



MARCELO DIAS SILVA

**TORRES DE RESFRIAMENTO:
SUAS CARACTERÍSTICAS E BENEFÍCIOS DE UTILIZAÇÃO
PELAS INDÚSTRIAS**

MARCELO DIAS SILVA

**TORRES DE RESFRIAMENTO:
SUAS CARACTERÍSTICAS E BENEFÍCIOS DE UTILIZAÇÃO
PELAS INDÚSTRIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Anhanguera, como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em Engenharia Mecânica.

Orientador:

MARCELO DIAS SILVA

**TORRES DE RESFRIAMENTO:
SUAS CARACTERÍSTICAS E BENEFÍCIOS DE UTILIZAÇÃO PELAS
INDÚSTRIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Anhanguera, como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em Engenharia Mecânica.

BANCA EXAMINADORA

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

São Bernardo do Campo, 15 de novembro de
2021.

SILVA, Marcelo Dias. **Torres de resfriamento**: suas características e benefícios de utilização pelas indústrias. 2021. 28. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Anhanguera Educacional, São Bernardo do Campo, 2021.

RESUMO

Devido à grande demanda de produtos industrializados, resultado da globalização cada vez maior no planeta, o setor industrial se vê na necessidade de melhorar seus processos de produção, visando a eficiência, a eficácia do produto final, bem como a segurança na fabricação. Nos últimos tempos a atenção tem aumentado quanto à sustentabilidade envolvida nas atividades da indústria. Essa temática deve fazer parte da estrutura das empresas, haja vista o tema de preservação ambiental ser um ponto importante que difere as organizações mundo afora. Neste aspecto, o presente trabalho de conclusão de curso, através do uso de metodologia de revisão literária, feita a partir de pesquisas em livros, periódicos, entre outros bancos de dados a respeito do tema, traz à tona as características das torres de resfriamento instaladas nas fábricas para a refrigeração dos processos de produção, demonstrando os benefícios econômicos e sustentáveis desse equipamento nas empresas, como também compreendendo aspectos funcionais quanto ao uso dos tipos de sistema de resfriamento.

Palavras-chave: Torres de Resfriamento. Refrigeração Industrial. Sistemas de Resfriamento. Sustentabilidade.

SILVA, Marcelo Dias. **Cooling towers:** their characteristics and benefits for use by industries. 2021. 28. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Anhanguera Educacional, São Bernardo do Campo, 2021.

ABSTRACT

Due to the great demand for industrialized products, resulting from the growing globalization on the planet, the industrial sector is in need of improving its production processes, aiming at efficiency, the effectiveness of the final product, as well as manufacturing safety. In recent times, attention has increased regarding the sustainability involved in the industry's activities. This theme must be part of the structure of companies, given that the theme of environmental preservation is an important point that sets organizations around the world apart. In this aspect, this course completion work, through the use of literature review methodology, based on research in books, periodicals, among other databases on the subject, brings out the characteristics of the installed cooling towers. in factories for the refrigeration of production processes, demonstrating the economic and sustainable benefits of this equipment in companies, as well as understanding functional aspects regarding the use of the types of cooling system.

Keywords: Cooling Towers. Industrial Refrigeration. Cooling Systems. Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sistema Aberto de Circulação de Água.....	16
Figura 2 – Sistema semiaberto de circulação de água.....	17
Figura 3 – Sistema fechado de circulação de água.....	18
Figura 4 – Torre de resfriamento natural	22
Figura 5 – Torre de resfriamento mecânica.....	23

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. RESFRIAMENTO INDUSTRIAL.....	10
2.1 ASPECTOS GERAIS DA REFRIGERAÇÃO.....	10
2.2 SETORES INDUSTRIAIS QUE UTILIZAM SISTEMAS DE RESFRIAMENTO	11
3. SISTEMAS DE RESFRIAMENTO	15
3.1 SISTEMA DE RESFRIAMENTO ABERTO.....	15
3.2 SISTEMA DE RESFRIAMENTO FECHADO.....	17
4. TORRES DE RESFRIAMENTO.....	20
4.1 ASPECTOS GERAIS.....	20
4.2 FUNCIONAMENTO E MANUTENÇÃO DAS TORRES DE RESFRIAMENTO	23
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	25
REFERÊNCIAS.....	26

1. INTRODUÇÃO

Grande parte das indústrias, para seu bom funcionamento e eficiência do resultado de sua produção, deve aderir à refrigeração, tanto do ambiente quanto dos processos que se submetem à produção. A função de um sistema de resfriamento é remover o calor dos processos ou equipamentos. Alguns tipos de indústrias requerem meios adequados e específicos de resfriamento, se diferindo de acordo suas principais produções, como a indústria farmacêutica, a de alimentos e bebidas, as geradoras de energia, os Data Centers, as indústrias metalúrgicas, entre outras.

Esta revisão se justifica pelo fato de, desde a Revolução Industrial, as indústrias utilizarem a água como fluido de resfriamento de seus processos de produção, degradando o meio ambiente, fazendo uso indevido deste composto, sem necessariamente reutilizá-la ou ainda a descartando de maneira incorreta em relação aos parâmetros adequados prescritos pelas normas globais e nacionais de proteção ambiental.

Assim, houve a intenção de demonstrar a possibilidade de as indústrias – mesmo com a consciência de uma manufatura mais adequada aos novos tempos, como também demonstrando meios mais sustentáveis de fabricação de insumos e produtos – aderirem a maquinários e equipamentos que possam trazer economia e preservação ambiental. Dessa forma, surge então o problema de pesquisa definido como sendo: quais as características práticas de uma torre de resfriamento e qual a importância de sua funcionalidade para a indústria?

O presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo geral: apresentar as características das torres de resfriamento e sua funcionalidade para a indústria. Como objetivos específicos tem-se: compreender acerca das características do resfriamento industrial e seus aspectos de importância para a empresa; conhecer o sistema de resfriamento aberto e fechado; apresentar as definições e funcionalidades das torres de resfriamento, demonstrando os benefícios práticos advindos de sua utilização.

