

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA- UNIFOR -MG
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA
NATÁLIA CRISTINA MARCELO DA SILVA

**ACOMPANHAMENTO DO TRATAMENTO E CONTROLE DO CRESCIMENTO DE
MICROORGANISMOS EM TORRES DE REFRIGERAÇÃO INSTALADAS EM UMA
CERVEJARIA**

FORMIGA - MG

2018

NATÁLIA CRISTINA MARCELO DA SILVA

ACOMPANHAMENTO DO TRATAMENTO E CONTROLE DO CRESCIMENTO DE
MICROORGANISMOS EM TORRES DE REFRIGERAÇÃO INSTALADAS EM UMA
CERVEJARIA

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Química do UNIFOR-MG, como requisito
parcial para obtenção do título de bacharel
em Engenharia Química.

Orientador: M^a Christiane Pereira Rocha
Sousa

FORMIGA - MG

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UNIFOR-MG

S586 Silva, Natália Cristina Marcelo da.
Acompanhamento do tratamento e controle do crescimento de
microrganismos em torres de refrigeração instaladas em uma cervejaria /
Natália Cristina Marcelo da Silva. – 2018.
44 f.

Orientadora: Christiane Pereira Rocha Sousa.
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) - Centro
Universitário de Formiga - UNIFOR, Formiga, 2018.

1. Sistemas de Refrigeração. 2. Biofilmes. 3. Tratamento Químico de
Água. I. Título.

CDD 628.16

Catalogação elaborada na fonte pela bibliotecária
Regina Célia Reis Ribeiro – CRB 6-1362

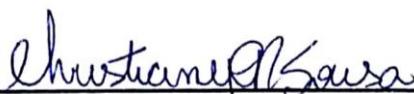
NATÁLIA CRISTINA MARCELO DA SILVA

ESTUDO DE CASO: ACOMPANHAMENTO DO TRATAMENTO E CONTROLE DO
CRESCIMENTO DE MICRORGANISMOS EM TORRES DE REFRIGERAÇÃO
INSTALADAS EM UMA CERVEJARIA

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Química do UNIFOR-MG, como requisito
parcial para obtenção do título de bacharel
em Engenharia Química.

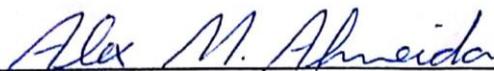
Orientador: M^a Christiane Pereira Rocha
Sousa

BANCA EXAMINADORA



Prof.^a. M.^a Christiane Pereira Rocha Sousa

Orientador



Prof. D.r Alex Magalhães de Almeida

UNIFOR-MG



Prof.^a. D.ra Ivani Pose Martins

UNIFOR-MG

Formiga, 7 de novembro de 2018

Dedicado à minha Maria e ao meu José, meus exemplos de vida.

AGRADECIMENTOS

“Se vi mais longe foi por estar em pé sobre ombros de gigantes” – Isaac Newton

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder o dom da vida e perseverança. Por nunca me deixar desistir e superar todos os obstáculos que encontrei durante a jornada.

A minha família, por acreditarem no meu potencial e sempre estarem ao meu lado, sendo meus pilares me fornecendo todo o tipo de apoio e ajuda.

Aos meus pais, Maria do Carmo e José Antônio, por não medirem esforços para que cada pequena conquista fosse possível de realização.

Agradeço imensamente ao meu irmão Gustavo, por estar sempre disposto a me ajudar nos momentos que mais precisei.

Aos meus amigos, Maria Carolina, Alisson e Ivo que estiveram presentes em todos os momentos destes cinco anos dividindo conquistas, alegrias, preocupações e histórias inesquecíveis.

A minha orientadora Christiane pela ajuda, tempo e muita paciência a mim dedicados.

Em especial ao José Ronaldo, que não mediu esforços e sempre me socorreu nos momentos de sufoco e incertezas.

A todos, que não hesitaram compartilhar o conhecimento a mim na elaboração deste trabalho.

RESUMO

A proliferação microbiológica e de algas pode ser considerada como um dos problemas mais comumente encontrados nos sistemas de refrigeração industrial. É responsável por gerar grandes danos a estrutura e equipamentos que o englobam, como tubulações, trocadores de calor, compressores e principalmente nas torres de resfriamento. Quando não controlada e tratada, causam o desabamento do enchimento da torre, formação do biofilme bacteriano, corrosão das estruturas metálicas e incrustações biológicas. Neste estudo, foi realizado o controle do crescimento de algas, através de biocidas e biodispersantes, em uma torre de resfriamento instalada em uma cervejaria. A adição dos químicos a água de reposição se deu através de bombas dosadoras instaladas na torre de refrigeração durante um período de cinco meses. Os parâmetros analisados foram os resultados das análises físico-química realizadas por uma empresa especializada, além da detecção visual. As análises apresentaram um valor de pH de 6,66 antes do tratamento, indicando que a água do sistema estava abaixo do recomendado. Com o início do tratamento, o valor de pH no decorrer dos meses aumentou gradativamente até alcançar o valor mínimo indicado, 7,0. Para os valores de STD, as amostras se mostraram dentro dos limites recomendados, com exceção do mês de julho. As demais análises como alcalinidade total, cloretos, dureza total, ferro e sílica se apresentaram dentro dos limites desejáveis. Os produtos dosados, apesar de não terem sido 100% eficientes, apresentaram um ótimo aproveitamento no controle do crescimento dos microrganismos e algas.

Palavras-chave: Sistemas de Refrigeração. Biofilmes. Tratamento Químico de Água.

ABSTRACT

Microbiological and algae proliferation can be considered as one of the most commonly encountered problems in industrial refrigeration systems. It is responsible for causing major damage to the structure and equipment that includes it, such as pipes, heat exchangers, compressors and especially in cooling towers. When uncontrolled and treated, they cause tower filler to collapse, formation of bacterial biofilm, corrosion of metal structures and biological encrustation. In this study, the control of algae growth was carried out, through biocides and biodispersants, in a cooling tower installed in a brewery. The addition of the chemicals to the replacement water was done through metering pumps installed in the cooling tower for a period of five months. The parameters analyzed were the results of the physico-chemical analysis performed by a specialized company, in addition to visual detection. The analyzes had a pH value of 6.66 before treatment, indicating that the system water was below the recommended level. With the beginning of the treatment, the pH value during the months gradually increased until reaching the indicated minimum value, 7.0. For the STD values, the samples were within the recommended limits, except for the month of July. The other analyzes, such as total alkalinity, chlorides, total hardness, iron and silica, were within the desired limits. The products dosed, although not 100% efficient, presented a great advantage in controlling the growth of microorganisms and algae.

