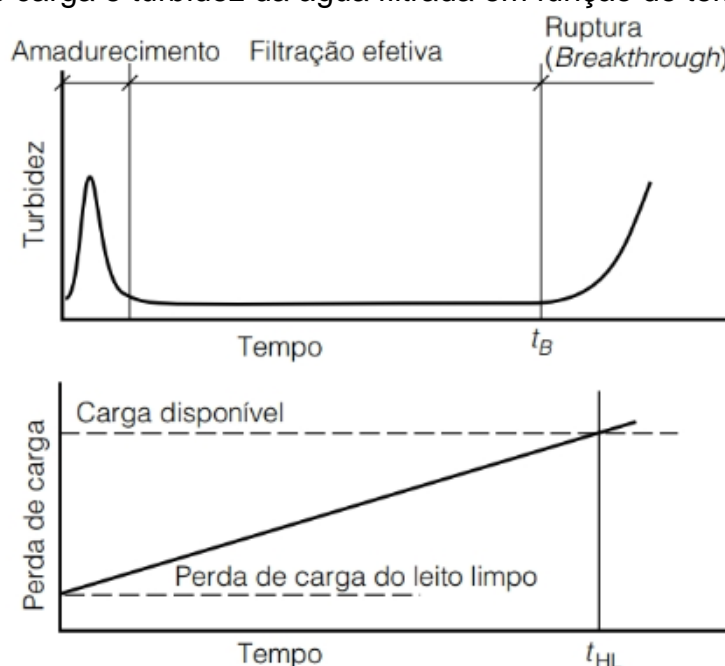
#### 2.4 Filtro de leito granular

Os filtros de leito granular, de camada filtrante ou meio filtrante, são indicados para a retenção de quantidades baixas de sólidos e níveis elevados de vazão de líquido (GOMIDE, 1980). Nas ETAs são colocados como a última etapa física do processo, caracterizando uma filtração convencional, de modo que retém os sólidos particulados que não são detidos nas operações anteriores. É composto por uma ou

mais camadas de material granuloso que adere aos sólidos em sua superfície e permite a passagem do meio aquoso. O seu fluxo segue contínuo e escoar através de um fundo falso com drenos, podendo ser de bocais (crepinas) (SECKLER, 2017).

Conforme as partículas são retidas no meio filtrante, a saturação do filtro eleva gradativamente ocasionando um aumento na sua perda de carga e reduzindo a eficiência de filtração (MIERZWA e HESPANHOL, 2014). Com a redução da eficiência, a turbidez do meio se eleva, como ilustra a Figura 3.

Figura 3 – Comportamento de um filtro rápido por gravidade em relação a sua perda de carga e turbidez da água filtrada em função do tempo



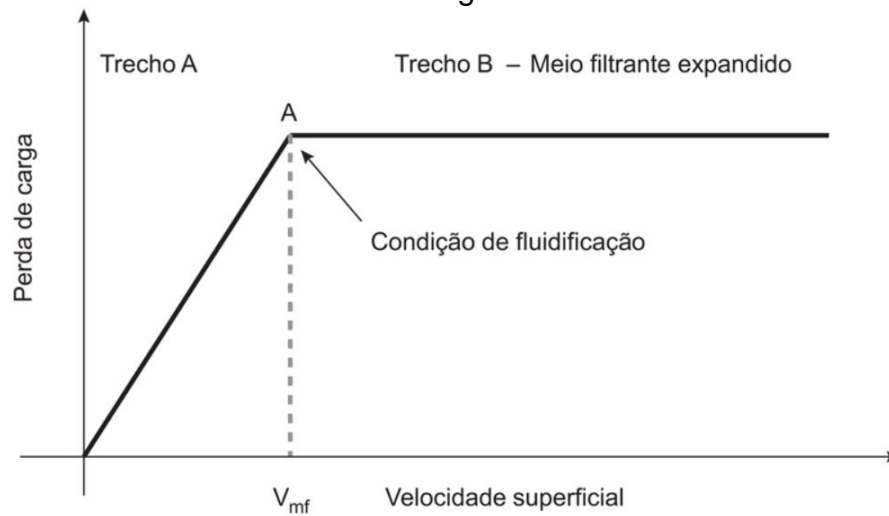
Fonte: Howe et al. (2016).