A metodologia utilizada foi o método da pesquisa bibliográfica, desenvolvendo uma revisão literária em relação aos textos divulgados na internet, periódicos, portais online de discussão do tema, como também de empresas que atuam na área de produção, manutenção e mecânica de equipamentos de resfriamento e refrigeração. Através de buscas de autores e pesquisadores sobre o processo de resfriamento

utilizado pelas indústrias em sites de banco de dados como: Scielo, Periódicos Unesp, Revista Científica da Engenharia, etc. O período dos artigos pesquisados foram os trabalhos publicados nos últimos 15 anos. As palavras-chave utilizadas foram: resfriamento industrial, torres de resfriamento, sistemas de refrigeração.

Por fim, ressalta-se que o presente trabalho foi dividido em três capítulos, sendo o primeiro destinado ao desenvolvimento do conceito sobre o resfriamento industrial, explorando os aspectos gerais e históricos sobre o tema, detalhando as indústrias e os setores que utilizam a refrigeração na sua produção, armazenamento ou distribuição. O segundo capítulo trata de compreender os sistemas de resfriamento, especialmente os sistemas de resfriamento aberto e fechado, comparando-os em explorações fundamentadas de autores, fabricantes e indústrias que utilizam cada um dos tipos, demonstrando o meio mais viável e sustentável de sua utilização. Por fim, sendo o foco principal desta revisão literária abordar sobre as torres de resfriamento de circuito fechado, desenvolvendo aspectos conceituais sobre suas características, como também os benefícios de utilização desse tipo pelas indústrias, o terceiro capítulo cumpre em expor os aspectos gerais sobre as torres, a história de desenvolvimento e aplicabilidade delas nas empresas e a demonstração clara do sistema fechado que as integram.

2. RESFRIAMENTO INDUSTRIAL

Para alguns processos industriais é necessário o resfriamento do maquinário e de alguns equipamentos que servem para a produção. Nesse procedimento produtivo acontece a geração de calor, que deve ser dissipado para manutenção da vida útil do equipamento, como também da qualidade daquilo que está sendo produzido ou modificado. Comumente, para este fim, é utilizada a água como fluido para dissipar o calor gerado por essa etapa da produção. A água é mais usada por conter algumas características únicas como a baixa viscosidade, condução térmica alta, densidade, fácil acesso e obtenção, como também se considera atóxica a sua composição (GUILHEN, 2013).

Depois que água é utilizada ela pode ser eliminada do sistema de resfriamento ou se resfriada para ser reaproveitada, com o objetivo de não expor sua composição à toxicidade. Antes, o a dispensação da água era a o método mais usual utilizado no sistema de resfriamento, porém, com o aumento da dificuldade na obtenção de água com um menor custo, bem como pela força de lei de proteção ao meio ambiente, os circuitos fechados e semifechados de resfriamento seriam então a melhor opção de resfriamento, sendo possível perceber tal realidade na maioria das indústrias nos dias atuais. Existem vários métodos de resfriamento da água utilizada para a fabricação, sendo destaca par fins deste estudo as torres de resfriamento, um equipamento que faz uso de processos de evaporação e transferência de calor a fim de resfriamento da água (MEIO FILTRANTE, 2017).

2.1 ASPECTOS GERAIS DA REFRIGERAÇÃO

A refrigeração industrial pode ser definida pelo uso de equipamentos e acessórios projetados para retirar o calor de processos ou materiais em grande escala, baixando a temperatura para um valor desejado. Com base em vários parâmetros, como a escala de produção, a diferença de temperatura, a precisão ou temperatura esperada, existem vários métodos usados para aplicar a refrigeração industrial. A refrigeração industrial tem sido de suma importância desde os primeiros anos do século XX (FERREIRA, 2012).

Na história, indústrias como a de alimentos, bebidas, como também as que atuam na área farmacêutica ou petroquímica, alcançaram avanços importantes graças

aos sistemas destinados à redução da temperatura de seus produtos ou processos, ou para conservá-los em condições suficientes, evitando problemas de segurança. Em indústrias onde processos biológicos estão envolvidos, produtos e procedimentos devem ser desenvolvidos e armazenados em condições ideais para atingir o rendimento máximo nas reações, ou para evitar a deterioração. Dessa forma, é necessário que haja a refrigeração para manter as condições seguras, evitando assim acidentes ou reações em cadeia, por exemplo, em compostos com baixo ponto de ebulição. Além disso, o resfriamento pode ser aplicado para se ter um ambiente adequado para pessoas ou máquinas trabalharem, como em indústrias onde altas temperaturas são produzidas ou ainda para equipamentos que precisam dissipar o calor gerado pelo procedimento aplicado (STOECKER; JABARDO, 2002).

2.2 SETORES INDUSTRIAIS QUE UTILIZAM SISTEMAS DE RESFRIAMENTO

Existem alguns setores que os sistemas de refrigeração e resfriamento são projetados para atender a determinados requisitos com base nas características específicas de cada um deles. As principais indústrias e setores que requerem sistemas de refrigeração ou resfriamento são: refrigeração distrital; produção de eletricidade; química e petroquímica; farmacêutica; alimentos e bebidas; Data Centers; entre outras indústrias. A refrigeração distrital é considerada um dos principais mercados de refrigeração é focado no fornecimento de ar resfriado para áreas urbanas e turísticas, mantendo assim os ambientes fechados confortáveis, independentemente do clima externo. Em grandes hotéis, resorts e áreas distritais, a produção de refrigeração é normalmente fornecida por esse tipo de sistemas de refrigeração (BRANDÃO, 2018).

Segundo Brandão (2018), o conceito de resfriamento distrital é baseado na geração de fluxos de resfriamento (principalmente água gelada) com diferentes tecnologias em uma planta central. Em seguida, é distribuído para diferentes locais de habitação e circulação de pessoas, como residências, escritórios, entre outros centros residenciais e comerciais. Ao centralizar a produção de resfriamento, uma maior eficiência é alcançada devido à otimização do equipamento industrial e do consumo de eletricidade em comparação com os sistemas de refrigeração individuais para cada edifício. Além disso, esse tipo de refrigeração age na redução nos custos de operação e manutenção em relação aos sistemas de refrigeração individuais.

Uma questão fundamental para a seleção do método de resfriamento mais adequado em cada caso é a disponibilidade de recursos hídricos ou de água do mar, já que é o mecanismo usual para gerar e distribuir fluxos de resfriamento. Torres de resfriamento e sistemas de condensação direta e indireta estão entre as tecnologias de resfriamento mais utilizadas. No entanto, em lugares como a região do Oriente Médio, por exemplo, onde o abastecimento de água é limitado, sistemas alternativos como *Chillers* geotérmicos ou sistemas resfriados com água do mar podem ser usados (BRANDÃO, 2018).

