

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA

MATHEUS SOARES FRANCISCHINI

**OS ADITIVOS QUÍMICOS E TRATAMENTOS USADOS NO CONTROLE  
MICROBIOLÓGICO DE AGENTES CAUSADORES DE BIOCORROSÃO E  
INCRUSTAÇÕES EM PASTEURIZADORES NA INDÚSTRIA CERVEJEIRA.**

Lorena  
2016

MATHEUS SOARES FRANCISCHINI

**OS ADITIVOS QUÍMICOS E TRATAMENTOS USADOS NO CONTROLE  
MICROBIOLÓGICO DE AGENTES CAUSADORES DE BIOCORROSÃO E  
INCRUSTAÇÕES EM PASTEURIZADORES NA INDÚSTRIA CERVEJEIRA.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Escola de Engenharia de Lorena - Universidade  
de São Paulo como requisito parcial para  
conclusão da Graduação do curso de Engenharia  
Bioquímica.

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Márcio Ramalho  
Prata

Lorena

2016

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Automatizado  
da Escola de Engenharia de Lorena,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Francischini, Matheus Soares  
OS ADITIVOS QUÍMICOS E TRATAMENTOS USADOS  
NO CONTROLE MICROBIOLÓGICO DE AGENTES CAUSADORES  
DE BIOCORROSÃO E INCRUSTAÇÕES EM PASTEURIZADORES  
NA INDÚSTRIA CERVEJEIRA / Matheus Soares Francischini;  
orientador Arnaldo Márcio Ramalho Prata. - Lorena,  
2016.

58 p.

Monografia apresentada como requisito parcial  
para a conclusão de Graduação do Curso de Engenharia  
Bioquímica - Escola de Engenharia de Lorena da  
Universidade de São Paulo. 2016  
Orientador: Arnaldo Márcio Ramalho Prata

1. Corrosão. 2. Incrustação. 3. Deterioração. 4.  
Pasteurizador. 5. Biocorrosão. I. Título. II. Prata,  
Arnaldo Márcio Ramalho, orient.

**DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha família; aos meus pais Alcides e Maria Fernanda, meus irmãos Marcos e Marcelo; à minha namorada Rafaelle, e ao meu amigo Octavio.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por como moldou minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Arnaldo Márcio Ramalho Prata pela orientação e apoio para a realização deste trabalho.

Aos demais professores pela construção do meu conhecimento e meu caráter na vida acadêmica.

Aos meus amigos, companheiros de república, e colegas que trilharam essa jornada ao meu lado, e me ajudaram em tantos momentos.

**FRANCISCHINI, M. S. Os aditivos químicos e tratamentos usados no controle microbiológico de agentes causadores de biocorrosão e incrustações em pasteurizadores na indústria cervejeira.** 2016. 64p. Monografia (Graduação) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2016.

Corrosão é a deterioração de um material metálico por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, sendo o caminho contrário do processo metalúrgico o qual transforma o minério de ferro (óxido de ferro) no metal ferro, já a corrosão é quando o ferro exposto ao meio sofre oxidação, e volta a condição inicial de óxido. Desde 1949 estudos nos EUA relacionam o problema da corrosão à economia, na década de 1970 estimavam-se gastos devido a corrosão em cerca de 4% do PIB, em 1995 os prejuízos chegavam a US\$ 300 bilhões/ano, e atualmente equivalem a US\$ 600 bilhões/ano. Em outros países o valor se assemelha, em média de 1 a 5% do PIB é gasto para a correção de problemas relacionados a corrosão. Cerca de 20% da produção mundial de aço é destinada à reposição das perdas geradas pela corrosão. De acordo com os dados do relatório do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento do Ministério das Cidades, 37% de toda a água tratada pelas companhias de saneamento do Brasil é desperdiçado, e entre as principais causas estão os vazamentos em tubulações dessas distribuidoras, geralmente por corrosão associada a incrustações, especialistas afirmam que o aceitável seria uma perda em torno de 15%, distante do atual cenário. Biocorrosão trata-se do processo de corrosão influenciado pela ação de microrganismos, os quais estão presentes na água utilizada pelos pasteurizadores de cerveja. Como a água é reutilizada torna-se extremamente necessário o controle dos parâmetros bioquímicos desta, tratando-a, como meio de prevenir a biocorrosão e as incrustações no sistema de água possam vir a sofrer, evitando-se a perda na eficiência da produção, além de preservar o importante recurso que é a água. Por outro lado, trabalhar com a mesma água por longos períodos pode apresentar diversos desafios, e esse trabalho aborda os dois mais comuns que trazem inúmeros prejuízos às indústrias: biocorrosão e incrustação. Além disso, apresenta as formas de tratamento no controle dos agentes causadores destes problemas, evidenciando como a indústria se beneficia da bioquímica, reduzindo gastos, aumentando a eficiência, e preservando a água.

Palavras-chave: Corrosão; Incrustações; Deterioração; Oxidação; Biocorrosão; Pasteurizador.

## ABSTRACT

FRANCISCHINI, M. S. **The role of chemical additives in the microbiological control agents of biocorrosion and incrustation in pasteurizers in the brewing industry.** 2016. 64p. Monograph (Graduation) – Engineering School of Lorena, University of São Paulo, Lorena, 2016.

Corrosion is the deterioration of a metallic material by chemical action or electrochemical environment, and the opposite path of the metallurgical process which converts the iron ore (iron oxide) in the iron metal, whereas corrosion is when the iron exposed to the undergoes oxidation, and returns to initial condition oxide. Since 1949 studies in the US connecting the problem of corrosion with economy, in the 1970s it was estimated expenses due to corrosion in about 4% of GDP, in 1995 losses are amounted to US \$ 300 billion / year, and currently amount to US \$ 600 billion / year. In other countries the value is similar in average 1-5% of GDP is spent for the correction of problems related to corrosion. About 20% of world steel production is destined for the recovery of losses caused by corrosion. According to the report of the National Data System of Informations about Ministry of Cities Sanitation, 37% of all water treated by sanitation companies in Brazil is lost, and among the main causes are the leakages in pipes of these distributors, usually due to corrosion associated with incrustation, experts say the acceptable would be a loss of around 15%, far from the current scenario. Biocorrosion it is the corrosion process influenced by the action of microorganisms, which are present in the water used for the pasteurizing of beer. As water is reused becomes extremely necessary to control the biochemical parameters of this, treating it, as a means of preventing biocorrosion and incrustations in water system may suffer, avoiding the loss in production efficiency, as well to preserve the important resource that is water. Still, work with the same water for long periods can present many challenges, this work addresses the two most common that bring damages to many industries: biocorrosion and encrustation. Moreover, it presents forms of treatment in the control of the causative agents of these problems, showing how the industry benefits from biochemistry, reducing costs, increasing efficiency, and preserving water.