Para que a condição inicial de perda de carga do filtro seja reestabelecida, as partículas retidas devem ser retiradas do leito filtrante com uma forma de lavagem. O processo inicia com a injeção de água pelo fundo do filtro e faz o caminho contrário da água filtrada. Possui uma duração menor e é importante que seja eficaz na limpeza para que a filtração seja eficiente (HOWE et al., 2016).

A velocidade com que a água incide pelo fundo do filtro ocasiona uma perda de carga linear até que ocorra a expansão do meio filtrante. Após a expansão, como ilustra a Figura 4, a perda de carga permanece constante (SECKLER, 2017).



Figura 4 – Evolução da perda de carga em função da velocidade da água de lavagem

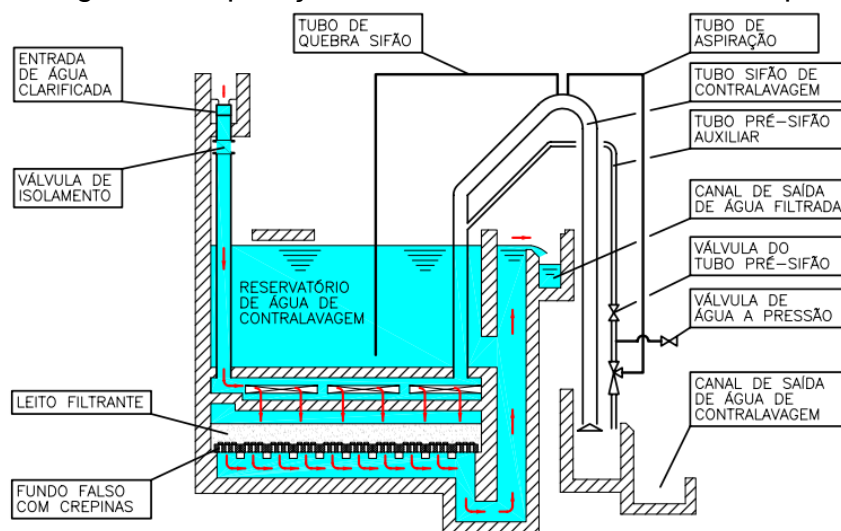


Fonte: Skeler (2017).

#### 2.4.1 Filtro autolavável

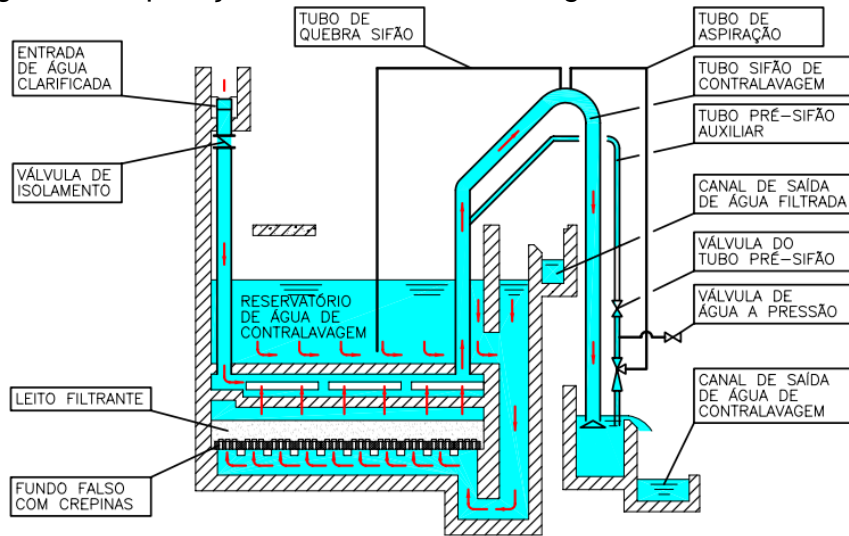
De acordo com Freire e Lima (2017), os filtros autolaváveis se caracterizam por possuírem seu próprio reservatório de água e entram em retrolavagem de forma automática quando atingem a sua perda de carga máxima. São equipamentos que não necessitam de equipamentos como bombas, já que atuam apenas através da gravidade. A Figura 5 ilustra e exemplifica o comportamento de um filtro em condições de filtração, enquanto a Figura 6 o seu comportamento durante a retrolavagem.