Segundo Atilio, gerente de vendas da WMF Solutions, citado no artigo do Meio Filtrante (2017), os *Chillers* são resfriadores de água, considerados como uma espécie de radiador a ar refrigerado por água. Para ele, estes equipamentos se refrigerados a ar exigem menos manutenção que se refrigerados por água, porém, o consumo de energia pode ser maior do que o último método. A troca térmica entre os dois é proporcional em relação à diferença de temperatura entre o fluido quente e o frio. Diferente das torres de resfriamento, os *Chillers* utilizam um fluido intermediário entre o que será resfriado e o ar ambiente, podendo ser, segundo o artigo, qualquer fluido que possa suportar as variações de temperatura. Essas diferenças de temperatura fazem com que os *Chillers* sejam menores que as torres, provocando grandes reduções de temperaturas (MEIO FILTRANTE, 2017).

Outro polo de uso da refrigeração está na produção de eletricidade, como em usinas de geração de energia. Este setor é conhecido pela combustão de diferentes combustíveis. Para alcançar uma maior eficiência, o ar de entrada deve estar em determinadas condições. Se a temperatura do ar de entrada for muito alta, sua densidade diminui, sofrendo um declínio na produção elétrica. Para evitar esse problema, sistemas de refrigeração são usados para resfriar essas correntes de ar. Outras partes dos sistemas de produção e distribuição, como geradores elétricos ou fontes de distribuição, também geram calor durante o funcionamento. Para minimizar as operações de manutenção, sistemas de refrigeração são necessários. Este equipamento de refrigeração é geralmente baseado em ciclos de compressão ou absorção (MEIO FILTRANTE, op. cit.).

O controle da temperatura é um fator importante para alcançar alta eficiência em transformações feitas pelas empresas químicas e petroquímicas. Destilações, cristalizações ou condensações são operações que requerem a remoção de calor; portanto, sistemas de refrigeração são necessários para a obtenção dos resultados

esperados. Assim, nestas indústrias, equipamentos de resfriamento de grande escala são utilizados em seus processos. Devido ao alto fluxo necessário e à localização das indústrias, geralmente a água do rio ou do mar é usada como refrigerante. Ciclos de compressão e ciclos de absorção são utilizados para resfriar a corrente quente após o calor ter sido dissipado nas diferentes operações. Além disso, uma vez que fluxos quentes também são necessários em outras partes do processo, trocadores de calor são normalmente aplicados para aquecer esses fluxos e maximizar a eficiência da operação (BRANDÃO, 2018).

A indústria farmacêutica está baseada em operações onde o cumprimento de rigorosas condições é essencial para o sucesso de cada processo. Muitos procedimentos de produção implicam em reações biológicas ou bioquímicas que só ocorrem em condições estritas nas quais as espécies microbiológicas geram compostos químicos em seu rendimento máximo. Um dos parâmetros mais importantes nesta indústria é a temperatura. Além disso, as cepas usadas para a produção de drogas e medicamentos são armazenadas em condições muito controladas, geralmente em baixas temperaturas. Por esses motivos, a indústria farmacêutica deve contar com sistemas de refrigeração altamente sofisticados que permitam o ajuste de temperatura de ambientes e unidades de armazenamento a temperaturas extremamente precisas. Para a Farmacêutica, o tamanho das unidades de refrigeração tende a ser menor, uma vez que a capacidade de produção de equipamentos para a indústria farmacêutica é limitada (SANCHES, 2015).

Em relação às indústrias de alimentos e bebidas, a refrigeração do armazenamento dos produtos, bem como da produção em cadeia deve ser mantida adequadamente à sua funcionalidade, sendo importante para preservar produtos e evitar possível contaminação microbiológica. Cada produto tem suas próprias condições ideais de armazenamento e preservação. No processo de preparação, a temperatura é um dos parâmetros mais importantes para garantir a segurança alimentar. Em produtos como peixes, aves, carnes, laticínios ou frutas, sistemas de refrigeração são necessários para manter os produtos em baixas temperaturas e estender o período de consumo recomendado (STOECKER; JABARDO, 2002).

Stoecker e Jabardo (2002) acrescentam que, outros tipos de fábricas que envolva a produção de alimentos e bebidas, como uma cervejaria, requerem vários sistemas de refrigeração para finalizar as reações biológicas e químicas que ocorrem durante o processo, visando preservar as condições ideais do produto, uma vez que

o processo seja concluído. Neste tipo de indústria, vários sistemas de refrigeração podem ser usados, sendo mais típico o uso de água resfriada. Existem outros refrigerantes que podem ser usados no lugar da água, mas é importante evitar a contaminação química em caso de derramamento. Assim, a água é o refrigerante mais recomendado para uso em indústrias deste tipo de produto, porém, quando é acabado e embalado, temperaturas abaixo de 0°C são necessárias, portanto, outros sistemas, como ciclos de compressão ou absorção, podem ser utilizados.

Os *Data Centers* armazenam servidores usados para processar e distribuir dados. Esses servidores produzem calor durante a operação e, se não for removido, a temperatura aumenta, podendo negativamente no funcionamento dos servidores. Para evitar esse problema, sistemas de resfriamento de ar, geralmente, são normalmente instalados nesses terminais, dissipando o calor produzido e minimizando as operações de manutenção. Esses sistemas de resfriamento são comumente baseados em ar ou líquido, dependendo das condições externas. Além disso, novos sistemas de refrigeração estão começando a ser mais ecológicos, usando água do mar como refrigerante (ZEITTEC, 2019).

Existem outras indústrias que também fazem uso da refrigeração como a naval e a metalúrgica, principalmente, que contam com refrigeração para suas operações ou para terem um ambiente confortável para seus trabalhadores desenvolverem suas atividades, como o uso de torres de resfriamento. Os sistemas de refrigeração para essas indústrias devem ser totalmente projetados para evitar problemas de curto e longo prazo que podem resultar em custos muito altos de manutenção e operação. A refrigeração é fundamental para que muitas indústrias funcionem adequadamente, podendo resultar em importantes benefícios econômicos e ambientais. Cada indústria tem seus próprios requisitos e variáveis, o que se reflete nos diversos sistemas de resfriamento e tamanhos disponíveis hoje em dia. Em consonância com isso, sistemas e soluções de refrigeração industrial como as torres de resfriamento de sistema fechado, são uma ferramenta importante para aumentar a eficiência e melhorar a produção (ZEITTEC, op. cit.).