Keywords: Corrosion; Fouling; Biocorrosion; Pasteurizing; Incrustations.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pasteurizador de túnel da Ziemann-Liess Ltda.....	15
Figura 2-Gráfico de um pasteurizador calibrado com 16 UP.....	16
Figura 3 - Dispositivo Red Post para medição de UP .....	17
Figura 4-Esquema de funcionamento de uma torre de resfriamento.....	21
Figura 5-Diferentes formas de corrosão em metais. ....	25
Figura 6-Fotografia do corte transversal de um tubo de aço carbono, mostrando a penetração da corrosão na forma de pittings. ....	27
Figura 7-O ciclo do enxofre na natureza .....	28
Figura 8-Metabolismo das BRS: .....	29
Figura 9-Exemplos de BRS: <i>Desulfovibrio desulfuricans</i> (a) <i>Desulfotomaculum acetoxidans</i> (b) .....	30
Figura 10-Representação da bainha helicoidal de hidróxido de ferro da <i>Gallionella ferruginea</i> .	31
Figura 11-Biofilme formado por bactérias redutoras de sulfato, visualizada utilizando um Microscópio Eletrônico de Varredura. ....	33
Figura 12-Formação de biofilmes de concentração diferencial, com associação de algas e bactérias. ....	34
Figura 13-Diagrama dos estágios de formação do biofilme.....	34
Figura 14-Exemplos de Incrustações de Carbonato de Cálcio.....	35
Figura 15-Água do sistema fechado Pasteurizador/Torre de Resfriamento em um regime de operação normal de quase duas semanas após o CIP (com dosagem de químicos) .....	37
Figura 16-Água do sistema fechado Pasteurizador/Torre de Resfriamento em parada de 4 dias consecutivos após quase uma semana operando após o CIP (sem a dosagem de químicos) ...	38
Figura 17-Foto de uma estação de cupons de prova em um pasteurizador de cerveja.....	41
Figura 18-Esquema de funcionamento de uma estação de cupons de prova .....	41
Figura 19- (a) Cupons de prova (aço, alumínio, e cobre) recém retirados de uma estação; (b) Na foto os mesmos cupons após a limpeza (no primeiro cupom à esquerda, de aço, pode-se perceber os traços de corrosão após a limpeza).....	42
Figura 20- Diagrama mostrando os passos para obtenção do valor de pHS. Supondo: Dureza da água = 240 mg/L; Alcalinidade Total = 200 ppm; Temperatura = 70°F; pH de Saturação (pHS) = 7,3. ....	43
Figura 21-Curvas de distribuição do Cl <sub>2</sub> , HOCl, e OCl <sup>-</sup> em função do pH.....	49
Figura 22-Representação das moléculas de alguns compostos de cloro orgânicos: (A) dicloro-isocianurato de sódio; (B) ácido tricloroisocianúrico; (C) dicloro- dimetil-hidantoína; (D) cloro-bromo-dimetil-hidantoína. ....	51
Figura 23-Colmeia de uma torre com algas (a), e após a limpeza mecânica (b).....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Objetivos da pasteurização e condições aplicadas em função dos alimentos selecionados (Ramaswamy e Marcotte, 2006). .....	14
Tabela 2-Valores de UP para diferentes bebidas a diferentes temperaturas de trabalho.....	18
Tabela 3-EBC Manual da boa prática,1995.....	18
Tabela 4- Esquema de funcionamento de uma torre de resfriamento .....	21

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIações**

<b>PIB</b>	<b>Produto Interno Bruto</b>
<b>UP</b>	<b>Unidade de Pasteurização</b>
<b>PTP</b>	<b>Padrão Técnico de Processo</b>
<b>SAC</b>	<b>Serviço de Atendimento ao Consumidor</b>
<b>CIM</b>	<b>Corrosão Induzida Microbiologicamente</b>
<b>BRS</b>	<b>Bactérias Redutoras de Sulfatos</b>
<b>GDP</b>	<b>Gross Domestic Product</b>
<b>CIP</b>	<b>Clean in Place</b>

## LISTA DE SÍMBOLOS

hL	Hectolitro
°C	Graus Célcus
ppm	Partes por milhão
eq-g/L	Equivalentes grama por litro
pCa	Logaritmo negativo da concentração de cálcio
pAlk	Logaritmo negativo da concentração da alcalinidade total
KS	Produto da dissociação do CaCO <sub>3</sub> (em mol/l e titulado como eq-g/l)
K <sub>2</sub>	Segunda constante de dissociação (em mol/l e titulado como eq-g/l)
pH	Potencial Hidrogeniônico
pH <sub>s</sub>	Potencial Hidrogeniônico de Saturação
dm <sup>2</sup>	Decâmetros quadrados
mdd	Miligramas de massa perdida por dm <sup>2</sup> por dia
mpy	Milésimos de polegada de penetração por ano
DQO	Demanda química por oxigênio
DBO	Demanda bioquímica por oxigênio
Z = 6,94 °C	O aumento da temperatura necessário para produzir um aumento de 10 x na taxa de neutralização é chamado de Valor Z (corresponde a 6,94 °C)
T(ref)	Temperatura de referência
UFC	Unidades formadoras de colônias
°F	Grau Fahrenheit
mg/L	Miligrama por litro
mol/L	Mol por litro
mL	Mililitro
UFC/mL	Unidades formadoras de colônia por mililitro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico (correspondente a 1000 litros)

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	13
1.1	HISTÓRICO DA PASTEURIZAÇÃO .....	13
1.2	A FUNÇÃO E O FUNCIONAMENTO DOS PASTEURIZADORES DE CERVEJA .....	14
1.3	OS CONTAMINANTES DA ÁGUA DO PASTEURIZADOR.....	19
2.	OBJETIVOS .....	23
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	24
3.1	OS MICRORGANISMOS CONTAMINANTES DA CERVEJA .....	24
3.2	BIOCORROSÃO E PITTING .....	25
3.3	OS MICRORGANISMOS RESPONSÁVEIS PELA BIOCORROSÃO E INCRUSTAÇÕES NOS PASTEURIZADORES DE CERVEJA.....	27
3.4	BIOFILMES INCRUSTAÇÕES E LODOS.....	33
3.5	PARÂMETROS E ANÁLISES DE MONITORAMENTO E CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	39
3.6	<i>PRODUTOS QUÍMICOS USADOS NO TRATAMENTO DA ÁGUA</i> .....	44
3.6.1	<i>INIBIDORES DE CORROSÃO</i> .....	44
3.6.1.2	<i>INIBIDORES CATÓDICOS:</i> .....	45
3.6.1.3	<i>INIBIDORES CATÓDICOS E ANÓDICOS SIMULTÂNEOS:</i> .....	45
3.8.2	<i>INIBIDORES DE INCRUSTAÇÕES</i> .....	46
3.8.3	<i>BIOCIDAS</i> .....	47
3.9	<i>PROCEDIMENTOS DE LIMPEZA PERIÓDICA</i> .....	52
4.	METODOLOGIA .....	54
5.	CONCLUSÃO .....	55
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 HISTÓRICO DA PASTEURIZAÇÃO

Os hábitos alimentares fazem a história dos povos pelo mundo. A evolução pôde ser observada ao longo dos anos, e as práticas têm servido de referência de tempo ao indicarem diferentes formas de aproveitamento dos alimentos. Com aumento da demanda por alimentos e o surgimento da produção em grande escala tornou-se necessário a melhora da preservação destes, surge então no século XIX um novo recurso para conservar o leite, e outros alimentos: a pasteurização.

Em meados de 1860, o cientista Louis Pasteur, atendia à solicitação de alguns dos vinicultores e cervejeiros da região em torno de Paris, que lhe pediram para descobrir como os vinhos e a cervejas azedavam, ele solucionou este problema experimentalmente, através de técnicas de aquecimento brando, originando a técnica de pasteurização dos alimentos. Com a descoberta, constatou-se que tanto nos processos de fermentação quanto nos de decomposição orgânica ocorre a ação de microrganismos, derrubando definitivamente a teoria da geração espontânea (“A Pasteurização”, 2016).

Em 1870, Pasteur aplicou seu método pela primeira vez na cerveja, com excelentes resultados. A pasteurização foi introduzida nas linhas de produção das cervejarias europeias tornando-se um processo padrão, a pioneira foi a cervejaria Tuborg, de Copenhague. Em meados de 1880, adotou-se o processo pela primeira vez pelas cervejarias da América (Ziemann-Liess Ltda 1985). No início os pasteurizadores eram muito rudimentares, com cubas nas quais colocavam-se a água e as garrafas que eram aquecidas com vapor. Este processo também se estendeu a outros ramos da indústria alimentícia, cada um aplicando-o da melhor forma para cada microrganismo presente em cada tipo de produto (TOBERGTE; CURTIS, 2013a).