Figura 5 – Operação normal do filtro autolavável limpo



Fonte: Claritec (2008).

Figura 6 – Operação durante a contralavagem do filtro autolavável



Fonte: Claritec (2008).

#### 2.4.2 Definições e parâmetros dos filtros de areia

Segundo Seckler (2017), a taxa de filtração pode ser verificada através da Equação 1 e classifica o fluxo do filtro em lento: de 2 a 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia; rápido: 120 a 360 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e rápido de alta taxa: acima de 400 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, podendo chegar a 600 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia.

$$q = \frac{Q}{A_f} \quad (1)$$

Onde:

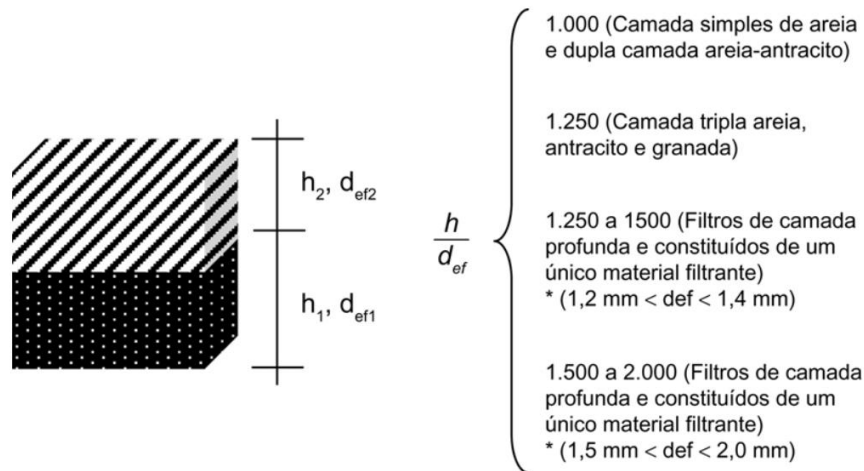
$q$  = taxa de filtração em m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia;

$Q$  = vazão afluyente à unidade de filtração em m<sup>3</sup>/dia;

$A_f$  = área de filtração em m<sup>2</sup>.

A definição quanto ao meio filtrante obedece a uma relação entre a altura do material filtrante ( $h$ ) e o seu diâmetro efetivo ( $d_{ef}$ ), conforme ilustra a Figura 7. O diâmetro efetivo representa 10% da massa do material filtrante que possui dimensão inferior, também podendo ser indicado por  $d_{10}$ . Caso o meio seja composto de mais de um material, deve-se levar em consideração a somatória de cada camada (SECKLER, 2017). Além disso, através da Figura 8, é possível definir uma relação entre o diâmetro, o coeficiente de uniformidade e a altura do meio filtrante com a sua taxa de filtração em m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia.

Figura 7 – Valores mínimos recomendados de  $h/d_{ef}$  para diferentes composições de meios filtrantes



Fonte: Skeler (2017).

Figura 8 – Composições tradicionais de meios filtrantes utilizados em sistemas de filtração e respectivas taxas de filtração admissíveis

Meio filtrante	$d_{10}$ (mm)	$C_u$	Altura (m)	Taxa de filtração ( $m^3/m^2 \cdot dia$ )
<b>Filtros rápidos por gravidade de camada simples (Tipo A)</b>				
Areia	0,45 a 0,55	Menor que 1,6	0,6 a 0,8	120
<b>Filtros rápidos por gravidade de dupla camada (Tipo B)</b>				
Areia	0,45 a 0,55	Menor que 1,6	0,2 a 0,3	240 a 360
Antracito	0,9 a 1,1	Menor que 1,6	0,4 a 0,6	

Fonte: Adaptado de Skeler (2017) apub. Kawamura (2000).