Keywords: Refrigeration Systems. Biofilms. Chemical Water Treatment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Processo produtivo da cerveja em escala industrial.....	16
Figura 2- Esquema de um sistema de água de resfriamento semi-aberto	20
Figura 3- Exemplificação de uma torre de resfriamento	23
Figura 4 – Exemplificação do sistema de refrigeração estudado	32
Figura 5 - Crescimento de algas detectados na torre.....	33
Figura 6 - Compressor de amônia com sedimentos na mangueira	34
Figura 7 - Bombas instaladas para dosagem dos reagentes	35
Figura 8- Torre de resfriamento após o início do tratamento.....	39
Figura 9- Torre de resfriamento após início do tratamento.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Qualidade de água de reposição e seus limites ideais para funcionamento do sistema de Resfriamento do tipo semiaberto, com recirculação de água	29
Tabela 2 -Resultados das análises realizadas na água de reposição da cervejaria .	38

LISTA DE QUADRO

Quadro 1- Classificação dos Organismos presentes nos sistemas de refrigeração..25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TFM – Tanque de Fermentação e Maturação

TP – Tanque de Pressão

pH – Potencial hidrogeniônico

STD – Sólidos Totais Dissolvidos

Fe – Ferro

CO₂ – Dióxido de Carbono

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo geral.....	15
2.2	Objetivos específicos.....	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	Refrigeração Industrial.....	18
3.2	Sistema de refrigeração semiaberto com recirculação de água	19
3.3	Sistemas de refrigeração por amônia.....	21
1.1.1	Torres de resfriamento.....	22
3.4	Microrganismo em água industrial e suas consequências	23
1.1.2	Biofilme	26
3.5	Fatores que influenciam no crescimento microbiológico	26
1.1.3	Presença de nutrientes	27
1.1.4	pH.....	27
1.1.5	Temperatura.....	27
1.1.6	Luz solar.....	28
1.1.7	Velocidade do escoamento da água	28
3.6	Tratamentos empregados para controle de crescimento biológico em água industrial	29
1.1.8	Biocidas.....	29
3.7	Biodispersantes.....	31
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
4.1	Detecção do problema	33
4.2	Medidas de correção empregadas	34
4.3	Produtos.....	35
4.4	Equipamentos.....	35

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
6	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

Vários sistemas de refrigeração industrial utilizam as torres de resfriamento para absorverem e conduzirem calor de um equipamento como responsáveis pela troca térmica – em função das características operacionais dos sistemas. Algumas características do sistema como pH, temperatura, matéria orgânica, local de instalação e exposição a luz solar tornam a torre de resfriamento e o restante do sistema como locais favoráveis para a instalação e crescimento de microrganismos e algas (GENTIL, 2007).

O controle da proliferação de algas e microrganismos é um item essencial dos sistemas de refrigeração. O tratamento químico da água é uma das formas mais simples e economicamente viáveis para combater e minimizar os biológicos presentes no sistema (SILVA,2013). É realizado com a adição de biocidas e biodispersantes a água de refrigeração, suas formas de ação dependerão do tipo de biocida utilizado como também ao tipo de microrganismos a que se deseja atingir (PAVÃO, 2013).

Se não realizado o devido tratamento aos sistemas de refrigeração, os meios biológicos se propagam de forma descontrolada por todo o sistema, como nas torres de resfriamento, compressores, tubulações e trocadores de calor, gerando despesas e paradas desnecessárias aos processos produtivos, pois os depósitos formados pelos sedimentos biológicos causam entupimento, corrosão e incrustação nos sistemas impossibilitando aos equipamentos a operarem de forma eficiente (TRAVOTI, 2004).

2 OBJETIVOS

Esta seção tem a finalidade de apontar os objetivos específicos e objetivos gerais, respectivamente, do presente trabalho.

2.1 Objetivo geral

O foco do presente trabalho é o de acompanhar, avaliar e relatar os procedimentos e tomadas de decisão realizados para controlar o crescimento de microrganismos e algas em uma torre de resfriamento instalados em uma cervejaria.

2.2 Objetivos específicos

Traz como objetivos específicos:

- Inibir o crescimento de microrganismos e algas na água utilizada nas torres de resfriamento da cervejaria com adição produtos químicos formulados pela Empresa A;
- Acompanhar a eficiência do tratamento em questão e, caso este não esteja surtindo efeito, propor uma outra solução viável economicamente;
- Analisar os resultados das análises da água afim de detectar possíveis corrosões no sistema.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A produção de cerveja é um dos destaques no setor de bebidas do Brasil, juntamente com a fabricação de refrigerantes. Apesar de existirem várias opções no mercado que se diferem em aromas e sabores, todas seguem a mesma linha do processo de fabricação, sendo elas: mostura, fervura, fermentação, maturação e envase (CERVIERI JÚNIOR, *et al.*, 2014).

Nas indústrias, o processo de produção da cerveja (FIG. 1) tem início com o recebimento e armazenamento devido dos insumos. Após, dá-se sequência ao processo de produção da cerveja começando com a obtenção do mosto. Este é definido como uma solução aquosa de açúcares, que serão os alimentos para as bactérias que realizam a fermentação, dando origem ao álcool.

Figura 1: Processo produtivo da cerveja em escala industrial



Fonte: TRINDADE, 2018

Nesta primeira etapa o malte, já moído, juntamente com a água são adicionados na panela de mistura e é realizada a sua preparação física para obtenção das proteínas e do amido presentes no interior dos grãos de malte. Sua fabricação consiste exclusivamente em fenômenos naturais (SANTOS e RIBEIRO, 2005).

Após o preparo do mosto, este é transferido para a cuba de filtração, que possui peneiras na sua parte inferior, para separar os resíduos dos grãos de malte da parte líquida. A própria casca do malte presente no mosto atua como elemento filtrante. O resíduo sólido resultante é denominado bagaço de malte e é descartado do processo, podendo ser utilizado para outros fins como alimento de gado e adubo (SANTOS ; RIBEIRO, 2005).

O mosto, agora já filtrado grosseiramente, segue para a panela de cozimento, onde será aquecido até a sua ebulição, em torno de 100°C, por um período que pode variar de 60 a 90 minutos, quando atingirá a sua estabilização. Nesta fase, além da inativação das enzimas, coagulação e precipitação das proteínas, ocorre a sua esterilização. Ainda nesta fase, são adicionados os aditivos que dão as características organolépticas de cada estilo de cerveja (lúpulo, corante caramelo, extratos vegetais, etc.) (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

Na etapa seguinte, Santos e Ribeiro (2005) citam que é realizada a clarificação do mosto no equipamento denominado *Whirpool*, que nada mais é do que um tanque circular em que o mosto entrará tangencialmente em alta velocidade, realizando a separação das proteínas e outras partículas por efeito centrífugo. No seu centro ficará o resíduo, que consiste em um cone formado por proteínas e particulados sólidos pesados.

Dando fim ao processo de brasagem, o mosto é resfriado por um trocador de calor até atingir uma faixa de temperatura que pode variar de 6 a 12°C. A temperatura final do resfriamento, variará de acordo com o tipo de levedo a ser utilizado na fermentação (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

O mosto, agora já resfriado, é acondicionado no tanque de fermentação e maturação (TFM) juntamente com a levedura e permanecerá neste, por um período de tempo que será determinado pela atividade metabólica da levedura escolhida.

Segundo Santos e Ribeiro (2005) durante o período de fermentação, as leveduras transformam os açúcares presentes no mosto (glicose) em álcoois, CO₂, ácidos orgânicos, cetonas, ésteres e calor, como exemplificado na Equação 02:



Após finalizado o processo de fermentação da cerveja, se dá início a sua maturação. Neste período a cerveja ficará em repouso no, ainda no TFM, por uma faixa de tempo a fim de estabilizar suas características sensoriais e promover de modo grosseiro a separação de impurezas e microrganismos indesejadas através de decantação.

Mesmo após a sua decantação, ainda permanecem alguns indesejáveis, como proteínas e levedura, na cerveja que serão retirados por meio da filtração, processo que é geralmente realizado por meio de velas ou placas horizontais juntamente com o auxílio de terra diatomácea. Até seguir para a linha de envase, a cerveja é armazenada no Tanque de Pressão (TP) (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

Por último antes de seguir para envase, a cerveja recebe injeção de gás carbono, pois o gás gerado durante o processo não é suficiente para atender as características sensoriais exigidas. Após este processo, a cerveja já finalizada se encontra pronta para seguir para a próxima etapa, o envase.

O envase é uma das fases mais rigorosas da fabricação, isto se deve ao fato de que as fontes de contaminação do produto final são grandes, podendo comprometer todos os processos anteriores a ele, influenciando diretamente na qualidade do produto. Deve-se utilizar das boas práticas de fabricação e higiene.