O avanço foi considerado a primeira grande conquista da ciência contra a ação de microrganismos patógenos, permitindo uma transformação impactante na produção e comercialização dos alimentos. Com a técnica, as propriedades nutricionais e digestivas

dos alimentos eram mantidas por maior tempo, sem colocar em risco a saúde humana. Além disso Pasteur teve uma série de outros méritos científicos, decorrentes da descoberta dos germes e microrganismos, que foram fundamentais no desenvolvimento das vacinas, como a vacina para a raiva por exemplo, e além disso, inspiraram as técnicas de assepsia e limpeza nos ambientes hospitalares, salvando milhões de vidas ao longo dos anos (“A Pasteurização”, 2016).

## 1.2 A FUNÇÃO E O FUNCIONAMENTO DOS PASTEURIZADORES DE CERVEJA

A pasteurização tem como função principal a eliminação, ou redução drástica da carga de microrganismos patogênicos e deteriorantes, e ainda assim preservar as características nutricionais, e sensoriais.

O binômio tempo e temperatura, utilizados dependem da carga de contaminação do produto e das condições de transferência de calor (ROCHA et al., 2012). As temperaturas usadas no tratamento de calor e o tempo de armazenamento, dependem da natureza do produto, das condições de pH, da resistência dos microrganismos presentes, da sensibilidade do produto e do tipo de calor aplicado, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1-Objetivos da pasteurização e condições aplicadas em função dos alimentos selecionados (Ramaswamy e Marcotte, 2006).

Alimento	Objetivo	Condições de processamento típicas
Suco de fruta	Inativação de enzimas (pectinerasas e polygalacturonase)	88°C por 15 s
Cerveja	Destruição de microrganismos tais como leveduras selvagens, espécies de lactobacillos e leveduras remanescentes ( <i>Saccharomyces sp</i> )	65°C-68°C por 20 min
Leite	Destruição de patógenos ( <i>Brucella abortus</i> , <i>Mycobacterium tuberculosis</i> , <i>Coxiella burnetii</i> )	71,5°C por 15 s
Ovo líquido	Destruição de patógenos ( <i>Salmonella seftenberg</i> )	64,4°C por 2,5 min
Sorvete	Destruição de patógenos	80°C por 15s

Fonte: Adaptado de (“Optimização de Condições de Pasteurização na Indústria de Derivados de Tomate”, 2014).

A pasteurização consiste no aquecimento da cerveja durante um determinado período de tempo, eliminando contaminantes e conferindo validade à cerveja. No envase de cerveja a nível industrial uma linha de produção geralmente segue o modelo contínuo de pasteurização, e o tipo de pasteurizador mais indicado nesses casos é o de túnel.

Figura 1 - Pasteurizador de túnel da Ziemann-Liess Ltda

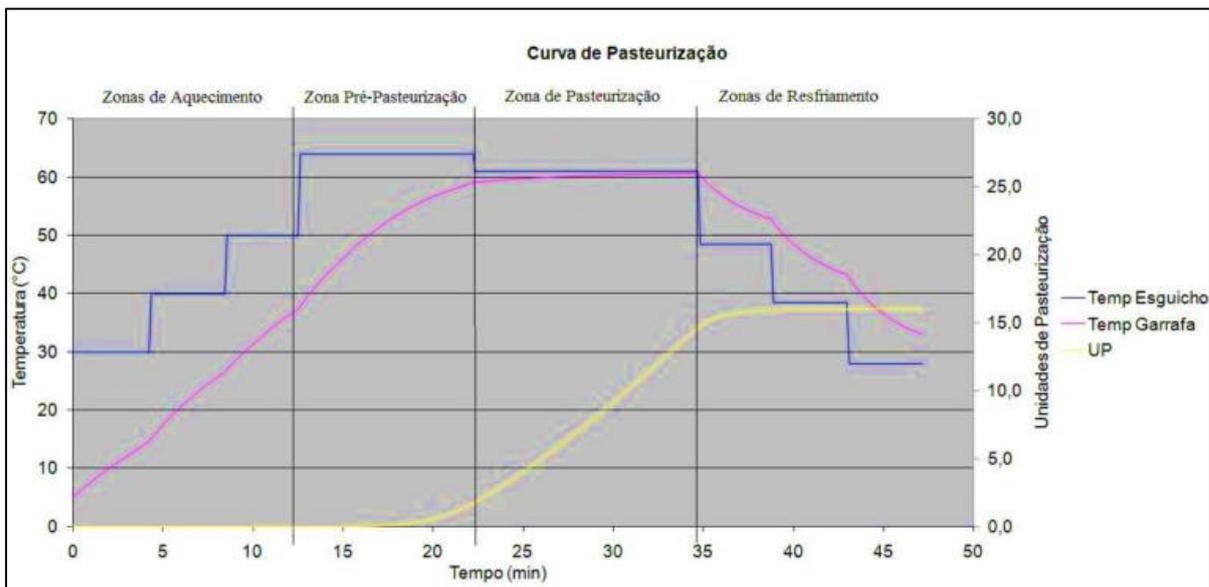


Fonte: (TOBERGTE; CURTIS, 2013a).

A pasteurização em túnel é feita com água aquecida num trocador tubular levando ao aquecimento do produto a ser pasteurizado. A troca de calor é realizada através de chuveiros de água aquecida com diferentes temperaturas em contato com o produto já envasado, promovendo assim uma variação gradual da temperatura ao longo do túnel. Após o enchimento, a embalagem onde é introduzido o produto envasado fica com um espaço no topo da garrafa, que neste caso, pode ser considerado crítico, devido ao ar e gás carbônico que aí possa existir vindo a desenvolver microrganismos que vão causar a deterioração do produto. A propriedade física que traduz a maior ou menor facilidade com que o material conduz o calor é denominada de condutividade térmica ou transferência de calor.

No pasteurizador de túnel, é importante que as zonas de troca térmica tenham suas temperaturas, e velocidades de passagem controladas, de forma a evitar o choque térmico, e garantir que os tempos de exposição a cada zona sejam os ideais, levando em conta o volume, e material da embalagem.

Figura 2-Gráfico de um pasteurizador calibrado com 16 UP.



Fonte: Adaptada de (TOBERGTE; CURTIS, 2013a). A unidade de trabalho utilizada para medir os valores referentes a pasteurização é a UP (Unidade de Pasteurização). A UP é calculada de acordo com a definição padrão, na qual uma UP é obtida ao expor a cerveja a uma temperatura de 60°C por um minuto, com uma temperatura de corte (base) mais baixa. O valor da UP é definido aumentando ou diminuindo-se 10 unidades para cada 6,94 graus de alteração da temperatura no valor Z (°C), ou seja, o aumento da temperatura necessário para produzir um aumento de 10 x na taxa de neutralização é chamado de valor z (corresponde a 6,94 °C).

Na zona de aquecimento, no início do processo, a cerveja que entra no equipamento a uma temperatura de aproximadamente 5°C, é aquecida gradualmente, com esguichos de água a diferentes temperaturas, até atingir a temperatura de pré-pasteurização. Evitando-se o choque térmico no produto, que poderia trincar a garrafa de vidro ou estufar a lata de alumínio).

A zona de pré-pasteurização é a zona onde já ocorre alguma inativação ou morte de microrganismos. Os vasilhames ainda estão sendo aquecidos, porém a pasteurização já está iniciada.

Na zona de pasteurização a bebida começa a ser pasteurizada. Nesse ponto, os esguichos atingem os patamares de temperatura mais altos do todo o processo. O objetivo é que o produto sofra os efeitos de pasteurização determinados para a cerveja, e também que a temperatura letal definida para os microrganismos presentes na bebida seja mantida cumprindo o binômio tempo-temperatura.

Na zona de resfriamento, as embalagens são esguichadas com água a temperaturas menores que as da pasteurização baixando a temperatura até próximo da ambiente, evitando choques térmicos que poderiam avariar a embalagem (TOBERGTE; CURTIS, 2013a).

Este é um cálculo padrão da indústria cervejeira como mostra a equação 1, de forma simplificada (ADELMO ANSELMO; POLAM ZIELONCA, 2008).

$$UP = 10^{\frac{T-T(\text{ref})}{z}} t \quad (\text{Eq.1})$$

Sendo T a temperatura usada; T(ref) é a temperatura de referência, para as cervejas geralmente é 60°C (Temperatura letal para o microrganismo mais resistente); t é o tempo igual a 1 minuto; e z para as cervejas é 6,94. Obtendo-se a Equação 3 ao final.