A taxa de filtração e o tipo do meio filtrante são fatores determinantes para a perda de carga no filtro. Por apresentar mais de um tipo de camada e com granulometria diferente, a perda de carga deve ser calculada através da somatória de cada uma delas, que pode ser verificada através da Equação 2 (SECKLER, 2017).

$$H = \alpha \cdot v \cdot \sum_{i=1}^n L_i \cdot S_{vi}^2 + \beta \cdot v^2 \cdot \sum_{i=1}^n L_i \cdot S_{vi} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{4,17 \cdot \mu \cdot (1 - \epsilon_0)^2}{\rho \cdot g \cdot \epsilon_0^3} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{0,48 \cdot (1 - \epsilon_0)}{g \cdot \epsilon_0^3} \quad (4)$$

$$S_v = \frac{6}{\varphi \cdot d_{eq}} \quad (5)$$

Onde:

$H$  = perda de carga no meio filtrante limpo em m;

$v$  = velocidade superficial em m/s;

$L$  = altura do material filtrante em m;

$S_v$  = área superficial específica do meio filtrante em  $m^2/m^3$ ;

$g$  = aceleração da gravidade em  $m/s^2$ ;

$\rho$  = massa específica da água em  $kg/m^3$ ;

$\varepsilon_0$  = porosidade do meio filtrante;

$\mu$  = viscosidade dinâmica da água;

$\varphi$  = coeficiente de esfericidade do material filtrante;

$d_{eq}$  = diâmetro equivalente do material filtrante em m.

Além da perda pela saturação do meio, existe a perda ocasionada pelo processo de retrolavagem. Essa ocorre quando o filtro satura até alcançar a sua máxima perda de carga disponível ou alcançar a máxima turbidez permitida (SECKLER, 2017).

### 3 Metodologia

#### 3.1 Área de estudo

O presente trabalho foi realizado especificamente na célula de utilidades de uma indústria siderúrgica produtora de aços longos. O setor de utilidades faz parte da área de manutenção central e é encarregada pelos os insumos necessários que a usina utiliza: ar comprimido, águas e gases. Além do fornecimento, a captação, tratamento, reposição e resfriamento das águas utilizadas no processo é de sua responsabilidade.

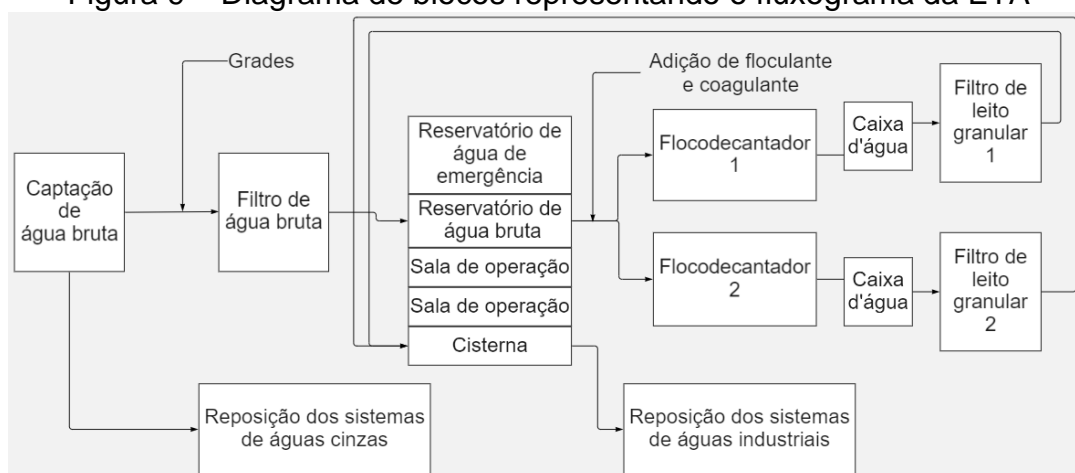
Os sistemas de águas os quais a célula é responsável são de contato direto, caracterizando a água cinza, e indireto, caracterizando a água industrial. Os sistemas de águas cinzas possuem processos físicos de decantação, filtração e remoção de sólidos, devida a alta concentração de carepa, por serem de resfriamento dos produtos dos setores de aciaria, laminação e trefila. Também portam torres de

resfriamento, assim como os sistemas de águas industriais responsáveis pela refrigeração de equipamentos e sistemas das demais áreas de produção.