O envase da cerveja pode acontecer por meio de garrafas, latas ou barris. Após envasada, a cerveja é então esterilizada pelo processo de pasteurização, a fim de lhe conferir um maior prazo de validade. Agora, a cerveja se encontra pronta para ser comercializada, sendo enviada para o consumidor final, distribuidoras de bebidas e redes de supermercados.

Para realizar todo o processo relatado, há uma grande demanda de processos de refrigeração, que serão responsáveis por todas as trocas de calor ocorridas durante a fabricação da cerveja. Os processos de refrigeração terão início com tratamento adequado da água utilizada no processo.

3.1 Refrigeração Industrial

A refrigeração pode ser entendida como o processo que acarreta a redução de temperatura de um corpo. Para o desenvolvimento das atividades industriais tornou-

se essencial a criação e uso de novas tecnologias de refrigeração, presentes em vários segmentos de indústrias, como: alimentícias em geral, frigoríficos, pescado, laticínios, bebidas, entre outras.

A capacidade de algumas substâncias, que são agentes refrigerantes de absorverem uma grande quantidade de calor quando passam do estado líquido para o estado gasoso, é a base da refrigeração industrial aplicada em grande escala.

Nas cervejarias, os processos de refrigeração são responsáveis por resfriar o agente refrigerante do sistema, que darão origem a chamada carga fria. Esta, por sua vez, reduzirá a temperatura do mosto no trocador de calor após o processo de brassagem, além de controlar a temperatura dos TFM e TP (GOMES, *et al.*, 2018).

Para a escolha de qual sistema de refrigeração será utilizado é necessário se levar em conta alguns fatores como: a disponibilidade de água na instalação da planta industrial, fatores econômicos e eficiência do processo desejado, juntamente com as características fornecidas pelos sistemas.

A utilização da água nos sistemas de refrigeração pode se dar por três tipos básicos de sistemas de refrigeração:

- a) Sistemas abertos;
- b) Sistemas fechados;
- c) Sistemas semiabertos com recirculação.

Os dois primeiros são denominados sistemas não evaporativos, onde a água após absorver calor, é inteiramente rejeitada ou resfriada por água de outro sistema, respectivamente. O terceiro sistema, denominado evaporativo, reutiliza a água após resfriada, em diferentes tipos de torres de refrigeração (DANTAS, 1988, p. 123).

3.2 Sistema de refrigeração semiaberto com recirculação de água

Segundo Trovati (2004) e Dantas (1988) a água é um dos fluidos mais utilizados em processos de refrigeração, e isso se deve ao fato de possuir um elevado calor específico pois:

a água se comporta como um ótimo sistema tampão para a energia disponível na atmosfera, isto é, muita energia é necessária para que sua temperatura se eleve pouco. Essa propriedade da água torna os sistemas biológicos (cuja percentagem em água é altíssima) resistentes a variação de temperatura (SOUZA, 1998, p. 7 apud REICHARDT, 1985)¹.

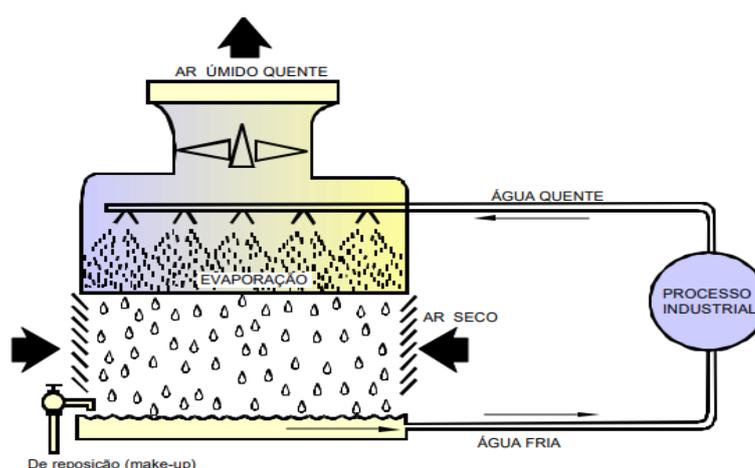
¹ REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 466p.

Com isso, pode-se entender que a água conseguirá absorver uma grande quantidade de calor do sistema sem que ocorra um volume muito grande de evaporação, gerando baixo custo de reposição do meio refrigerante se comparada com outros meios que possuem um calor específico mais elevado.

Os sistemas de refrigeração semiabertos têm como uma das principais características a economia da água utilizada no processo, pois sua perda é consideravelmente pequena. Dantas (1988, p. 125) afirma que “nestes sistemas uma parte da água é evaporada, e outra pequena parte é arrastada pelo vapor e pelo fluxo de ar.” Perde-se cerca de 0,25% do volume total por respingos e cerca de 0,85 a 1,25% da vazão de circulação para cada 5,5° C de diferencial de temperatura.

Pelo esquema de funcionamento de um sistema semi-aberto com recirculação demonstrado na FIG. 2, subentende-se que a água quente resultante do processo industrial é encaminhada para a torre de resfriamento, devido a troca térmica que realizará com o ar será resfriada. Segundo Dantas (1988, p.147) “quando a água quente do sistema entra em contato com o ar, um fluxo espontâneo de calor passa desta água quente para o ar frio. A quantidade de calor transferido por este mecanismo é denominada calor sensível”.

Figura 2- Esquema de um sistema de água de resfriamento semiaberto



Fonte: PONTREMOLÉZ, 2009, p. 6

Dando continuidade ao processo, o ar úmido e quente formado por essa troca térmica, sairá pela chaminé da torre levando consigo uma certa quantidade de água. A água, agora já resfriada, cai nas bacias de contenção da torre de resfriamento e se

mistura com a água de reposição que é inserida no processo. Após o término do processo, o ciclo, tem início novamente encaminhando a água resfriada para o processo industrial. As torres de resfriamento são partes cruciais de tais processos.

3.3 Sistemas de refrigeração por amônia

A amônia atende a todas as exigências de um bom agente refrigerante, trazendo ainda a vantagem de ser um refrigerante natural e com zero potencial de aquecimento global. Por estes motivos, é largamente utilizada em sistemas de refrigeração industrial, como em túneis de congelamento, instalações de processamento de alimentos e até em cervejarias (DANFOSS ENGINEERING TOMORROW, [20--]).

Os sistemas de refrigeração por amônia são formados por uma série de vasos e tubulações interconectados, que comprimem e bombeiam o agente refrigerante para um ou mais ambientes a fim de resfriá-los ou congelá-los a uma determinada temperatura. Seus sistemas são fechados, o que faz com que depois do carregamento inicial, o agente refrigerante seja adicionado ao sistema novamente apenas quando ocorrem vazamentos ou drenagem parcial ou total (VILELA; ALVES; ROMEIRO, 2004).

Seu princípio básico de funcionamento consiste na compressão, liquefação e expansão da amônia em sistema fechado. Percebe-se três componentes básicos em seus sistemas de refrigeração: o compressor, o condensador e o evaporador (VILELA; ALVES; ROMEIRO, 2004).

Dando início ao ciclo a amônia, em estado líquido, sai do seu reservatório passa pelo evaporador, que é formado por uma série de tubos (serpentinhas) que se encontram no interior do ambiente a ser resfriado. A amônia, então evapora nesses tubos captando o calor existente ali se aquecendo e passando para o estado gasoso (DANFOSS ENGINEERING TOMORROW, 2018).

Após esta etapa ela é aspirada pela bomba do compressor, que possui um dispositivo que impede a sua fuga e entrada no ar atmosférico, e é então encaminhada para o condensador (torre de resfriamento) onde será resfriada por uma corrente de água a baixa temperatura. A amônia que entrou no compressor em estado gasoso, agora em estado líquido se encaminhará para o seu reservatório fechando o ciclo (VILELA; ALVES; ROMEIRO, 2004).