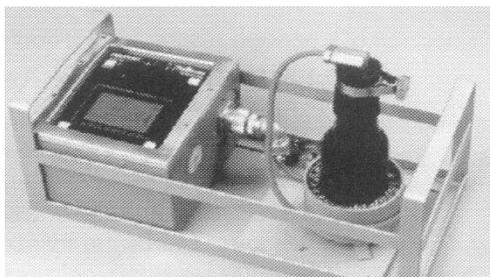
$$UP = 10^{\frac{T-60}{6,94}} t \quad (\text{Eq.2})$$

$$UP/\text{min.} = 1,389^{(T-60)} \quad (\text{Eq.3})$$

No caso de temperaturas elevadas, a demora na passagem do produto no pasteurizador, produtos travando no caminho, ou paradas no equipamento sem o funcionamento adequado do controle de temperatura, a UP pode ultrapassar a faixa programada, alterando-se as características da cerveja e com isso levando a perdas na qualidade sensorial do produto, e possivelmente, reclamações no Serviço de Atendimento ao cliente (SAC).

O monitoramento da UP é feito através do instrumento Red Post (Figura 3), que analisa o funcionamento do pasteurizador, e a eficiência da pasteurização cruzando as zonas do pasteurizador.

Figura 3 - Dispositivo Red Post para medição de UP



Fonte: (Manual HAFFMAN, 2004).

Analisando a Equação 3, percebemos que na temperatura de 60°C é adicionada 1 UP por minuto de exposição do produto a essa temperatura, abaixo de 60° C o valor é inferior a 1UP/min, e acima de 60°C como trata-se de uma equação exponencial o valor sofre um grande acréscimo, como pode-se observar na Tabela 2.

Tabela 2-Valores de UP para diferentes bebidas a diferentes temperaturas de trabalho.

	Cerveja	Refrigerantes/sucos	
	1 UP/min a 60°C Z = 7	1 UP/min a 70°C Z = 10	1 UP/min a 80°C Z = 10
UP/min.	1,389(T-60)	1,259(T-70)	1,259(T-80)
50 °C	0,04	0,01	0,001
60 °C	1,0	0,1	0,01
67 °C	10,0	0,5	0,05
70 °C	26,9	1,0	0,10
74 °C	100	2,5	0,25
80 °C	725	10,0	1,00
81 °C	1.000	12,6	1,26

Fonte: (Manual HAFFMAN, 2004).

Para diferentes tipos de cervejas existem faixas de UP adequadas para a estabilização do produto, como mostrado na Tabela 3.

Tabela 3-EBC Manual da boa prática,1995.

Produto	N°. de referência da UP	Temperatura de pasteurização
Pilsner/Lager	15- 25	60-62 °C
Cerv. de baixo teor alcoólico	40- 60	62-64 °C
Cerveja sem álcool	80- 120	64-66 °C

Fonte: (Manual HAFFMAN, 2004).

Caso a faixa de UP seja mais baixa, há a chance de algum microrganismo deteriorante ou patogênico sobreviver, podendo degradar a matéria orgânica presente no

produto, gerando subprodutos de sabor ou aroma ruins, ou até mesmo algum composto tóxico. A faixa de trabalho da UP determinada pelo padrão técnico de processo (PTP) é de 10 a 18 UP para a maioria das cervejas industrializadas (LIMA DE SOUZA et al., 2014).

### 1.3 OS CONTAMINANTES DA ÁGUA DO PASTEURIZADOR

Um dos contaminantes da água utilizada no sistema de troca térmica dos pasteurizadores é proveniente do próprio processamento, a cerveja. Esta pode vir a contaminar a água de duas formas diferentes, através dos resíduos que escorrem das garrafas no momento de enchimento dos vasilhames, ou então referente a quebra de garrafas, seja por alguma falha na velocidade da troca térmica gerando choque térmico, choques mecânicos com outras garrafas, ou por tombamentos durante a movimentação no interior da máquina, se quebram, aumentando ainda mais a carga do contaminante

Supondo-se uma linha de produção em que são processadas 60.000 garrafas por hora, cujo o regime de produção seja 23 horas por dia, o total de garrafas que entrará diariamente no pasteurizador será de 1.380.000, conforme a Equação 4.

$$\boxed{60.000 \text{ garrafas/hora} \times 23 \text{ horas de produção/dia} = 1.380.000 \text{ garrafas/dia}}$$

(Eq.4)

Em relação aos resíduos decorrente do enchimento, supondo 1mL de cerveja aderido à superfície destas, pode-se admitir que 1380 litros de cerveja são misturados na água diariamente, de acordo com a Equação 5.

$$\boxed{1.380.000 \text{ garrafas} \times 1 \text{ mL de cerveja} = 1380 \text{ L de cerveja por dia}}$$

(Eq.5)

Em relação à quebra de garrafas, supondo que 0,1% das garrafas pasteurizadas estourem no interior do pasteurizador, e estabelecendo o volume de 300 mL para cada,

pode-se admitir que 414 litros de cerveja são misturados na água diariamente, conforme a Equação 6.

$$\mathbf{0,1\% \times 300 \text{ ml} \quad \times \quad 1.380.000 \text{ garrafas} \quad = \quad 414 \text{ L de cerveja por dia}}$$

(Eq.6)

Em contrapartida, somando-se os volumes estimados nas duas formas de contaminação por cerveja, tem-se 1794 litros de cerveja misturados na água do sistema.

$$\mathbf{1380 \text{ litros} \quad + \quad 414 \text{ litros} \quad = \quad 1794 \text{ L de cerveja}}$$

(Eq.7)

Como água do pasteurizador se renova segundo uma taxa de 0,08 hL de água para cada 1 hL de cerveja processada, obtém-se o volume de água pura introduzido diariamente no equipamento para suprir perdas, e evaporações que ocorrem na região da torre. Conforme as Equações 8 e 9.

$$\mathbf{0,3 \text{ litros de cerveja} \times 1.380.000 \text{ garrafas} \quad = \quad 414.000 \text{ litros de cerveja por dia}} \\ \mathbf{= \quad (4140 \text{ hL de cerveja por dia})}$$

(Eq.8)

$$\mathbf{0,08 \text{ hL de água} \quad \times \quad 4140 \text{ hL de cerveja} \quad = \quad 33,12 \text{ hL de água}} \\ \mathbf{1 \text{ hL de cerveja} \quad = \quad (3312 \text{ L de água por dia})}$$

(Eq.9)

Em contrapartida, somando-se os volumes estimados nas duas formas de contaminação por cerveja, tem-se 1794 litros de cerveja misturados na água do sistema.

$$\mathbf{1380 \text{ litros} \quad + \quad 414 \text{ litros} \quad = \quad 1794 \text{ litros de cerveja}}$$

(Eq.10)

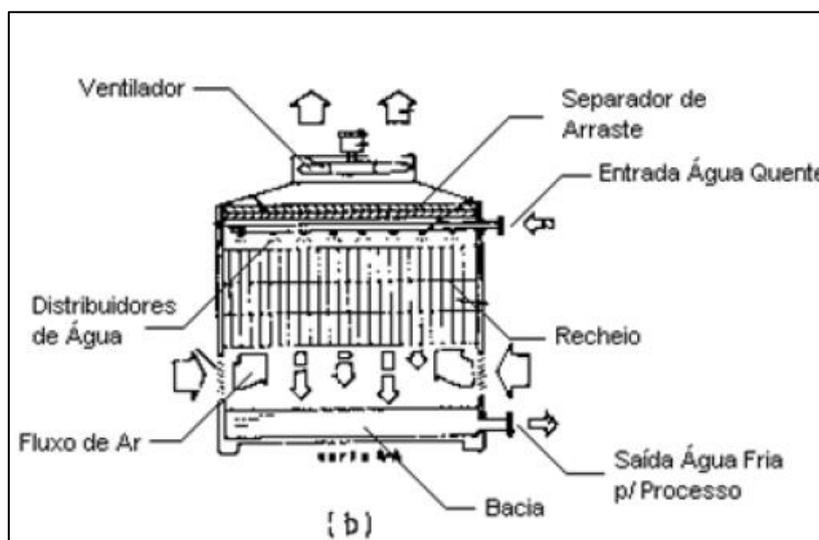
A cerveja, além de ser um contaminante e tornar diferente o ideal da água a ser utilizada no equipamento, traz outras duas complicações, a primeira é o fato de ser uma fonte de nutrição para possíveis microrganismos presentes no ar, na água, em depósitos nos tanques da máquina, e até mesmo na colmeia da torre-de-resfriamento. A segunda complicação é o fato da própria cerveja não pasteurizada ser repleta de microrganismos como leveduras selvagens, *Lactobacillus* entre outras bactérias comuns no processo de produção de cerveja, e as próprias *Saccharomyces*.