Ambos os sistemas de águas descritos acima necessitam de tratamentos químicos que servem para garantir o funcionamento de bombas, tubulações, e máquinas de forma segura e duradoura. Os parâmetros que são medidos nesses sistemas semanalmente são: pH, sólidos suspensos, ortofosfato total e cloro livre. As medições são realizadas pela empresa terceira responsável pelo tratamento ou pelos operadores próprios. Os parâmetros que não atendem às faixas estabelecidas são tratados por produtos químicos floculantes, coagulantes, inibidores de corrosão e biocidas que são introduzidos nos depósitos (ou piscinas) de água fria das torres e assim encaminhados para os sistemas.

Como descrito anteriormente, são necessárias purgas para diminuir a quantidade de sólidos suspensos que são depositados ao fundo das piscinas. A ETA, responsável pela reposição dessa e outras perdas, possui duas unidades contendo um floccodcantador e um filtro de leito granular cada, conforme apresenta a Figura 9.

Figura 9 – Diagrama de blocos representando o fluxograma da ETA



O filtro de água bruta tem por objetivo reter toda a matéria provinda da captação do rio, como folhas, galhos, materiais orgânicos, resíduos do solo, plásticos, resíduos e outros, que não ficam nas grades. Atualmente o filtro necessita de retrolavagens em tempos inferiores ao desejado.

Os floccodcantadores atuam com a finalidade de decantar o material sólido que ultrapassa o filtro de água bruta através de deposição de lodo. No momento de chegada da água insere-se um agente floculante para auxiliar no processo. O lodo formado é removido através de purgas e encaminhado para Central de Tratamento de

Efluentes Líquidos (CETEL). O sobrenadante destina-se para uma espécie de caixa d'água, que apresenta a finalidade de deter a pressão proveniente do floccodecantador, e posteriormente segue o fluxo para o filtro de leito granular.

O filtro equivale como a última barreira do processo de tratamento e retém as partículas menores que não foram decantadas no processo anterior. São cilíndricos e operam apenas com a pressão atmosférica, não atuando como vasos de pressão. O seu meio filtrante inicial era constituído apenas por areia e posteriormente, através de uma reforma e tentativa de atingir o objetivo de produção, foi retirada e inserida camada dupla de areia e antracito.

Os filtros igualam-se e possuem um projeto inicial para fornecer cerca de 50 m<sup>3</sup>/h de água clarificada cada, contudo atualmente os dois filtros alcançam juntos cerca de 12 m<sup>3</sup>/h. O fornecimento atual é incapaz de abastecer todas as reposições e nesses casos a água bruta passa a ser utilizada. Essa adequação se torna problemática para os sistemas, visto que apresenta alto nível de impurezas.

### 3.2 Métodos e materiais

No primeiro momento foram realizadas pesquisas com a operação responsável pela célula com o propósito de concentrar o maior número de informações dos problemas da ETA, bem como tirar dúvidas de histórico de operação dos filtros. Ao mesmo passo foram entrevistadas as técnicas da empresa terceirizada responsáveis pelo tratamento e análise das águas de processo a fim de obter os parâmetros que são controlados.

Para fins de comparações o Filtro 2 foi utilizado como parâmetro visto que o Filtro 1 encontra-se fora de operação até o momento da realização dos levantamentos do presente trabalho. Ambos possuem a mesma operação e podem ser considerados iguais nos quesitos estruturais. A caracterização da mídia do filtro foi realizada através de documentos de compra que continham as informações técnicas necessárias como mostra a Tabela 1. As bocas de visita disponíveis foram abertas para que fosse possível a visualização do estado de conservação dos materiais filtrantes.

Tabela 1 – Caracterização das mídias atuais

<b>Característica</b>	<b>Areia</b>	<b>Antracito</b>
Diâmetro (mm)	0,45 a 0,55	0,8 a 1,7
Coefficiente de uniformidade ( $C_u$ )	< 1,6	< 1,7
Volume ( $m^3$ )	1	2
Altura (m)	0,24	0,48
Coefficiente de esfericidade ( $\varphi$ )	0,8	0,5
Porosidade ( $\epsilon$ )	0,43	0,55

O coeficiente de esfericidade e a porosidade da areia e do antracito foram retirados da literatura. De acordo com Brinck (2009) os valores apresentados na Tabela 1, são os mais utilizados.