3. SISTEMAS DE RESFRIAMENTO

Os sistemas de resfriamento, além de serem instalados para promoção de troca de calor em processos industriais, passa por fase de refrigeração, aumentando o desempenho, encurtando o tempo que é colocado nos processos, como também economiza fluídos de refrigerantes. Essa troca de temperatura ocorre quando em contato com o ar a água evapora, nesses casos o ar fica mais frio e com uma umidade menor do que 100%. Essa mudança de estado exige certa quantidade de energia que é retirada da água que fica para a forma de calor, esse fluido restante pode provocar mais vapor. Repetindo esse processo, sem que haja a evaporação dá-se o nome de sistema fechado de resfriamento, ao contrário do que evapora, conhecido como sistema aberto. Esses sistemas são responsáveis por 95% da refrigeração que a torre produz, e requer exploração quanto aos seus modos de procedimento (MULTIÁGUA, 2021).

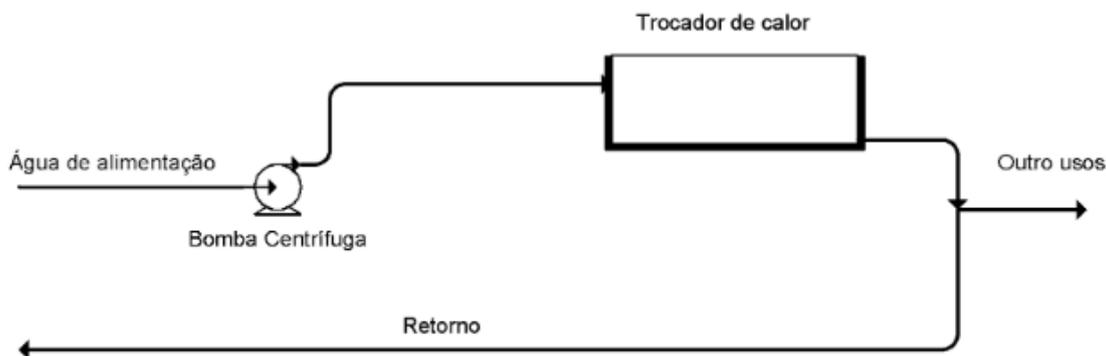
3.1 SISTEMA DE RESFRIAMENTO ABERTO

Sabe-se que os sistemas de resfriamento recebem três classificações, de acordo com o procedimento de refrigeração que é adotado: sistema aberto, semi-aberto e fechado. A implantação de cada um desses sistemas é proporcional à quantidade de água disponível, ao custo que a água é adquirida, a qualidade desse fluido, a temperatura exigida para o processo, o tipo de operação adotado pela indústria, a qualidade máxima do efluente industrial, etc. O sistema aberto de circulação de água de resfriamento é amplamente utilizado na indústria de processo para resfriar equipamentos e produtos, e para transferir calor residual para o meio ambiente. Devido à evaporação e vazamento de água, assim como da parte de escoamento do sistema, esse processo acarreta o consumo de recursos hídricos e a drenagem de dispensação (WANG et al., 2018).

À medida que os recursos hídricos diminuem ano a ano e a poluição ambiental séria aumenta, cada vez mais a atenção das indústrias tem se voltado à conservação da água e à redução de emissões do sistema aberto de resfriamento de água. Atualmente, a economia de água industrial inclui principalmente dois aspectos: usar equipamentos que possam economizar a água utilizada para o resfriamento ou tecnologia alternativa, como resfriamento de ar em vez de resfriamento de água,

otimizando a estrutura e os parâmetros operacionais do sistema de água como um todo (WANG et al., 2018). A Figura 1 abaixo, demonstra claramente um processo de sistema aberto de circulação de água em uma torre de resfriamento:

Figura 1 - Sistema Aberto de Circulação de Água



Fonte: Multiagua (2021, n.p.)

A Figura 1 representa um sistema aberto de circulação de água para fins de resfriamento industrial. O calor residual que há na rede de resfriamento é removido por uma água de resfriamento. Essa água entra na torre de resfriamento para liberar calor para o ambiente logo após sair da rede de resfriamento. Dá-se o nome de circuito aberto a este sistema, por conta da evaporação e vazamento de água que podem ocorrer durante o processo. Assim, após resfriada a água, ela retorna à rede para reaproveitamento. Por conta da evaporação, impurezas como o sal, por exemplo, podem ficar concentradas na água. Essa concentração de fluido pode resultar em danos ao equipamento. Por isso, é usada uma água de reposição, visando a substituição dos fluidos e as impurezas. O cálculo para a reposição de água deve levar em consideração a inclusão de todas as perdas de água, causadas pela evaporação, vazamento ou processo de limpeza (SILVA, 2015).

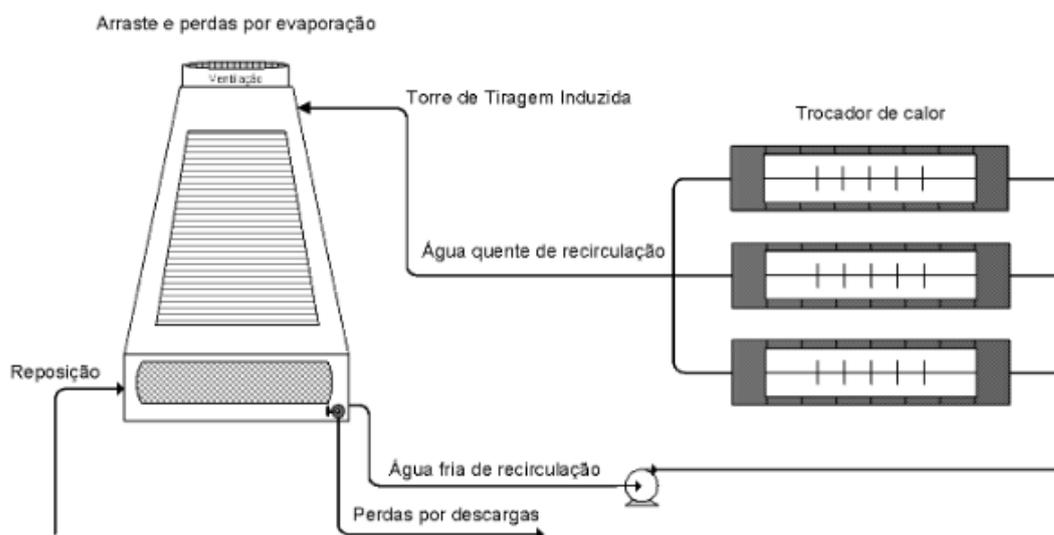
O modelo de resfriamento aberto é baseado nas seguintes suposições: o sistema está em um estado estável; a radiação de calor é ignorada; o calor específico da água é considerado independente das impurezas e da temperatura; o desvio da torre de resfriamento é insignificante; a transferência de calor de outras partes, exceto a rede de resfriamento e a torre de resfriamento, é ignorada e todas as perdas por vazamento de água do sistema são geradas na saída da torre de resfriamento (WANG et al., 2018).