1.1.1 Torres de resfriamento

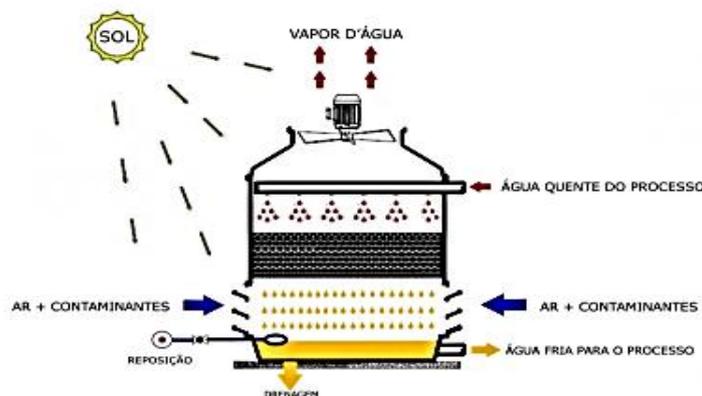
As torres de resfriamento são equipamentos responsáveis pelo resfriamento da água através da troca de calor com correntes de ar, utilizando processos de convecção naturais ou induzidos.

Em sistemas evaporativos, a água que sai dos trocadores de calor é distribuída no topo das torres de resfriamento, onde há um enchimento interno para melhor espalhar a água. Ar ambiente é insuflado na contracorrente ou corrente cruzada com a água que desce. Por meio desse contato líquido – gás, parte da água evapora, e ocorre seu resfriamento. A evaporação causa o abaixamento da temperatura da água que escoar ao longo da torre de resfriamento, pois para evaporar, a água precisa de calor latente, e esse calor é retirado da própria água que escoar pela torre (PONTREMOLÉZ, 2009, p. 22-23).

A FIG. 3, exemplifica uma torre de resfriamento com ventilação induzida, pois seus ventiladores estão situados na parte superior da torre. A água proveniente dos resfriadores de processo é alimentada e distribuída no topo da torre de resfriamento, que possui um enchimento interno para melhor espalhar a água. O ar que é proveniente do ambiente e dos ventiladores do topo da torre é insuflado através do enchimento, em contracorrente ou corrente cruzada com a água que desce. Através da interação do líquido com o gás, parte da água evapora ocorrendo assim o resfriamento da água de refrigeração.

De acordo com Pontremolez (2009), ela apresenta como principais características, o fácil controle das condições operacionais, como velocidade e quantidade de ar e como consequência a temperatura da água fria; não possui restrições para a localização dos equipamentos. Em contrapartida possui um maior consumo de energia na operação dos ventiladores e um maior custo de manutenção.

Figura 3- Exemplificação de uma torre de resfriamento



Fonte: KORPER, 2016.

Como exemplificado na FIG. 3, as torres de refrigeração possuem como agravante a entrada de ar para dentro do seu sistema que leva consigo alguns contaminantes, como microrganismos e poeiras provenientes do meio. Quando há a formação de algas e fungos no sistema na bacia da torre de resfriamento, observa-se uma queda de eficiência, deformação e desprendimento do recheio da torre de resfriamento, além do desempenho da rede de trocadores de calor.

3.4 Microrganismo em água industrial e suas consequências

Trovati (2004, p. 42) afirma que “a água é o habitat natural de milhares de seres vivos, desde microrganismos unicelulares até animais superiores. [...] O crescimento exagerado de microrganismos [...] é sem dúvida um dos grandes problemas encontrados nestes sistemas”.

De acordo com Dantas (1988, p. 191) os sistemas de refrigeração semiaberto com recirculação de água são os que apresentam o maior risco de contaminação por microrganismos e isto se deve ao fato de funcionarem como lavadores de ar, absorvendo gases e poeiras a que estão expostos no ambiente de instalação. Esta poeira, quando em contato com água, se dissolve e libera uma grande quantidade de microrganismos que se proliferam.

A reprodução destes microrganismos causa imensos prejuízo para a indústria podendo ser catastróficos, estes variando desde ordem técnica a econômica, gerando gastos e paradas de manutenção em equipamentos não previstos e programados. (TROVATI, 2004)

Os microrganismos encontrados em sistemas de refrigeração são: algas, bactérias e fungos. Eles são classificados em dois tipos:

- a) Planctônicos: São aqueles que se encontram dispersos no líquido e movimentam-se junto com ele, sem tendência a se depositar ou aderir as superfícies do sistema.
- b) Sésseis: São os maiores causadores de problemas, isto por se desenvolverem aderidos as superfícies do sistema dos equipamentos e tubulações, dando origem ao chamado biofilme (slime).

Cada tipo de microrganismo presente na água gera um problema em específico e isto se deve a sua morfologia e fisiologia. No QUADRO 1, pode-se observar os tipos de microrganismos encontrados, suas classificações bem como os principais problemas por ele causados.

Quadro 1- Classificação dos Organismos presentes nos sistemas de refrigeração

Organismo	Classificação	Fonte de energia e nutrientes	Principais problemas gerados
Bactérias: aeróbicas ou anaeróbicas	Formadoras de depósitos (slime)	Diversos compostos inorgânicos e/ou orgânicos. Fazem quimiossíntese (heterótrofas)	Formam depósitos densos e aderentes. Podem restringir o fluxo de água e promover o crescimento de outras espécies de seres. Prejudicam a troca térmica em equipamentos
	Formadoras de esporos		Ficam inertes quando o ambiente se torna hostil, retornando ao estado ativo quando fica favorável de novo. Difícil eliminação completa. Na forma de esporulada, costuma não causar problemas.
	Depositantes de ferro		Causa oxidação do ferro e subsequente deposição dos óxidos insolúveis.
	Nitrificantes		Geram ácido nítrico quando ocorre contaminação da água com amônia. Podem causar corrosão severa.
	Redutoras de Sulfato		Reduz os sulfatos dissolvidos na água a sulfetos. Geram corrosão localizada severa.
	Anaeróbicas corrosivas		Secretam substâncias corrosivas. São encontradas embaixo de biofilmes, tubérculos de processos corrosivos ou incrustações.
Fungos	Leveduras	Material orgânico (heterótrofos)	Causam degradação da madeira. Podem combinar-se com outras formas de vida (bactérias, algas), acentuando o processo de slime. Fazem decomposição da matéria orgânica morta, causando mal odor. Podem obstruir tubulações e acessórios.
	Filamentosos		
Algas	Unicelulares	Luz solar. Realizam a fotossíntese (autótrofos)	Crescem em áreas expostas a luz solar. Podem causar obstrução de tubos, bicos de aspersão e equipamentos. Podem se depositar sobre recheios das torres, causando desabamento. Quando morrer, podem servir de alimento a fungos e bactérias (mal odor).
	Superiores		

Fonte: (TROVATI, 2004, p. 44)

1.1.2 Biofilme

O biofilme pode ser compreendido como uma comunidade de microrganismos cercados pela lama que secretam, podendo estar fixo tanto em uma superfície viva como inanimada, desde que haja contato com a água (PAVÃO, 2013). Se apresenta protegido por uma substância mucilaginosa, composta por polissacarídeos, proteínas e gorduras denominadas glicocálice (TROVATI, 2004).

Este, além de proteger os organismos do contato direto com a água, consegue comprometer a ação dos agentes empregados no tratamento, pois o agente não consegue atingir as camadas celulares interiores dos depósitos (TROVATI, 2004).

A formação do biofilme nas torres de refrigeração e conseqüentemente no restante dos equipamentos do processo, diminuem a eficiência do processo de troca térmica por restringirem o fluxo de água no sistema, abaixando consideravelmente a eficiência do processo. Tal deposição acontece principalmente nas áreas de baixa velocidade da água (DANTAS, 1988).