O dimensionamento do filtro, apresentado na Tabela 2, foi conduzido com o apoio da operação por medição manual, visto que não existiam desenhos técnicos que apresentavam os valores necessários.

Tabela 2 – Informações dimensionais e de operação do filtro

<b>Dimensão</b>	<b>Valor</b>
Altura do reservatório de retrolavagem (m)	3,06
Altura do leito (m)	0,71
Altura total filtro (m)	5,16
Diâmetro interno (m)	2,3
Pressão de filtração ( $kgf/cm^2$ )	0,5
Pressão de retrolavagem ( $kgf/cm^2$ )	0,3
Vazão atual ( $m^3/h$ )	6
Vazão esperada ( $m^3/h$ )	50

Com base no referencial teórico foram realizadas as verificações sobre a taxa de filtração do filtro, o leito adequado, bem como a sua altura e a perda de carga dos meios. Esses parâmetros serviram como comparativos entre a condição que seria recomendada para o objetivo de produção de  $50 m^3/h$ , a atual com o funcionamento de  $50 m^3/h$  e a condição atual de  $6 m^3/h$ .

#### 4 Resultados e discussões

Através da Equação 1 e das classificações de fluxo, se tornou viável estimar a taxa de filtração atual do filtro e qual deveria ser a sua taxa em operação a qual foi destinado, bem como classificá-lo como apresenta a Tabela 3. Na condição atual o filtro se enquadra em um patamar de lento a rápido. O filtro na condição de projeto,

ou recomendada, se caracteriza como rápido, demonstrando que possui capacidade plena de operar com os parâmetros atuais.

Tabela 3 – Taxa de filtração e classificação de fluxo

<b>Parâmetro</b>	<b>Projeto</b>	<b>Atual</b>
Q (m <sup>3</sup> /h)	50	6
Q (m <sup>3</sup> /dia)	1200	144
Af (m <sup>2</sup> )	4,15	4,15
q (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	288,83	34,66
Classificação	filtro rápido	entre lento e rápido

A verificação visual através dos bocais de visita forneceu informações sobre o estado de conservação dos meios filtrantes, conforme a Figura 10. Foram identificados o antracito, a areia e uma quantidade de outro material que pode ser considerado como lama ou lodo.

Figura 10 – Bocal de visita do meio filtrante do filtro de leito granular 2.



A caracterização da mídia de projeto e a atual podem ser verificadas entre a relação de altura e diâmetro efetivo como demonstra a Tabela 4. Através dessa referência é possível afirmar que a relação não alcança o valor inicial de 1000 conforme indica a Figura 7, indicando que a mídia mais adequada para o uso seria somente a areia.



Tabela 4 – Relação entre h e  $d_{ef}$  das mídias recomendadas para o projeto e as mídias atuais

Projeto / Atual	Projeto		Atual	
	Areia	Antracito	Areia	Antracito
h (mm)	300	400	240,7	481,4
$D_{ef}$ (mm)	0,5	1	0,5	1,25
$h/D_{ef}$	600	400	481	385
$h/D_{ef}$ total (areia e antracito)	1000		866	

Com o meio filtrante definido, tornou-se possível conferir a perda de carga exercida pelas mídias durante a filtração através das Equações 2, 3, 4 e 5. Os resultados se encontram na Tabela 5, demonstrando os resultados para as condições pertinentes para fins de comparação.

Tabela 5 – Perda de carga do filtro com meio filtrante de areia e antracito em condições recomendada e atuais

Condição	Recomendada para 50 m <sup>3</sup> /h		Atual para 50 m <sup>3</sup> /h		Atual para 6 m <sup>3</sup> /h	
	Areia	Antracito	Areia	Antracito	Areia	Antracito
$\alpha$	1,74E-06	5,19E-07	1,74E-06	5,19E-07	1,74E-06	5,19E-07
$\beta$	0,3508	0,1323	0,3508	0,1323	0,3508	0,1323
v (m/s)	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0004	0,0004
Q (m <sup>3</sup> /dia)	1200	1200	1200	1200	144	144
Af (m <sup>2</sup> )	4,155	4,155	4,155	4,155	4,155	4,155
H (m)	0,2518	0,0662	0,2014	0,0519	0,0229	0,0056
<b>H total (m)</b>	<b>0,3179</b>		<b>0,2534</b>		<b>0,0286</b>	