Os demais contaminantes da água do circuito fechado do pasteurizador são os microrganismos e compostos inorgânicos.

Os microrganismos estão presentes no ar ambiente, na água da rede, nos depósitos formados na superfície interna do equipamento e no recheio (colmeia) da torre de resfriamento, e como citado anteriormente na cerveja não pasteurizada. Os microrganismos que entram no pasteurizador são carreados pela água industrial, que está em constante circulação antes dar entrada no pasteurizador, a mesma água utilizada para o resfriamento das garrafas que já foram pasteurizadas é aquecida e reutilizada na pasteurização.

Essa água passa por tanques e torre de resfriamento, e nesse último equipamento a água entra em contato com o ar que é sugado pela base da torre e atravessa a colmeia, o ar, portanto, a estrutura das torres exemplificada na Figura 4 é uma fonte de microrganismos para o sistema fechado.

Tabela 4- Esquema de funcionamento de uma torre de resfriamento



Fonte: (TROVATI, 2004)

Já os compostos inorgânicos indesejados na água do pasteurizador e da torre de resfriamento, são oriundos de resíduos de produtos químicos, e das superfícies metálicas presentes no processo e na área de envase. A maior fonte de contaminantes químicos é o sabão lubrificante, usado para diminuir o atrito entre a base das garrafas e as esteiras transportadoras, em sequência estão os resíduos de metais que se soltam dos equipamentos, e outros produtos químicos usados na limpeza, e na lubrificação dos equipamentos, e sais solúveis na água.

A contaminação da água no sistema fechado por microrganismos pode ocasionar a biocorrosão, como também incrustações.

## 2. OBJETIVOS

### GERAL:

O objetivo deste trabalho é apresentar o pasteurizador de túnel na indústria cervejeira, compreender o seu funcionamento, problemas enfrentados na manutenção e preservação.

### ESPECÍFICOS:

Relacionar a ação dos microrganismos nos mecanismos de deterioração, definir e explicar como ocorre biocorrosão, incrustação, e biofilme, e os problemas que esses processos podem acarretar, apresentar medidas para evitar esses processos, métodos de análise e tratamento utilizados na indústria, bem como, as alternativas disponíveis e as vantagens envolvidas.

Citar os aditivos químicos utilizados, assim como, os procedimentos de limpeza e abordar produtos alternativos, suas vantagens econômicas, e ambientais.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 OS MICRORGANISMOS CONTAMINANTES DA CERVEJA

Segundo os estudos de Clerk (1958), a uma temperatura de 60°C mantida por 20 minutos, criam-se condições letais para todos os lêvedos e bactérias que possam estar presentes na cerveja. Conclui-se portanto, que nada se adiciona ao produto quanto a estabilidade biológica, trabalhando com o pasteurizador em temperaturas mais altas, ou tempos de exposição mais prolongados que o indicado (TOBERGTE; CURTIS, 2013a).

Conforme o tipo de produto a ser produzido nas cervejarias há a necessidade de determinadas condições para pasteurização, eliminando-se microrganismos.

Tabela 4- Microrganismos contaminantes da cerveja

	<b>Espécie</b>	<b>Característica</b>	<b>Condições para pasteurização</b>
<b>Lêvedos</b>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	lêvedo mais usado na indústria cervejeira, sua atuação é indesejada após o envase	50°C
	<i>Saccharomyces carlsbergensis</i>	lêvedo puro de baixa fermentação	50°C
	<i>Saccharomyces pastorianus</i>	lêvedo silvestre, transmite gosto desagradável e amargo à cerveja, além do mau cheiro e turvação	50°C
	<i>Hansenula anomala</i>	lêvedo silvestre forma em pouco tempo uma delgada película cinza	50°C
	<i>Mycoderma cerevisiae</i>	lêvedo silvestre, forma uma fina película opaca lisa, que aparece nas adegas em tanques mal fechado	50°C
	<i>Candida utilis</i>	lêvedo silvestre, produz grossas películas mucosas, inofensivas nas cervejas de baixa fermentação	50°C
	<i>Saccharomyces ellipsoideus</i>	lêvedo de vinho, sendo silvestre para o cervejeiro forma uma película e um anel sobre o mosto	54-56°C
	<i>Saccharomyces turbidans</i>	lêvedo silvestre pode causar infecções perigosas nas cervejas de baixa fermentação, ocasiona turvação e mau sabor	54-56°C
<b>Bactérias</b>	<i>Acetobacter viscosum</i>	bactéria capaz de modificar a viscosidade	54°C
	<i>Lactobacillus pastorianus</i>	lactobacilo anaeróbio atua somente nas cervejas de alta fermentação, causando gosto muito desagradável	54°C
	<i>Lactobacillus lindneri</i>	lactobacilo anaeróbio, aparece nas cervejarias de baixa fermentação, ocasiona turvação e sabor desagradável	60°C

Fonte: (MACHADO,2015)

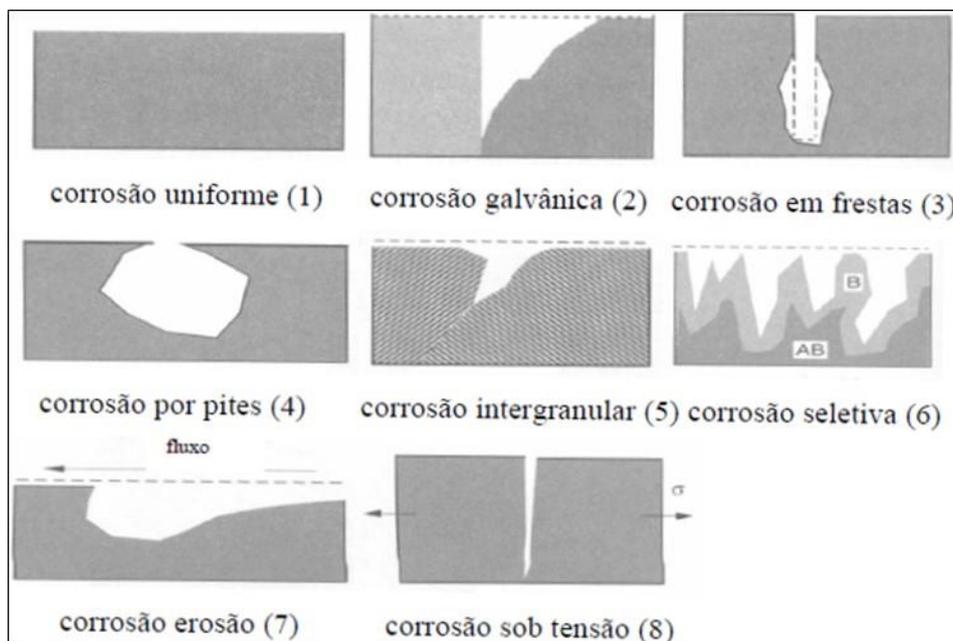
## 3.2 BIOCORROSÃO E PITTING

### 3.2.1 BIOCORROSÃO

O processo de corrosão apresenta-se sob diversas formas e mecanismos, agindo em uma infinidade de metais, a biocorrosão é a ocorrência de corrosão influenciada pela ação de microrganismos.