A composição do biofilme depende de algumas variáveis como pH, temperatura, pressão e quantidade de oxigênio dissolvido. Cerca de 80 a 95% da sua composição é formada por água e os microrganismos representam apenas 10% da massa total do biofilme.

Alguns fatores ambientais a que o sistema de refrigeração está exposto contribuem para o crescimento microbiológico e conseqüentemente a formação do biofilme.

3.5 Fatores que influenciam no crescimento microbiológico

De acordo com Trovati (2004), os seres vivos possuem uma ótima característica, a de adaptação ao meio em que se encontra para conseguir a sua sobrevivência, e isto pode variar desde um pH totalmente ácido a pressão e temperaturas elevadas. Nas torres de resfriamento, as características ambientes podem ser consideradas mais amenas o que tornam o meio totalmente favorecido para o seu crescimento.

Dantas (1988) diz que a luz solar, o dióxido de carbono e alguns minerais, são de suma importância para o surgimento e adaptação de algas no meio onde os fatores se encontram, propiciando o surgimento das denominadas algas verdes. Isto se deve

ao fato de estes organismos possuírem cloroplastos que são capazes de captar e converter a luz solar em energia química.

1.1.3 Presença de nutrientes

Para a sobrevivência e reprodução de qualquer ser vivo a presença de nutrientes no meio em que se encontra é fundamental. Com os que se encontram nas torres de resfriamento não é diferente. Se expostos a nutrientes orgânicos e inorgânicos tais como:” açúcares, aminoácidos, proteínas, amônia, gorduras e/ou ácidos graxos, fosfatos, nitratos, sulfatos, potássio, sódio, vários outros íons e uma infinidade de outras substâncias” cria-se o meio perfeito para a sua vivencia (TROVATI, 2004).

1.1.4 pH

A fim de se controlar a corrosão de partes metálicas das tubulações do sistema de resfriamento, o pH da água de circulação da torre deve ser mantido entre 6,5 e 8,5. Bactérias e fungos possuem uma faixa de pH ótima para o seu crescimento. Para a primeira, se exposta a um ambiente com pH neutro a ligeiramente alcalino e para o segundo, um pH ligeiramente ácido cria-se o ambiente perfeito para a sua instalação, se aliado a outros fatores. As algas por sua vez, crescem em um pH que pode variar de 4,5 a 9,3 (DANTAS, 1988).

1.1.5 Temperatura

“Nos processos de resfriamento, são encontrados vários gradientes de temperaturas ao longo do circuito, o que favorece o crescimento de certas espécies de modo localizado “ (TROVATI, 2004, p. 50).

Segundo Trovati (2004) a grande maioria dos organismos vivos vivem em temperaturas de 10 a 45° C, porém bactérias podem sobreviver a temperaturas extremas, podendo variar abaixo de 0° C e acima a 100°C.

Quando expostos a temperaturas baixas, as bactérias entram em um estado de hibernação reduzindo a quase zero seu metabolismo, ela permanece neste estado

até ser exposta a um ambiente com temperatura favorável ao seu crescimento novamente (SALSA, 2003).

Dantas (1988) aponta que as algas crescem preferencialmente em águas que possuem a faixa de temperatura variando de 15 a 60°C.

1.1.6 Luz solar

De acordo com Pavão (2013), as algas são seres clorofilados, obtendo assim energia através da luz solar direta ou indiretamente.

1.1.7 Velocidade do escoamento da água

A água possui como característica mecânica movimentar e remover sedimentos biológicos depositados em circuitos fechados de resfriamento. Em locais em que a água se movimenta a uma velocidade muito baixa, formando depósitos de materiais e/ou adesão de biofilme. Para que isso não ocorra durante o projeto do sistema deve-se evitar ao máximo locais onde a taxa de circulação de água seja baixa. (TROVATI, 2004)

3.6 Qualidade da água de refrigeração industrial

De acordo com Peres (2008), não há nenhuma legislação e vigência ou norma internacionalmente aceita que estabeleça um padrão de qualidade para águas utilizadas em sistemas de resfriamento. Autores e empresas atuantes na área do tratamento de águas adotam alguns critérios de qualidade a serem seguidos, evitando-se assim problemas nos sistemas causados por corrosão, incrustação e crescimento microbológico.

Mancuso e Manfredini (2001), adotam como parâmetros de qualidade para a água de reposição, dos sistemas de resfriamento semiaberto, o pH, condutividade elétrica, SDT, alcalinidade total, dureza total, ferro e sílica. Os limites máximos por eles admitidos, são apresentados na TAB.

Tabela 1 Qualidade de água de reposição e seus limites ideais para funcionamento do sistema de Resfriamento do tipo semiaberto, com recirculação de água

Parâmetro	pH	Cond. Elétrica $\mu\text{S/cm a } 25^\circ\text{C}$	STD mg/L	Alca. Total mg/L	Dureza Total mg/L	Fe mg/L	Sílica mg/L
Valor limite admitido	7,00 - 8,00	1.000,00	800,00	100,00	200,00	1,00	50,00

Fonte: Adaptado de MANCUSO e MANFREDINI, 2001, p. 5.

3.7 Tratamentos empregados para controle de crescimento biológico em água industrial

De acordo com Trovati (2004), na grande maioria das vezes, para se resolver o problema de forma definitiva o processo envolvido é financeiramente inviável. Assim a solução tomada é o emprego de tratamentos que minimizem as consequências causadas pelo problema, de modo a se possibilitar a convivência e otimizar a relação custo/benéfico do processo.

O tratamento básico da água de refrigeração em qualquer torre de resfriamento é o tratamento químico, que visa combater o crescimento microbiológico. De acordo com Pavão (2013), a desinfecção da água é o meio mais utilizado para promover o controle do crescimento. Ela se dá através da adição de biocidas e biodispersantes que possuem atuação específica para cada tipo de microrganismo podendo atacar algas, fungos e/ou bactérias.

A ação dos biocidas está baseada na anulação do crescimento e/ou atividade metabólica microbiana, assim tende a controlar ou eliminar os microrganismos presentes na água de resfriamento. Os biocidas são classificados como oxidantes e não oxidantes (PAVÃO, 2013, p. 35).

1.1.8 Biocidas

Biocidas são definidos como compostos não estáticos que anulam ou inibem o crescimento e/ou a atividade metabólica microbiana. São utilizados em água de sistemas de refrigeração para o controle de microrganismos indesejáveis presentes na água a fim de evitar danos aos sistemas (PAVÃO, 2013).

São largamente utilizados no tratamento microbiano por possuir um baixo custo operacional, manuseio seguro por não ser inflamável ou explosivo, ser inócuo ao

homem e a outros animais e possuir um tempo de ação rápido sobre diferentes tipos de microrganismos (DANTAS, 1988).

Os biocidas são classificados em duas classes: os oxidantes e os não oxidantes. Biocidas não oxidantes atacam seletivamente alvos particulares dentro da célula. Biocidas oxidantes agem, normalmente, oxidando a matéria orgânica presente nas células (PAVÃO, 2013, p. 35).

O cloro é largamente utilizado como biocida nos sistemas de refrigeração, sendo aplicado na forma de gás solubilizado ou líquido (hipoclorito de sódio) sendo extremamente eficaz. Porém, por ser um componente oxidante sua utilização traz como desvantagem a corrosão de partes do sistema que estão em contato direto com biocida (PERES, TEIXEIRA, *et al.*, 2008).

Tem-se os biocidas a base de ozônio que apresentam resultados bastante pertinentes aos processos. Apesar de ser pouco corrosivo quando exposto a meios de aplicação que possuem partes metálicas, apresenta como desvantagem um alto custo operacional, pois por ser pouco estável o ozônio deve ser produzido no local de aplicação (PAVÃO, 2013).