Assim, este tipo de sistema é utilizado em plantas industriais que possuam uma disponibilidade grande de água, de qualidade suficientemente utilizável e baixa temperatura. Seu custo em relação o investimento inicial é um dos pontos fortes da adoção desse sistema, enquanto que a alta demanda de água, a complexidade do tratamento de água e a dispensação da água ao meio ambiente, são fatores negativos de sua adoção (MULTIAGUA, 2021).

3.2 SISTEMA DE RESFRIAMENTO FECHADO

Antes de demonstrações do sistema fechado de resfriamento de água para fins industriais, importante frisar a existência também do modelo de sistema semiaberto. Esse sistema é utilizado em plantas que dependem da circulação de grandes vazões. Utiliza uma quantidade baixa de água, permitindo o controle da temperatura, o tratamento de forma preventiva em relação aos problemas que ainda podem surgir com o uso da água como fonte de resfriamento. Porém, a recirculação é um processo geralmente caro, exigindo assim investimentos iniciais mais elevados em relação ao sistema de circuito aberto de água para resfriamento. Ainda, não pode ser adotado este modelo se caso a temperatura da água resfriada for muito inferior à temperatura do bulbo úmido (MULTIAGUA, 2021). Abaixo, na Figura 2, um exemplo evidente de sistema semiaberto de circulação de água em uma torre de resfriamento:

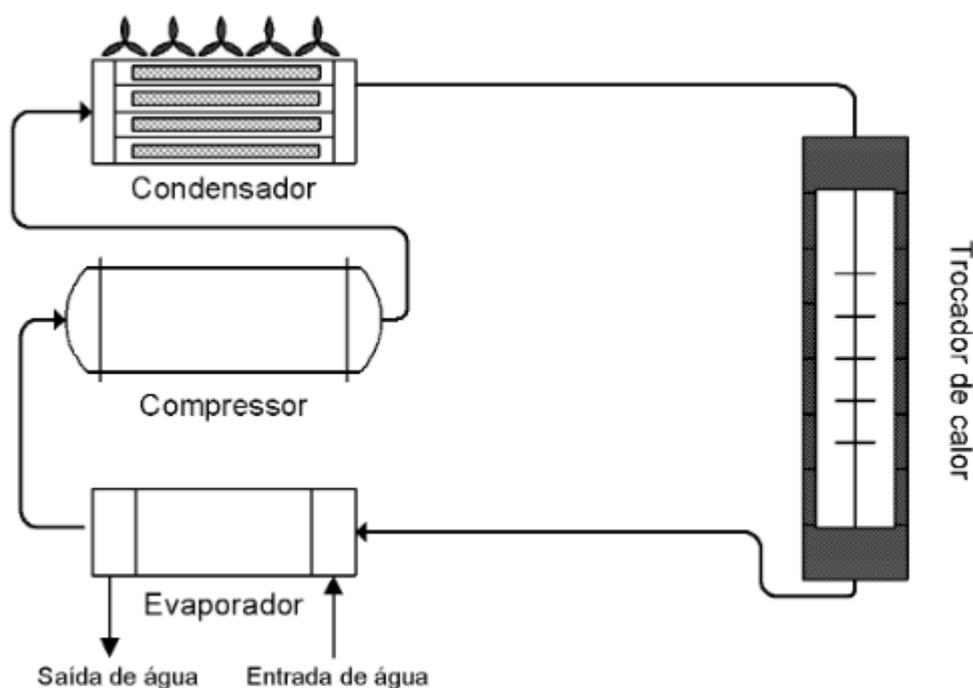
Figura 2 - Sistema semiaberto de circulação de água



Fonte: Multiagua (2021, n.p.)

Já o sistema de resfriamento fechado é indicado para procedimentos industriais que não é permitida a mistura de água com o ambiente externo ao industrial. A necessidade de conservação das características da água é o principal motivo de sua recirculação de maneira fechada. Outro motivo de sua adoção pelas fábricas está no objetivo de resfriamento de fluidos que não podem ter contato com o ambiente externo, possuindo passagens minúsculas, difíceis de limpar, que se, caso recebessem água poderiam formar crostas que danificariam o equipamento. O sistema fechado tem vantagens como um menor consumo de água, conservação da qualidade do fluxo, inexistência de incrustações, ou outra forma de contaminação externa (ALFATERM, s. d.). A Figura 3 abaixo, demonstra então o sistema fechado que há em uma torre de resfriamento industrial:

Figura 3 - Sistema fechado de circulação de água



Fonte: MultiÁgua (2021, n.p.)

O sistema fechado de resfriamento é preenchido com uma mistura de refrigerante de água de baixo custo, que é continuamente circulada sob pressão pelo processo ou máquina. A operação é simples não exigindo a necessidade de atribuir um operador para este processo. As bombas, o trocador de calor e o pacote de controle regulam a temperatura, as taxas de fluxo e a troca de calor usando uma quantidade fixa de refrigerante indefinidamente. E por ser um sistema independente,

não é necessário adicionar ou trocar água. Este processo tem a capacidade de economizar água e reduzir os custos de resfriamento (SILVA, 2015).