A corrosão de metais pode desenvolver-se de diversas forma como na Figura 5. A localizada, devido ao seu alto poder de penetração e dificuldade de detecção e controle, é a mais indesejada. Além disso, muitos mecanismos são interdependentes, ou seja, há grandes dificuldades na classificação (TROVATI, 2004).

Figura 4-Diferentes formas de corrosão em metais.



Fonte: (TROVATI, 2004)

A corrosão nos metais é um processo eletroquímico que consiste em uma reação anódica, envolvendo a oxidação do metal (reação de corrosão), e uma reação catódica baseada na redução de espécies químicas. A biocorrosão em metais, pode então ser resumida como um processo eletroquímico de dissolução metálica que tem influência de microrganismos (BEECH;GAYLARDE, 1999).

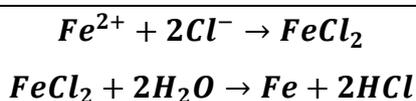
### 3.2.1 PITTING OU CORROSÃO LOCALIZADA

Pitting ou pite, é a corrosão localizada. Trata-se de um dos tipos de corrosão mais destrutivos. É puntiforme, e tem grande capacidade de penetração, devido principalmente à grande diferença de área entre as pequenas regiões anódicas (onde o pitting ocorre) e catódicas.

Normalmente, os “pittings” ocorrem em áreas com depósitos ou incrustações, pois elas geram diferenças muito grandes de potencial, podem ocorrer também na extremidade de filmes de proteção, em zonas com concentração elevada de alguns íons como os cloretos, entre outros.

A resistência à corrosão adquirida pelo aço inox é devido a camada protetora de óxidos ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), existente na superfície metálica. Uma deformação ou esforço sobre o metal (operações de corte, soldagem, dobramento, etc), ou no caso, algum depósito (como os de origem microbiológica), podem romper esta película, expondo o metal abaixo, e gerando neste ponto uma área anódica. Os íons cloretos ( $\text{Cl}^-$ ), são atraídos devido à diferença de cargas e acumulam-se nestes locais, formando cloreto ferroso ( $\text{FeCl}_2$ ). Este se decompõe em hidróxido ferroso ( $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ) e em ácido clorídrico, diminuindo o pH do meio e aumentando o processo corrosivo. Após a penetração no metal, as áreas vizinhas ao “pitting” são cobertas pela camada de óxido, o que concentra ainda mais a área anódica e favorece o aprofundamento do “pitting”. Como regra geral, costuma-se limitar a concentração de cloretos em águas de resfriamento em valores inferiores de 200 ppm.

As equações da reação química que explica o pitting através de biofouling e íons como os de cloretos, são apresentadas conforme a reação 1.



(Reação 1)

Figura 5-Fotografia do corte transversal de um tubo de aço carbono, mostrando a penetração da corrosão na forma de pittings.



Fonte: Adaptado de (HERRO, H.M.; PORT, 1993)

### **3.3 OS MICRORGANISMOS RESPONSÁVEIS PELA BIOCORROSÃO E INCRUSTAÇÕES NOS PASTEURIZADORES DE CERVEJA**

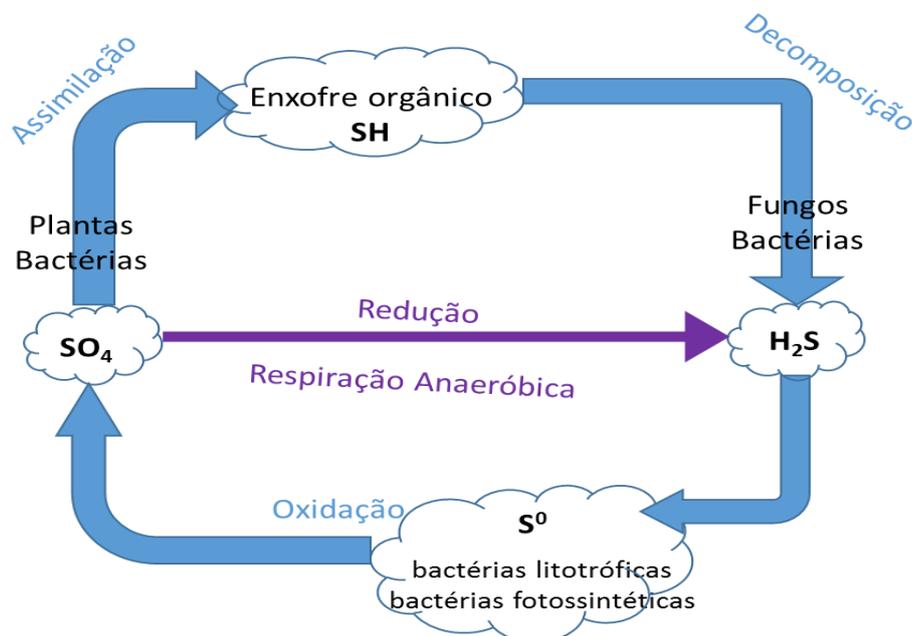
A água permite o desenvolvimento de milhares de seres vivos, desde microrganismos unicelulares até os animais. Com o desenvolvimento da humanidade e o uso generalizado da água nas mais diversas atividades, nos deparamos com problemas muito difíceis de serem resolvidos, principalmente porque desafiam as leis da natureza: a proliferação de microrganismos na água que usamos, e todas as consequências que isso possa acarretar. E, em circuitos de resfriamento, isto é muito mais comum do que se imagina. O crescimento exagerado de algas, bactérias e fungos é um dos grandes problemas encontrados nestes sistemas. E os prejuízos de ordem técnica e econômica são significativos e, algumas vezes, catastróficos (TROVATI, 2004).

A biocorrosão pode ser decorrente da ação de alguns microrganismos específicos, para o caso dos pasteurizadores de cerveja os mais importantes são as bactérias. Muitas bactérias estão relacionadas a biocorrosão e biodeterioração de materiais, mas as principais são as oxidantes de enxofre, as redutoras de sulfatos, e as bactérias oxidantes do ferro, outros microrganismos dependendo dos parâmetros de operação podem estar presentes ou não, como alguns fungos, e algas mas estes são menos importantes, influenciando muito pouco ou indiretamente os processos de biocorrosão, através da formação de depósitos e biofilmes (VIDELA, 2003).

### 3.3.1 BACTÉRIAS OXIDANTES DO ENXOFRE

Os chamados bioelementos (C, O, N, P e S) são os elementos essenciais aos diferentes organismos, e que compõe as principais formas moleculares orgânicas. Os microrganismos degradantes possuem a capacidade de executar o processo de mineralização, que converte os compostos antes presentes de forma estrutural de compostos orgânicos, a sua forma mais simples, moléculas inorgânicas e minerais. Na natureza os bioelementos seguem processos cíclicos, sendo absorvidos por vegetais e bactérias, transformados novamente em compostos orgânicos, que são ingeridos por vários níveis tróficos, e por fim, retornam a sua forma mais primitiva. Aos processos relacionados a corrosão induzida microbiologicamente (CIM) o ciclo do enxofre, Figura 7, tem fundamental importância, e os microrganismos que dele participam são os mais relevantes quando o assunto é biodegradação de materiais (VIDELA, 2003).