Um outro tipo de biocida oxidativo muito utilizado é o a base de peróxido de hidrogênio, pois possui uma reconhecida eficiência como bactericida e algicida. Isto se deve ao fato de apresentar um menor custo em relação aos biocidas clorados e ao fato de se decompor e formar produtos inócuos na água. Podem ainda, ser aplicados diretamente na água com o auxílio de bombas dosadoras e possuem baixo impacto ambiental. Traz como desvantagem a corrosão de materiais do sistema, devida a sua forte ação oxidativa (SILVA, 2009).

Seu princípio de ação consiste em oxidar a matéria orgânica presente nos microrganismos, destruindo suas estruturas vitais e causando sua morte. De forma análoga, é como se os microrganismos fossem “queimados” pelo biocida (TROVATI, 2004).

A segunda classe dos biocidas são os não-oxidativos. Estes tendem a adsorver elementos essenciais da parede celular das células dos microrganismos, afetando a sua permeabilidade celular e causando sua destruição. Os mais utilizados em sistemas de resfriamento são os a base de quaternário de amônia, carbamatos, glutaraldeído, clorofenatos (TROVATI, 2004).

Os biocidas trazem como vantagens a velocidade de ação rápida, amplo aspecto de aplicação em várias classes de microrganismos, conseguem agir como

biodispersante, embora não seja tão eficiente como os próprios biodispersantes. Apresentam como principal desvantagem a formação de espuma nos sistemas em que são empregados, alto nível de toxicidade aos seres humanos podendo causar câncer , formação de precipitados e são relativamente mais caros que os oxidativos (TROVATI, 2004).

3.8 Biodispersantes

Os biodispersantes são produtos formulados com o propósito de promover a penetração do biocida no limo microbiano, tendo seu efeito potencializado nos biocidas oxidantes. Ele também causa a redução da habilidade dos microrganismos em se aderirem às superfícies dos sistemas dispersando assim o biofilme formado no sistema. São empregados nas indústrias sob estado líquido (SILVA, 2009).

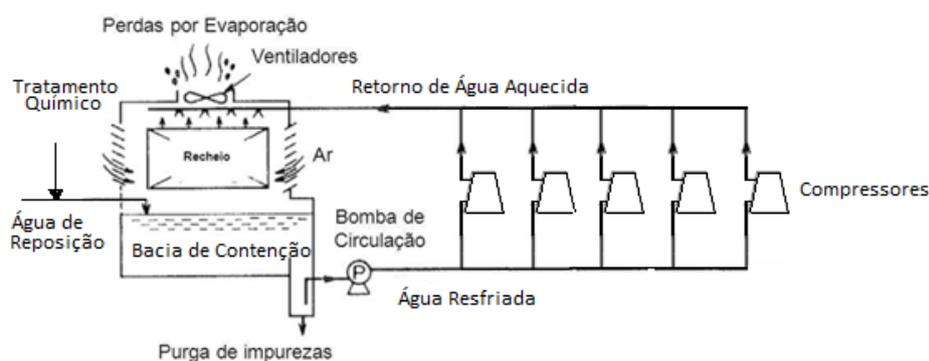
Seu princípio de ação é o de dissolver a glicocálice presente no biofilme promovendo a abertura de canais no interior do biofilme, favorecendo a penetração dos biocidas auxiliando-os a matar as células das camadas inferiores ou protegidas pelo glicocálice. Para que isso ocorra sua atuação é semelhante à de um sabão ou detergente. Sua molécula possui dois polos, um deles possui afinidade com o material orgânico (parte lipofílica ou hidrofílica) que agirá com a parede celular do organismo ou glicocálice. O outro polo da molécula é solúvel em água (extremidade hidrofílica) que proporcionará a solubilidade do complexo na água (TROVATI, 2004).

Biodispersantes trazem como vantagens na sua utilização a redução das dosagens dos biocidas e conseqüentemente uma economia no tratamento da água industrial.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa realizada foi um estudo de caso de um sistema de refrigeração instalado em uma cervejaria (FIG. 4), que apresentava um elevado crescimento biológico quando em operação, causando o entupimento dos compressores responsáveis pela aspiração da amônia.

Figura 4 – Exemplificação do sistema de refrigeração estudado



Fonte: Arquivo Pessoal ,2018.

Os compressores do sistema de refrigeração da cervejaria (FIG. 4), possuem a função de comprimir a amônia proveniente do processo industrial. Devido ao esforço realizado pelos compressores, sua temperatura aquece, precisando assim que sejam resfriados. A água resfriada proveniente da torre de resfriamento realiza esta tarefa, adentrando no interior dos compressores (sem ter contato com a amônia) e captando o calor. A água, agora aquecida, sai do compressor e retorna para a torre de resfriamento para ser resfriada novamente e dar início ao ciclo circulação.

A torre de resfriamento estudada faz parte do sistema de refrigeração, sendo eles: o primeiro é um sistema semiaberto com recirculação de água, que é responsável por resfriar os cinco compressores do sistema de amônia. A amônia comprimida pelo compressor faz parte de um segundo sistema de refrigeração, responsável pelo arrefecimento da carga fria utilizada nas operações de refrigeração da cervejaria, como a manutenção da temperatura dos TFM, TP e resfriamento do mosto.

O tratamento da água industrial utilizada nos processos de utilidades é realizado por uma empresa terceirizada especialista na modalidade. A empresa em questão será abordada como “Empresa A”. Esta é especialista em fabricação de

produtos químicos para tratamento de águas industriais e de processo, fornecendo consultoria e um profissional qualificado para dar suporte a cervejaria. Este a cada 15 dias comparece, a unidade, para acompanhar os procedimentos realizados no tratamento e se estes estão sendo efetivos ou não.

Além disso, é feita uma vez no mês a coleta de amostragens para as análises físico-químicas mensais da água industrial utilizada em todo o processo. Mensalmente a Empresa A envia o relatório para a cervejaria, com os resultados das análises realizadas, para o devido acompanhamento da evolução dos tratamentos e possíveis problemas detectados.

O trabalho foi um acompanhamento das etapas do tratamento realizado para minimizar a incidência de microrganismos na torre de refrigeração juntamente com a coleta dos resultados apresentados. Foram abordadas as medidas de controle tomadas pelo corpo técnico e ao final apresentado parecer a cerca das medidas de controle utilizada, se foram efetivas ou não.

O trabalho iniciou-se no dia 28 de fevereiro de 2018, data da primeira detecção do problema no sistema.

4.1 Detecção do problema

O início do trabalho foi através de uma constatação visual da torre de resfriamento pelos funcionários da cervejaria responsáveis pelo setor de utilidades. Foi constatado um elevado crescimento biológico na bacia de contenção e na colmeia da torre de resfriamento (FIG. 5).

Figura 5 - Crescimento de algas detectados na torre



Fonte: Da Pesquisa,2018.

Também foram detectados sedimentos biológicos, (FIG. 6) nas mangueiras conectadas aos cabeçotes dos compressores. Tais observações foram percebidas pelos funcionários responsáveis pelo setor de utilidades.

Figura 6 - Compressor de amônia com sedimentos na mangueira



Fonte: Da Pesquisa ,2018.

O próximo passo a ser tomado foi a exposição do problema ao corpo técnico da Empresa A. Este realizou as coletas de amostras da água da torre de resfriamento necessárias, para análises físico-químicas da água, para averiguar possíveis causas e consequências da ocorrência da proliferação exarada do meio biológico.

Detectados e comprovados os problemas e possíveis causas, a Empresa A apresentou a cervejaria uma proposta comercial com as ações corretivas. Após análise pela diretoria e coordenador responsável pela parte do processo afetada da cervejaria, a proposta foi aceita, dando início ao tratamento.