Obtendo as perdas de carga da areia e do antracito para as diferentes condições conclui-se que a condição atual é cerca de onze vezes menor do que a de recomendação do filtro. Esse dado informa que o filtro deveria suportar com qualidade de operação perdas de carga maiores e conseqüentemente para vazões superiores a atual. Além do mais, a quantidade de lodo encontrado acima do antracito gera um menor espaço para a água que deve ser filtrada e adiciona um valor de perda de carga que não foi levada em consideração na somatória para os meios filtrantes. Logo, se a retrolavagem do filtro entra em funcionamento automaticamente quando o mesmo alcança o seu mais alto nível de saturação, essa parcela influência diretamente na operação. Ainda sobre o lodo, a densidade com que se apresenta demonstra que a

retrolavagem não está se mostrando eficiente, de forma que não consegue retirar os sólidos retidos nas mídias filtrantes gerando esse grande acúmulo sobre as mesmas.

## **5 Conclusões**

As etapas do processo que antecedem a ETA apresentam oportunidades de melhoria que auxiliariam a aumentar a qualidade da água produzida, como também a qualidade de operação. Não há grades suficientes que protejam o processo de resíduos externos oriundos do local de captação da água bruta, permitindo a passagem de materiais com largas dimensões para o equipamento posterior. Ainda, possibilitando uma adversidade similar, os filtros de água bruta encontram-se fora de operação por problemas de adequações, visto que a sua retrolavagem possui atualmente vazamentos durante o procedimento. Através desses funcionamentos equivocados, os sólidos que não são retidos são encaminhados para as etapas posteriores impedindo o funcionamento de forma eficiente.

A água que consegue ultrapassar o filtro e ser considerada como clarificada se mostra essencial para o processo, porém os filtros de leito granular apresentam condições discrepantes para o objetivo de produção. Como visto nos resultados, a escolha da mídia, bem como a sua altura interferem diretamente na operação do equipamento. O controle de qualidade das águas industriais é dificultado quando a reposição deve ser substituída apenas pela água bruta, pelos mesmos motivos citados anteriormente que tornam o sistema ineficaz. O custo dos tratamentos químicos se eleva da mesma forma que os custos com manutenção, principalmente nas estruturas das torres.

A retirada da lama, troca da mídia para as condições recomendadas, limpeza das crepinas e modificação da manobra de retrolavagem são opções práticas e viáveis que podem auxiliar os filtros a operar com as condições atuais do processo. O investimento para essa melhoria pode ser considerado baixo e o retorno geraria um impacto consideravelmente alto, dado que nesse caso o mínimo ganho acarreta em melhores resultados. Para modificações maiores, recomenda-se que sejam realizadas averiguações sobre a altura do reservatório de retrolavagem e do tubo sifão, de forma a melhorar a operação e elevar a capacidade de produção.

Através da atuação com reparos na ETA a água captada do rio apresentaria menores vazões, dado que a qualidade da água refrigerante seria elevada resultando

em uma diminuição na necessidade de purgas e por consequência de reposição das torres.

## **Agradecimentos**

Agradeço a todos que de certa forma foram essenciais para que esse trabalho fosse concluído. Aos meus pais pelo investimento durante esses anos. À minha mãe, por todo carinho, afeto e cuidado quando mais precisei de colo. Ao Bruno, que conseguiu me acalmar diante todas as adversidades e nunca me deixou desistir. Às minhas madrinhas, Josiane e Cláudia, por acreditarem em mim, me auxiliarem com todo o suporte, conhecimento e apoio diário. A todos os meus colegas e amigos que torceram por mim. Consegui(mos)!

## **Referências**

BITTENCOURT, Cláudia; PAULA, Maria Aparecida Silva D. **Tratamento de Água e Efluentes - Fundamentos de Saneamento Ambiental e Gestão de Recursos Hídricos**. São Paulo: Editora Saraiva, 2014. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536521770/>. Acesso em: 14 jun. 2022.