Esse sistema foi projetado para fornecer longevidade em um serviço de baixo custo e sem problemas, mesmo em ambientes difíceis. Como a mistura de água é feita em uma recirculação, é possível um resfriamento econômico e eficiente. Nas misturas de água, os congelamentos não acontecem e não há necessidade de água de reposição porque não há evaporação. Dessa forma evita-se a necessidade de obediência às regulamentações de uso de água e cobranças de dispensação em esgotos relacionadas ao descarte de água, como a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, por exemplo (BRASIL, 1997).

Os sistemas não contaminantes estendem a vida útil do equipamento. Como um sistema de circuito fechado, a unidade de resfriamento que adota esse modelo opera de forma limpa. E isso economiza tempo de inatividade e recursos financeiros à indústria. Sem água aprisionada, contaminantes, sujeira transportada pelo ar ou produtos químicos do tratamento de água como em um tipo aberto ou sistema de água de passagem única, a vida útil do equipamento de produção pode ser bastante aumentada porque a incrustação e a corrosão em bobinas, bacias de água e trocadores de calor são evitados (SILVA, 2015).

A operação contínua e de alta eficiência reduz a manutenção. A eliminação de incrustações e acúmulo de sujeira nas superfícies do trocador de calor e da água resulta em uma operação de alta eficiência. Ele também economiza o custo de reparo e manutenção do trocador de calor e o tempo de inatividade associado a ele. Outra razão para o serviço eficiente é que o fluxo, a temperatura e a pressão em operação são controladas constantemente, minimizando as inconsistências dispendiosas encontradas no resfriamento de água externo de passagem única. Assim, a perda de água por conta da mínima evaporação, como também maior controle sobre as temperaturas menores que a do bulbo úmido, e o tratamento preventivo são pontos fortes desse sistema. Enquanto que os recursos para sua instalação são maiores, devido à complexidade de sua construção, limitando vazões e circulação (MULTIÁGUA, 2021).

4. TORRES DE RESFRIAMENTO

Com o aumento da taxa de população em todo o mundo, tem havido um enorme aumento na taxa de necessidades e exigências para produtos industrializados. Isso tem forçado o setor industrial a fabricar cada vez mais produtos a cada dia, o que gera mais calor no processo de fabricação. As máquinas e processos das indústrias que geram enormes quantidades de calor devem ser resfriados continuamente para que essas máquinas possam continuar a operar com eficiência. A solução mais eficiente, eficaz e menos cara para remover esse calor é a instalação de uma torre de resfriamento (MEIO FILTRANTE, 2017).

Sabe-se que em muitos processos, existe a necessidade de remoção de uma certa carga térmica de um sistema, usando para esse procedimento a água como fluido de resfriamento. A escassez desse componente, aliado com questões de preservação do meio ambiente, levam a adoção de medidas econômicas e sustentáveis de uso da água para resfriamento e sua reutilização, depois de quente, para o mesmo sistema, gerando assim ciclo. Para que isso aconteça, a água passa por outro equipamento que resfria, esse equipamento é a torre de resfriamento evaporativa (*evaporative cooling tower*), a partir de então esse fluido volta para o círculo para retornar o processo de resfriamento (CORTINOVIS; SONG, 2005).

As torres de resfriamento são estruturadas e construídas como colunas que possibilitem a transferência de calor pelo contato entre duas correntes de fluidos, ou seja, as torres são uma ferramenta de remoção do calor residual. O calor é gerado por um processo, adiante, é liberado para a atmosfera. As torres de resfriamento são utilizadas em usinas nucleares, indústrias químicas, edifícios, sistemas de condicionamento de ar, etc. Especialmente no que diz respeito à sua utilização em usinas nucleares, ocorre a tiragem natural que é o processo em que o fluxo de ar ou água circula pela torre sem que haja uma ajuda de ventiladores ou condutores. Esse procedimento gera custos baixos para a indústria e um maior controle do processo de resfriamento (SAPUNARU et al., 2015).

4.1 ASPECTOS GERAIS

Segundo Cruz (2019, p. 13) a torre de resfriamento tem como função a “realização de troca térmica de água de condensação do sistema de ar condicionado

com o ar ambiente”. O processo ocorre mediante recebimento da água que sai das máquinas, sendo gotejada na parte superior da torre, descendo com o fluxo de ar em contracorrente à uma temperatura ambiente, produzido por ventiladores em tiragem forçada. Esse contato de correntes de ar e água provocam a evaporação, transferindo energia. A importância das torres se dá pela função de remoção de calor de forma que seja transferido para a atmosfera em caso de circuitos abertos, ou, sendo efetivado em um processo de recirculação em circuitos fechados (CRUZ, 2019; MULTIÁGUA, 2021).

Uma torre de resfriamento é um dispositivo de remoção de calor que usa água para transferir o calor residual do processo para a atmosfera. Todas as torres de resfriamento operam com o princípio de remover o calor da água por meio da evaporação de uma pequena porção que é circulada pela unidade. A mistura de água quente e ar mais frio libera calor de vaporização, fazendo com que a água esfrie (GUILHEN, 2013).

Uma torre de resfriamento é usada para resfriar a água e é um grande trocador de calor, expelindo o calor para a atmosfera e devolvendo a água mais fria ao resfriador. O Processo de resfriamento recomeça quando a torre recebe água quente de um resfriador. Essa água quente é conhecida como água do condensador porque obtém calor no condensador do resfriador. A função da torre de resfriamento é resfriar a água, para que ela possa retornar ao resfriador para coletar mais calor (FERREIRA, 2012).

Equipamentos de ar condicionado e processos industriais podem gerar calor na forma de grandes quantidades de água quente que precisam ser resfriadas. É aí que entram as torres de resfriamento industriais. A água superaquecida flui pela torre de resfriamento, onde é recirculada e exposta ao ar frio e seco. O calor deixa a água da torre de resfriamento em recirculação por meio da evaporação. A água mais fria então entra novamente no equipamento de ar condicionado ou processo para resfriar esse equipamento, e o ciclo de resfriamento se repete indefinidamente (BRANDÃO, 2018).

Quando o condensador quente vai para a torre de resfriamento, a água passa por alguns bicos que borrifam a água em pequenas gotas pelo enchimento, o que aumenta a área de superfície da água e permite uma melhor perda de calor por meio de uma maior evaporação. O objetivo do ventilador no topo da torre de resfriamento de água é trazer o ar da parte inferior da torre e movê-lo para cima e para fora na

direção oposta da água quente do condensador na parte superior da unidade. O ar carregará o calor através da evaporação da água da torre de resfriamento para a atmosfera (BRANDÃO, 2018).