Figura 6-O ciclo do enxofre na natureza



Fonte: Adaptado de (TOBERGTE; CURTIS, 2013b)

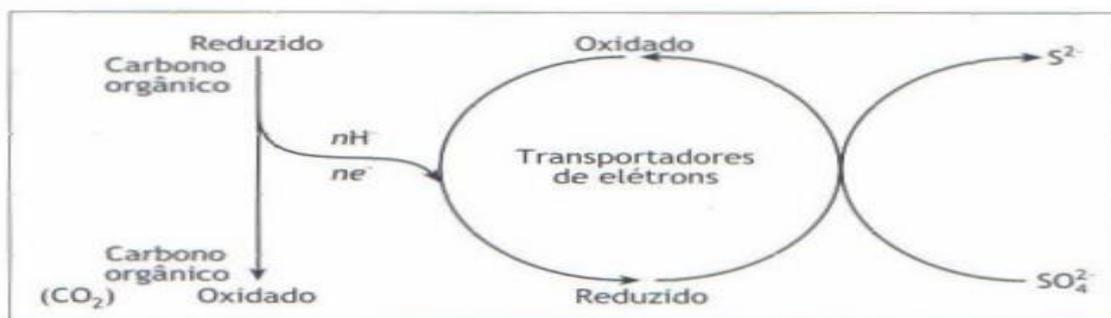
As bactérias oxidantes do enxofre possuem propriedades que variam quanto ao metabolismo, podem ser quimioautotróficas, quimio-heterotróficas ou fotoautotróficas (no caso das que se desenvolvem nas torres de resfriamento na presença de luz). Algumas

espécies podem crescer em anaerobiose e oxidar mais de 30 gramas de enxofre para cada grama de carbono, causando uma elevada acidificação do meio através da produção metabólica de ácido sulfúrico. A acidez elevada pode potencializar a corrosão não só de superfícies metálicas, mas também do concreto nas galerias de escoamento por exemplo. As reações de oxidação com relação com a biocorrosão, e que são provocadas por esse tipo de microrganismos possuem enzimas com ligação ao sistema de transporte de elétrons, e cujo receptor final é o oxigênio. Reações com oxidação parcial do sulfeto e demais compostos de enxofre ocorrem nas chamadas associações microbianas, em que participam também as bactérias anaeróbias redutoras de sulfatos, com corrosividade para o ferro e ligas ferrosas (VIDELA, 2003).

### 3.3.2 BACTÉRIAS REDUTORAS DE SULFATOS (BRS)

No ciclo do enxofre existem também organismos capazes de reduzir o íon sulfato em dois metabolismos distintos, como observado na Figura 8. No primeiro deles, o sulfato é a fonte de enxofre, sofrendo redução até a forma de sulfetos orgânicos, através da redução assimiladora de sulfatos. O segundo metabolismo admite que o sulfato atue como o receptor final de elétrons em respiração anaeróbia, gerando hidrogênio sulfetado através da redução desassimiladora de sulfatos (VIDELA, 2003).

Figura 7-Metabolismo das BRS:

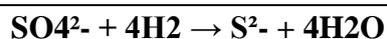


Fonte: (SERGIO PAGNIN, 2003).

As BRS são um grupo de diferentes bactérias com diferenças fisiológicas, e importância ecológica, algumas espécies podem substituir o sulfato pelo nitrato, fumarato,

ou piruvato como receptor de elétrons, podem ainda possuir a capacidade de produzir esporos, e sobreviver a temperaturas acima de 55°C. As fontes de carbono para essas espécies são limitadas ao lactato, piruvato, e ao maleato, e a energia obtida através do carbono fornece a energia necessária para reduzir o íon sulfeto (Figura 8), (VIDELA, 2003).

Algumas BRS são responsáveis pela chamada despolarização, elas possuem a enzima hidrogenase, que lhes permite utilizar o hidrogênio presente no processo segundo a reação 2.

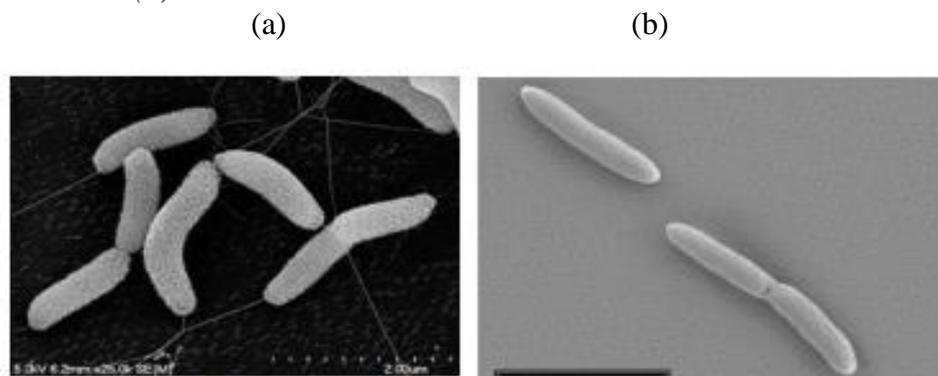


(Reação 2)

Essa reação acelera a corrosão, através da despolarização da reação catódica, ela ocorre se houver uma película de hidrogênio sobre a superfície do metal em anaerobiose (TALBOT; TALBOT, 1998). São exemplos de BRS: *Desulfovibrio desulfuricans* e *Desulfotomaculum acetoxidans* na Figura 9.

Por conta dos metabólitos exigidos e da anaerobiose, podemos concluir, que as condições redutoras necessárias para o crescimento das BRS são geradas através da associação microbiana com bactérias aeróbias que consomem o oxigênio pela respiração, e produzem os intermediários de carbono (VIDELA, 2003).

Figura 8-Exemplos de BRS: *Desulfovibrio desulfuricans* (a) *Desulfotomaculum acetoxidans* (b)

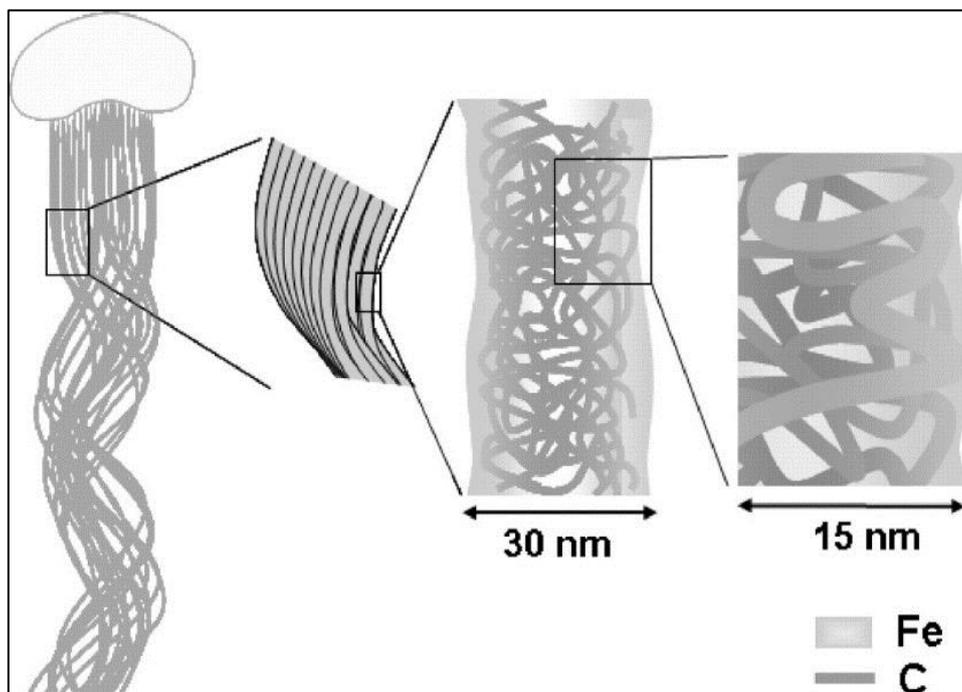


Fonte: (AVELLAR MOTA, 2003).

### 3.3.3 BACTÉRIAS OXIDANTES DO FERRO

As espécies que atendem esse critério apresentam diferenças estruturais, e quanto ao ambiente de proliferação, além dos problemas relacionados a corrosão, elas ainda produzem flóculos, e depósitos de fouling (aglomerados de compostos biológicos e inorgânicos) nos sistemas de águas da indústria. A maioria das espécies como por exemplo a *Gallionella ferruginea* possuem uma bainha helicoidal composta por hidróxido de ferro (Figura 10), que geralmente extrapolam as dimensões das bactérias, e essas bainhas ao se soltarem, aumentam a concentração de sólidos em suspensão na água de sistemas de refrigeração, como nos de pasteurizadores, o que ocasiona a formação dos flóculos, depósitos e entupimentos (VIDELA, 2003).