BRINCK, Nádia Cristina Pires. **AVALIAÇÃO DO TIPO DE MATERIAL FILTRANTE NO COMPORTAMENTO HIDRÁULICO DE FILTROS RÁPIDOS DE CAMADA PROFUNDA NO TRATAMENTO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO**. São Paulo, 2009. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/d728/9b6a3c7dc6c0968ccb7d29e22c0f0b1611c0.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2022.

CLARITEC. **FILTRO AUTO LAVÁVEL ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO**. 2008. Disponível em: [http://www.claritec.com.br/Funcionamento\\_filtro\\_auto\\_lavavel.pdf](http://www.claritec.com.br/Funcionamento_filtro_auto_lavavel.pdf). Acesso em: 14 jun. 2022.

FREIRE, Romero C.; LIMA, Rafaela de A. **AVALIAÇÃO E ADEQUAÇÃO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA COMPACTA TIPO CONVENCIONAL PRÉ-FABRICADA COM FILTROS MULTICELULARES DESCENDENTES – ESTUDO DE CASO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA RAINHA ISABEL/BOM CONSELHO-PE**. Recife: Congresso ABES, 2017. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2018/11/I-020.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2022.

GAUTO, Marcelo A.; ROSA, Gilber R. **Química Industrial**. Porto Alegre: Bookman, 2013. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565837613/>. Acesso em: 14 jun. 2022.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. Rio de Janeiro: GEN, 2022. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521637998/>. Acesso em: 14 jun. 2022.

GOMIDE, Reinaldo. **Operações unitárias**. São Paulo: Reinaldo Gomide, 1980.

HOWE, Kerry J.; HAND, David W.; CRITTENDEN, John C.; TRUSSELL, R R.; TCHOBANOGLOUS, George. **Princípios de Tratamento de Água**. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2016. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522124084/>. Acesso em: 14 jun. 2022.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Aço & Sustentabilidade**. 2020. Disponível em: [https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2019/08/SUSTENTAB\\_digital\\_2020.pdf](https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2019/08/SUSTENTAB_digital_2020.pdf). Acesso em: 14 jun. 2022.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **ESTATÍSTICA MENSAL**. 2022. Disponível em: <https://acobrasil.org.br/site/estatistica-mensal/>. Acesso em: 14 jun. 2022.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Site institucional**. 2022. Disponível em: <https://acobrasil.org.br/site/processo-siderurgico/>. Acesso em: 14 jun. 2022.

METCALF & EDDY. **Wasterwater Engineering – Treatment and Reuse**. New York: Metcalf & Eddy, INC., 2003.

MIERZWA, José Carlos; HESPANHOL, Ivanildo. **Água na indústria: uso racional e reuso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/175001/epub/0?code=QEM2OVFNs1kBDIIPiNgmYaRHZEQRu8pqYBmW9T6U+J+5FGhm0nhzchy1zdTjhW+RDcMYqnNC0Jqwy7n/GVs+lw==>. Acesso em: 14 jun. 2022.

REDAÇÃO SIDERURGIA BRASIL. **Cresce a produção de Aço no Brasil**. Portal da Siderurgia Brasil: 2022. Disponível em: <https://siderurgiabrasil.com.br/2022/02/17/cresce-a-producao-de-aco-no-brasil-2/#:~:text=As%20vendas%20internas%20em%20janeiro,verificado%20em%20deze mbro%20de%202021>. Acesso em: 14 jun. 2022.

SANTOS, Givanildo Alves dos. **Tecnologia dos Materiais Metálicos - Propriedades, Estruturas e Processos de Obtenção**. São Paulo: Editora Saraiva, 2015. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536532523/>. Acesso em: 14 jun. 2022.

SECKLER, Sidney. **Tratamento de Água - Concepção, Projeto e Operação de Estações de Tratamento**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2017. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595153851/>. Acesso em: 14 jun. 2022.

STOECKER, Wilbert F.; JABARDO, José M. Saiz. **Refrigeração Industrial**. São Paulo: Blucher, 2018. Disponível em:

<https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/164475/pdf/0?code=5TwPcROiFs4xVXw5KKLE4OZcx/MI4DY0ViT1HBNo88YwS1/nvOPPyGmdCjaJGZ7T7SjibSalcMD7rfuQNuJXQQ==>. Acesso em: 14 jun. 2022.