Uma torre de resfriamento industrial é um componente-chave de muitos sistemas de refrigeração e pode ser encontrada em setores como usinas de energia, processamento químico, siderúrgicas e muitas empresas de manufatura onde o resfriamento do processo é necessário. Além disso, torres de resfriamento comerciais podem ser usadas para fornecer resfriamento de conforto para grandes edifícios comerciais, como aeroportos, escolas, hospitais ou hotéis (BRANDÃO, 2018).

Ressalta-se a existência de dois tipos de torres: a natural e mecânica. As torres naturais são projetadas com base na diferença de temperatura, criando um fluxo constante de ar, promovendo a refrigeração. São feitas como chaminés de concreto, em grande escala de tamanho, fluindo a água pela força gravitacional, trocando o calor. Já as torres mecânicas utilizam ventiladores para escoamento de ar pelo interior da torre. A temperatura do bulbo úmido do ar ambiente é o principal aspecto de que pode afetar o desempenho da torre. (CRUZ, 2019; TEIXEIRA, 2019). As figuras 4 e 5 abaixo, demonstram a diferença entre a torre de resfriamento natural e mecânica:

Figura 4 – Torre de resfriamento natural



Fonte: Mecânica Industrial (2018, n.p.).

Figura 5 – Torre de resfriamento mecânica



Fonte: COMFORT (2019, n.p.)

4.2 FUNCIONAMENTO E MANUTENÇÃO DAS TORRES DE RESFRIAMENTO

Vale destacar mais uma vez que as torres de resfriamento são sistemas de recirculação de água usados para remover o calor de equipamentos em processos industriais. Elas exigem manutenção especializada para garantir uma operação segura, eficiente e confiável, incluindo um programa de tratamento de água eficaz. Ao compreender como funcionam os sistemas de torre de resfriamento, os proprietários e operadores das instalações podem operar e manter seus sistemas com mais eficácia (SAPUNARU et al., 2015).

Os sistemas de torres de resfriamento funcionam usando água para extrair o calor residual de um sistema e ejetá-lo na atmosfera principalmente por meio da evaporação. Os três componentes principais de um sistema de resfriamento são a torre de resfriamento, a bomba de recirculação e o modificador de calor. A água passa primeiro por um modificador de calor onde absorve o calor. A água é então distribuída pelo topo da torre de resfriamento, onde o ar passa pela água quente, fazendo com que uma parte da água evapore. O calor é transferido da corrente de água para a de ar, elevando a temperatura e a umidade relativa do ar para 100%. Esse ar quente é então descarregado na atmosfera, resultando em um jato de água fria. A água

resfriada da bacia é então bombeada de volta por meio de um modificador de calor e o ciclo se repete (WELLINGTON, 2020).

Dispositivos de rejeição de calor evaporativo, como torres de resfriamento, fornecem temperaturas de água significativamente mais baixas do que aquelas alcançáveis com dispositivos de rejeição de calor seco ou resfriado a ar, alcançando assim um sistema de resfriamento mais econômico e eficiente em termos de energia. As torres de resfriamento economizam muita água e energia em comparação com aquelas que resfriam a ar ou sistemas de resfriamento de processo contínuo. Por exemplo, pode ser necessário 50% mais eletricidade para operar um *chiller* resfriado a ar de 400 toneladas do que um *chiller* resfriado a água de 400 toneladas. Com os programas de sistema de resfriamento adequados implementados, a construção de sistemas de resfriamento, armazenamento refrigerado e resfriamento industrial pode ser otimizada para a produção mais eficiente, minimizando os custos operacionais (MEIO FILTRANTE, 2013).

As torres de resfriamento exigem manutenção adequada para garantir a operação mais eficiente e reduzir o tempo de inatividade, especialmente as de circuito aberto. Existem vários desafios para as torres de resfriamento: conservação de água, corrosão, incrustação, depósitos e atividade microbológica. A água evaporada deixa impurezas dissolvidas da reposição, que podem se concentrar, causando incrustações, depósitos e corrosão. Esses problemas podem causar falha no equipamento de água, levando à paralisação da produção, custos adicionais e redução da eficiência. O tratamento profissional de água minimiza esses desafios por meio de suporte especializado, otimização focada e práticas recomendadas do setor (WELLINGTON, 2020).

As torres de resfriamento de circuito fechado, também conhecidas como resfriadores de fluido evaporativo, mantêm o sistema limpo e livre de contaminantes. Isso cria dois circuitos de fluidos separados: um circuito externo, no qual a água pulverizada circula pela bobina e se mistura com o ar externo, e um circuito interno, no qual o fluido do processo a ser resfriado circula dentro da bobina. Durante a operação, o calor é transferido do fluido quente na serpentina para a água pulverizada e, em seguida, para a atmosfera à medida que uma parte da água evapora. Além de aplicações de resfriadores e resfriamento de processos industriais, torres de resfriamento de circuito fechado são frequentemente usadas com sistemas de bomba de calor, onde o resfriamento de circuito fechado é necessário (ALFATERM, s.d.).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como visto, alguns processos industriais exigem o resfriamento para que a vida útil do equipamento seja mantida, bem como aquilo que está sendo produzido não se desfigure com o calor excessivo. Pensando nesse aspecto, foram então criados os mecanismos de resfriamento, que atua justamente na manutenção da temperatura dos equipamentos, utilizando-se como fluido, em grande parte, a água. Esse fluido é mais escolhido pela facilidade de obtenção, como também sua viscosidade auxilia, assim como a densidade, etc.

Assim, foram então levantados alguns conceitos acerca do processo de resfriamento que as fábricas adotam. Primeiramente, foi então ressaltado o sistema de resfriamento, evidenciando os setores industriais que fazem uso desse equipamento para manter a temperatura ideal dos processos, bem como do ambiente, como: refrigeração distrital; produção de eletricidade; química e petroquímica; farmacêutica; alimentos e bebidas; Data Centers; entre outras indústrias.