4.2 Medidas de correção empregadas

Segundo Dantas (1988) as medidas corretivas utilizadas nos sistemas de refrigeração consistem na escolha e dosagem do biocida que melhor se aplica ao sistema. Para a escolha do biocida são realizados testes de sensibilidade em laboratório, além de cálculos de desconcentração do biocida escolhido, para a determinação das dosagens de reposição do biocida no sistema, que devem ser realizadas quando a concentração do biocida decair ou estiverem entre 30 e 20% no mínimo em relação ao valor inicial da dosagem.

Os cálculos e testes de sensibilidades não foram divulgados pela Empresa A por política de privacidade.

As medidas corretivas empregadas consistem na dosagem de três produtos elaborados e fabricados pela Empresa A que visavam inibir o crescimento biológico e minimizar os possíveis problemas por eles causados.

4.3 Produtos

Os produtos dosados foram:

1. Biodispersante, que será abordado como Produto A: produzido a base de Nonil fenol poliglicol éter.
2. Biocida oxidante com princípio ativo a base de peróxido de hidrogênio, apresentado como Produto B;
3. Anti-incrustante de alto desempenho abordado como Produto C: atua como dispersante de matéria orgânica e inorgânica do sistema de refrigeração, possui em sua formulação compostos que dispersam materiais sólidos naturalmente presentes na água.

4.4 Equipamentos

As dosagens diárias dos produtos, foram controladas por meio de 03 bombas dosadoras, instaladas pela Empresa A (FIG. 7) na entrada de água de reposição da torre, que possuem um timer que controla o tempo e a quantidade de produto a ser dosado para se manter as concentrações dos produtos dentro da margem desejada.

Figura 7 - Bombas instaladas para dosagem dos reagentes



Fonte: Da Pesquisa ,2018.

Após instalação e programação das bombas dosadoras, deu-se início as dosagens de reagentes no dia 19 de abril de 2018. Foram realizados os acompanhamentos quinzenais e os ajustes das dosagens dos produtos A, B e C. A cada visita do corpo técnico da Empresa A, foi coletada amostras da água de refrigeração para análises físico-químicas pertinentes ao processo, e seus resultados enviados e discutidos junto aos envolvidos no processo.

As análises físico-químicas realizadas são de pH, condutividade elétrica, sólidos totais dispersos (STD), alcalinidade total, ferro (Fe), sílica e dureza total presentes na água no sistema.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Dantas (1988), em cervejarias tem-se as chamadas poeiras orgânicas, que são ricas em nutrientes que ajudam no crescimento de algas. Quando a instalação da torre de refrigeração é feita próxima a depósitos de cereais (arroz, cevada, centeio e etc.), estes são carregados pelo vento até as torres e absorvidos pela água servindo de fonte de nutriente para algas formadoras de limo. Os vapores que são gerados nas tinas de cozimento do mosto também são grandes fontes de nutrientes.

Devido as poeiras orgânicas, e a As bacias das torres de resfriamento ficam expostas durante todo o dia a luz solar a torre de resfriamento se encontrava com uma elevada quantidade de algas instaladas no seu recheio, os valores de pH sofriam variações durante o dia e a noite. Com o consumo de Dióxido de Carbono (CO₂) pelas algas durante o período diurno, os valores de pH sofriam uma elevação. Durante a noite, as algas desprendiam parte do CO₂ consumido causando o decaimento do pH. (DANTAS, 1988).

Essa inconstância gerada no valor do pH causou uma grande preocupação, pois as coletas para as análises eram realizadas no período diurno, momento que os valores de pH se encontravam com um maior valor, e os resultados, mostrados na TAB.2, indicavam um valor já abaixo do limite recomendado. Como durante a noite o pH decairia, ficando muito abaixo do limite recomendado por Mancuso e Manfredini (2001). Um pH baixo nos sistemas de refrigeração, pode levar ao surgimento de um outro problema, a corrosão dos componentes metálicos do sistema (SILVA, 2013).

Nos meses subsequentes a abril, que foi o período do início do tratamento, observa-se que os valores de pH começaram a ter uma leve elevação, devido a redução da quantidade de algas presente no sistema, ficando dentro do limite recomendado de pH para sistemas de refrigeração semiaberto.

Os resultados das análises realizados no período de março a agosto estão representados na TAB. 2.

Tabela 2 -Resultados das análises realizadas na água de reposição da cervejaria

Análise Realizada	pH	Cond. Elétrica $\mu\text{S/cm}$ a 25°C	STD mg/L	Alca. Total mg/L	Dureza Total mg/L	Fe mg/L	Sílica mg/L
Março	6,66	157,79	86,78	71,31	41,52	0,13	44,48
Abril	6,93	137,53	75,64	66,22	62,28	0,10	49,51
Mai	6,91	157,68	86,72	61,12	50,95	0,25	44,50
Junho	6,97	181,07	99,59	71,31	67,89	0,12	44,24
Julho	7,01	138,08	75,94	65,34	87,86	0,11	47,53
Agosto	7,29	176,65	97,16	75,40	79,87	0,19	39,78

Fonte: A Autora, 2018.

Nota: Dados extraídos das análises realizadas pela Empresa A, durante o período de março a abril de 2018.

Com a dosagem do Produto A, que é um forte oxidante, os valores para as análises de Fe, e conseqüentemente de condutividade elétrica, podem se apresentar elevados, indicando corrosão do sistema. Como observado na TAB. 2, os valores tanto de Fe quanto de condutividade apresentaram-se dentro do normal para sistemas de refrigeração. Somando assim mais um indicativo que a dosagem do Produto B, não favorecia o desenvolvimento de corrosão aos equipamentos e tubulações.

Os valores resultados obtidos da água do sistema para dureza total, sílica, alcalinidade total e STD, durante todo o monitoramento encontrava-se dentro dos limites estabelecidos, indicativo de que o sistema não apresentava incrustações nas superfícies onde ocorriam as trocas térmicas, além da formação do biofilme.

Isto ocorre devido a ação dispersante do Produto C, dosado a água de refrigeração, que tende a aumentar a incidência de STD na água, mantendo os sais de íons de cálcio e magnésio (medidos pela dureza total), a sílica, os carbonatos e bicarbonatos (indicados pela alcalinidade total) e os sólidos naturais acumulados no sistema em suspensão, evitando que eles se aderem as superfícies do sistema.

No mês de julho, observou-se uma queda nos valores de STD, isto se deu ao fato de que a bomba dosadora do Produto C, se encontrava desligada. Após esta constatação, a bomba foi ligada novamente e reiniciada a dosagem.

Na FIG.8 observa-se uma redução drástica na quantidade de algas na torre de resfriamento, gerando assim mais um indicativo que o tratamento com os Produtos A e B empregado até o mês de agosto, o último mês de análise do presente trabalho, foi eficiente na resolução do problema proposto.

Figura 8- Torre de resfriamento após o início do tratamento



Fonte: Da Pesquisa, 2018.

Na FIG.9, pode-se observar a parte externa do recheio da torre, com baixa incidência de algas.

Figura 9- Torre de resfriamento após início do tratamento



Fonte: Da Pesquisa, 2018.

Ainda há incidência do crescimento de microrganismos no recheio da torre de resfriamento (FIG. 9), isto se dá ao fato de que os reagentes utilizados por si só não conseguem exterminar com 100% de eficiência o crescimento devido a alguns fatores, sendo eles a proximidade das torres de resfriamento da sala de mostura da cervejaria juntamente com a sala do moinho de malte. Uma pequena fração do amido proveniente do cozimento do mosto e a poeira gerada pelo processo de moagem do

malte, são arrastados pelo vento até a torre de resfriamento, servindo de alimento para os meios biológicos que ali se encontram, facilitando seu crescimento.

Outro fator relevante que contribui para a não eliminação total dos microrganismos, é o fato de que ao início do tratamento se deve realizar uma limpeza especial no sistema de resfriamento, ela consiste em esgotar toda a água do sistema e retornar o processo de recirculação com a adição do biocida recomendado e hipoclorito de sódio. A solução deve ficar em recirculação por um intervalo de tempo de 8 a 10 horas consecutivas (DANTAS, 1988). A limpeza recomendada não foi realizada.

Além da limpeza inicial é recomendada as paradas programadas semanais no funcionamento das torres para que o operador responsável pelo sistema possa realizar a limpeza das torres. Isto atualmente não ocorre, devido a problemas de processos que isso acarretaria. O sistema conta com o funcionamento de duas torres de resfriamento, se uma for desativada para limpeza a que continuará em funcionamento não conseguirá realizar o devido processo de refrigeração para abastecer todo o sistema, comprometendo a refrigeração dos TFM, TP e resfriamento do mosto.

Faria (2017) em seu estudo da qualidade do efluente gerado no processo de resfriamento em uma indústria de aguardente de cana-de-açúcar obteve, para condutividade elétrica nas amostras analisadas um valor que varia de 0,23 a 0,42 $\mu\text{S}/\text{m}$. Para os valores de pH obteve um mínimo de 6,91 e um valor máximo de 7,88.

Nas análises de STD, Faria (2017) relatou uma variação de 147,20 a 268,80 mg/L e para dureza total valores que oscilaram de 33,6 a 56 mg/L.

Já Pontremolez (2009), no estudo de sobre reuso de águas em sistemas de refrigeração, obteve um valor de pH variando de 8,10 a 8,35.

Peres, *et al.* (2008), na pesquisa realizada sobre o tratamento de águas de refrigeração com peróxido de hidrogênio, relata que os resultados dos experimentos realizados foram favoráveis apresentando uma boa eficiência biocida e taxa de corrosão semelhante ao da utilização do cloro como biocida.

Apesar de não se ter uma comparação de dados com o mesmo tema da pesquisa realizada, por falta de material publicado, os resultados obtidos na pesquisa em comparação com os dos outros autores, que abordaram temas de pesquisa semelhantes, confirmam a eficiência do tratamento empregado tornando-o válido.

6 CONCLUSÃO

O tratamento para o controle dos microrganismos presentes na torre de refrigeração da cervejaria com a adição de produtos químicos, se mostrou eficiente, apesar de não se conseguir a eliminação total dos microrganismos. Observou-se melhoras no controle do crescimento e proliferação das algas, diminuindo a incidência de sedimentos orgânicos nas mangueiras dos compressores.

Outro fator que pode ser constatado, é o de que não há indícios de corrosão no sistema causado pelo tratamento utilizado, todos os parâmetros analisados se encontravam dentro dos limites estabelecidos.

REFERÊNCIAS

CERVIERI JÚNIOR, O. et al. **O setor de bebidas no Brasil**. BNDS, Rio de Janeiro, v. 40, n. 1, p. 38, Setembro 2014. Disponível em:

<<http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/3462>>. Acesso em: 24 jun. 2018.

DANFOSS ENGINEERING TOMORROW. **Refrigerantes por uma perspectiva da Danfoss**. Disponível em:

<<http://refrigerationandairconditioning.danfoss.com.br/refrigerants/ammonia/#/>>.

Acesso em: 08 set. 2018

DANTAS, E. **Geração de vapor e água de tratamento de refrigeração: falhas - tratamentos - limpeza química**. Rio de Janeiro: Vozes, 1988.

DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. **Seleção de tecnologias de tratamento de Água**. São Carlos: Ldibe, v. 2, 2008. 682 p.

DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. São Carlos: Ldibe Ltda, v. 1, 2008. 878 p.

FARIA, C. A. D. **Qualidade do efluente gerado no processo de resfriamento de uma indústria de aguardente de cana-de-açúcar**, Formiga, 2017. 66 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) -Centro Universitário de Formiga -UNIFOR-MG, Formiga, 2010.

GENTIL, V. **Corrosão**. Rio de Janeiro: Ltc, 2007. Disponível em:

<<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAgwz8AD/gentil-v-corrosao-3ed>>. Acesso em: 12 out. 2018.

GENTIL, V. **Corrosão**. Rio de Janeiro: LTC, 2014. 360 p.

GOMES, A. et al. **Procedimentos operacionais padrão: Setor sala da máquinas**. Cláudio. 2018.

JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA. **Unidade 2 - Propriedades físicas da Água**. Universidade de São Paulo - USP. São Paulo, p. 17. 1998. (ISBN).

MANCUSO, P. C. S.; MANFREDINI, B. **Reuso de água em sistema de resfriamento. Estudo de Caso: Subestação Conversora de Energia Furnas Centrais Elétricas**. Disponível em:

<<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/paraguay5/IVAA02.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2018.

PAVÃO, J. A. C. **Controle microbiológico nas águas de resfriamento**. Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis. Assis, p. 56. 2013.

PIMENTA, J. P. R. **Otimização do consumo de químicos aplicados nas Torres de Arrefecimento da Central Termoelétrica de Lavras**. Braga, 2014. 121 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado Integrado em Engenharia Biológica) – Universidade do Minho, Braga, 2014.

PERES, F. A. S. et al. **Tratamento de águas de refrigeração com peróxido de hidrogênio**. Química Nova, Rio de Janeiro, v. 31, n. 1851-1855, p. 5, 02 Fevereiro 2008. ISSN 7. Disponível em: http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol31No7_1851_41-NT07343.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2018.

PONTREMOLÉZ, N. S. **Estudo de caso**: diagnóstico de um sistema de reuso de água em torres de resfriamento. Escola de Eng. de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 79. 2009. (1).

REDAÇÃO PENSAMENTO VERDE. **A importancia do tratamento de água industrial**. Pensamento Verde, Julho 29 2013. Disponível em: <<http://www.pensamentoverde.com.br/sustentabilidade/a-importancia-do-tratamento-de-agua-industrial/>>. Acesso em: 29 Abril 2018.

SALAZAR, R. F. S. et al. **Validação do método fenantrolina para determinação de íon ferroso em efluente lácteo por análise comparativa**.

SANTOS, I. B. D. **Tratamento e análise de águas industriais**. Caxias do Sul. 2011.

SANTOS, S. D.; RIBEIRO, F. D. M. **Cervejas e refrigerantes**. 1. ed. São Paulo: CETESB, 2005. 58 p. Disponível em:

<https://www.crq4.org.br/downloads/cervejas_refrigerantes.pdf>. Acesso em: 5 Maio 2018.

SILVA, J. O. M. **Minicurso 2009**: Tratamento químico de água de resfriamento. Ribeirão Preto: [s.n.]. 2009. p. 116.

TRINDADE, S. D. O. 1. **Processo de fabricação da cerveja**. 2013. Ianalítica consultoria e treinamento. Disponível em: <<https://ianalitica.com.br/processo-de-fabricacao-da-cerveja/>>. Acesso em: 11 ago. 2018.

TROVATI, J. **Tratamento de água de resfriamento**. Industrias Corona. Araraquara, p. 89. 2004. (1).

VILELA, RUTH BEATRIZ VASCONCELOS; ALVES, VIRGÍLIO CÉSAR ROMEIRO. **Refrigeração industrial por amônia: riscos segurança e auditoria fiscal**. BRASIL. Brasília, p. 18. 2004. Disponível em: <<http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/manuais/quimico/Refrigeracao%20Industria%20por%20Amonia.pdf> > Acesso em: 09 ago. 2018.