Além disso, de forma mais detalhada, demonstrou-se os tipos de sistema de refrigeração que as torres de resfriamento adotam: aberto ou fechado. O sistema aberto é utilizado na indústria para resfriar equipamentos e produtos, transferindo calor para o meio ambiente. Contém nesse sistema a forma de evaporação e vazamento de água, escoando de maneira que os recursos hídricos sejam importantes. O sistema fechado, por sua vez, não escoar a água utilizada no processo de resfriamento, é reaproveitada, sem que haja intervenção no meio ambiente dos fluidos utilizados.

Por fim, foi então demonstrada a forma sustentável que a adoção das torres de resfriamento, inclusive as de sistema fechado, podem ajudar o processo de produção, reaproveitando a água utilizada, economizando recursos, oferecendo uma melhor gestão da manutenção, evitando assim que os fluidos corroam o maquinário, ou que, com a emissão de vapor, ou escoamento de água, a empresa possa se enquadrar de maneira ilegal, seja na manutenção, como também na legalidade. Foi então possível chegar ao abjetivo de complexidade quanto ao sistema utilizado pelas empresas no que se refere ao processo de resfriamento, porém, resta ainda mais exploração quanto ao seu uso e benefícios possíveis em um aspecto sustentável.

REFERÊNCIAS

ALFATERM. **Torre de resfriamento circuito fechado.** s.n. Disponível em: <<https://www.alfaterm.com.br/torre-resfriamento-circuito-fechado>> Acesso em: 25 out. 2021.

BRANDÃO, Rafael Cardoso. **Análise do Resfriamento Distrital.** Rio de Janeiro: UFRJ/ COPPE, 2018. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/12120/1/RafaelCardosoBrandao.pdf>> Acesso em: 12 out. 2021.

COMFORT. **Torre de Resfriamento, o que é, como funciona e quando seu estabelecimento precisa de um! Saiba tudo em nosso blog.** Comfort, G.A. Ar Condicionado. 29 de novembro de 2019. Disponível em: <<https://comfortga.com.br/blog/Torre-de-Resfriamento-o-que-e-como-funciona-e-quando-seu-estabelecimento-precisa-de-um-Saiba-tudo-em-nosso-blog>> Acesso em: 28 out. 2021.

CORTINOVIS, Giorgia Francine; SONG, Tah Wun. **Funcionamento de uma torre de resfriamento de água.** Revista de Graduação da Engenharia Química, São Paulo , SP, v. 6, n. 14, p. 5-10, 2005. Disponível em: <<http://www.hottopos.com/regeq14/giorgia.pdf> >. Acesso em: 25 out. 2021.

CRUZ, Carlos Eduardo Pacheco de Jesus. **Automação de Torres de Resfriamento.** 2019, 62 p. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Centro Universitário Augusto Motta, Rio de Janeiro, 2019.

FERREIRA, Andreo Keven. **Torre de Resfriamento Didática.** 2012. Trabalho de Conclusão de Curso – Tecnologia em Manutenção Industrial – Câmpus Medianeira/Pr, 2012. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1379/1/MD_COMIN_2012_2_09.pdf> Acesso em: 12 out. 2021

GUILHEN, Ordiley. **Torre de resfriamento de água.** Vol. , Nº. 01, Ano 2013. Disponível: <<https://www.monografias.com/pt/docs/Torre-de-resfriamento-de-%C3%A1gua-P3C5RD87DLJF>> Acesso em: 12 out. 2021

LC, Z.; CAI, J.; SUN, W.; WANG, L. Analysis and Optimization of Open Circulating Cooling Water System. Water, 10, 1592. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/w10111592>> Acesso em: 25 out. 2021.

MECÂNICA INDUSTRIAL. **Torre de resfriamento. S.D.** Disponível em: <<https://www.mecanicaindustrial.com.br/557-torre-de-resfriamento/>> Acesso em: 28 out. 2021.

MEIO FILTRANTE. **Sistemas de resfriamento: um processo essencial para a indústria.** Meio Filtrante. Edição Nº 86 - Maio/junho de 2017. Disponível em: <<https://www.meiofiltrante.com.br/Artigo/1578/sistemas-de-resfriamento-um-processo-essencial-para-a-industria>> Acesso em: 12 out. 2021.

MULTIAGUA. **Cuidando do sistema de resfriamento.** 2021. Disponível em: <<https://multiagua.com.br/sistema-de-resfriamento/cuidando-sistema-resfriamento/>> Acesso em: 28 out. 2021.

PEREIRA, Josenilma de Sousa. **Consumo de água do sistema de resfriamento do Mangabeira Shopping, João Pessoa, PB e viabilidade de reuso de água de descarte para fins não potáveis.** Monografia (Graduação) - UFPB/CTDR; João Pessoa, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/15972/1/JSP07102019.pdf>> Acesso em: 28 out. 2021.

SANCHES, Cristina. **Os desafios da cadeia de frio na indústria farmacêutica.** LabNetwork, 11 de maio de 2015. Disponível em: <<https://www.labnetwork.com.br/especiais/os-desafios-da-cadeia-de-frio-na-industria-farmaceutica/>> Acesso em: 12 out. 2021.

SAPUNARU, Raquel Anna et al. **As Influências das Torres Hiperbólicas nas Usinas Termoelétricas: Um Foco Termonuclear.** Ciência e Natura, vol. 37, núm. 2, 2015, pp. 30-34. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/4675/467547642006.pdf>> Acesso em: 25 out. 2021.

SILVA, Amanda Fernandes da. **Otimização de torres de resfriamento.** Rio de Janeiro, 2015. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://186.202.79.107/download/otimizacao-de-torres-de-resfriamento.pdf>> Acesso em: 25 out. 2021.

STOECKER, W. F. JABARDO, J. M. **Refrigeração Industrial.** 2ª Ed. Editora Edgard Blucher Ltda: São Paulo, SP - 2002.

WELLINGTON. **Como funciona uma torre de resfriamento.** WWM Consultoria, 10 de abril de 2020. Disponível em: <<https://wwmconsultoria.com/como-funciona-uma-torre-de-resfriamento/>> Acesso em: 28 out. 2021.

ZEITTEC. **Climatização para Data Center com alta precisão, menos consumo e mais segura?** ZEITTEC - Data Center Solutions, 12 de novembro de 2019. Disponível em: <<https://zeittec.com.br/climatizacao-para-data-center/>> Acesso em: 10 out. 2021.