Figura 9-Representação da bainha helicoidal de hidróxido de ferro da *Gallionella ferruginea*.



Fonte: Adaptado de (SUZUKI et al., 2011).

### 3.3.4 FUNGOS

Os fungos podem se desenvolver em ambientes com baixa umidade e pH ácido, além de exigirem menores quantidades de nitrogênio e oxigênio disponível, condições inviáveis para as bactérias. Em sua maioria, as espécies de fungos não possuem a característica de potencializar os efeitos corrosivos, exceto por algumas poucas com a capacidade de secretar substâncias corrosivas em tanques de combustíveis de aviões. Em regimes comuns de operação, a água dos pasteurizadores excede os 37°C, temperatura limite para o crescimento fúngico para a maioria dos fungos, eliminando-os. Os problemas relacionados a proliferação de fungos são mais comuns, portanto, quando há longas paradas na operação dos equipamentos, sem que sejam tomados os devidos cuidados quanto a dosagem de biocidas. Nessas situações, podem surgir bolores, e depósitos nas superfícies metálicas, e possivelmente lodo e lixo biológico, inutilizando a água do pasteurizador, e exigindo a drenagem e limpeza rigorosa do equipamento e da torre de resfriamento antes que eles possam voltar a serem utilizados.

### 3.3.5 ALGAS

Assim como os fungos, nos pasteurizadores e sistemas de troca de calor, as algas estão mais relacionadas a formação de biofouling, do que à biocorrosão, são a causa da bioacumulação em torres de resfriamento. A corrosão pode ser induzida através do mecanismo de aeração diferencial, e isso pode ocorrer quando certos tipos de algas se associam às bactérias aderidas, formam colônias envoltas por biofilme criando gradientes de pH ou oxigênio nas superfícies metálicas onde crescem (VIDELA, 2003).

### 3.4 BIOFILMES INCRUSTAÇÕES E LODOS

#### 3.4.1 BIOFILMES

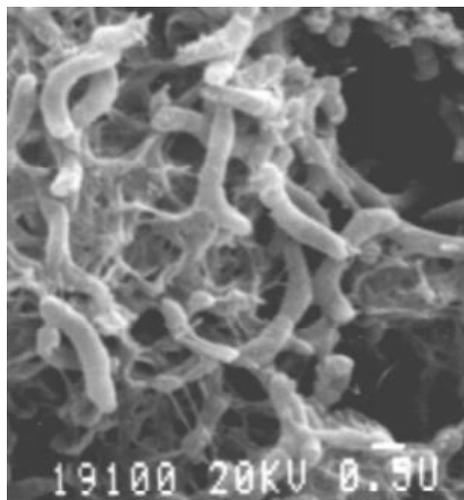
Os microrganismos presentes na água de sistemas de resfriamento podem ser segregados em dois grupos:

**Planctônicos:** Ficam dispersos no líquido movendo-se com o fluxo, sem tendência a se depositarem ou aderirem a superfícies.

**Sésseis:** Responsáveis pelos maiores problemas nos sistemas de resfriamento, pois aderem às superfícies dos equipamentos e tubulações, formando uma camada chamada biofilme.

Biofilmes são formados por células microbianas e sua camada extracelular polimérica (ou exopolímeros), que facilita a adesão bacteriana irreversível à superfície metálica, substâncias inorgânicas derivadas da solução aquosa e/ou produtos da corrosão do metal (BEECH; GAYLARDE, 1999).

Figura 10-Biofilme formado por bactérias redutoras de sulfato, visualizada utilizando um Microscópio Eletrônico de Varredura.



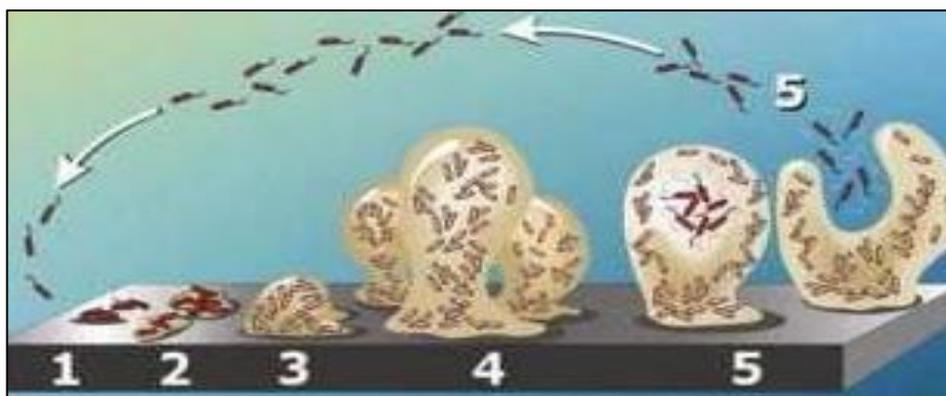
Fonte: (BEECH; GAYLARDE, 1999).

Biofilmes podem ser mono ou multicamadas e serem formados por população de bactérias homogênea ou heterogênea, que permanece fixada à camada extracelular polimérica. Os microrganismos presentes nos biofilmes catalisam reações químicas e

bioquímicas causando a corrosão do metal onde estão aderidos, ocasionando a redução da eficácia de transferência de calor nos equipamentos se os biofilmes se tornarem espessos o suficiente (SATPATHY et al., 2016).

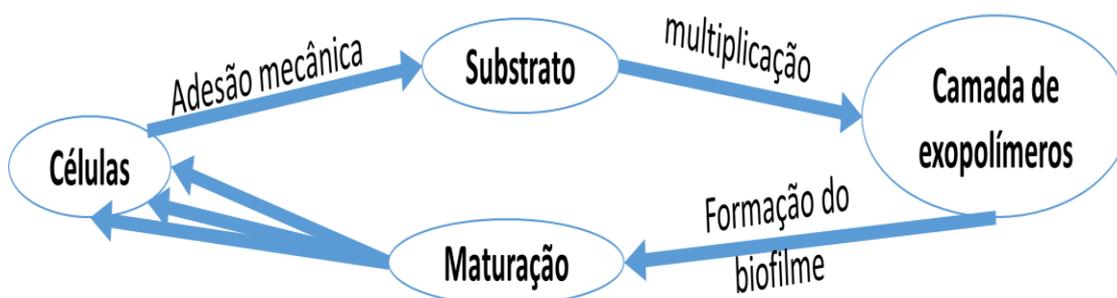
A figura 12 e 13 descrevem os estágios de formação do biofilme. Primeiramente a célula se afixa no substrato por adesão mecânica, então começa a adsorção e ela passa a se multiplicar. Após se multiplicar suficientemente, inicia-se a arquitetura de um biofilme, com a formação de camadas de polímeros produzidos pelas próprias células. Após a formação e maturação do biofilme, tem início a dispersão de algumas células que fazem parte desse biofilme, que então irão se aderir a outra superfície e iniciar a formação de um novo biofilme. (SATPATHY et al., 2016)

Figura 11-Formação de biofilmes de concentração diferencial, com associação de algas e bactérias.



Fonte: (LOPES,R, 2014).

Figura 12-Diagrama dos estágios de formação do biofilme



Fonte: Adaptado de (SATPATHY et al., 2016).

### 3.4.2 INCRUSTAÇÕES

A água encontrada na natureza não é pura, ela apresenta diversas substâncias como sais, óxidos e hidróxidos dissolvidas, substâncias que apresentam pontos de solubilidade distintos, dependendo da concentração, pH e temperatura. Assim como com a evaporação da água em que ocorre aumento na concentração das substâncias dissolvidas, que podem se precipitar e aderir na superfície dos equipamentos, constituindo as incrustações (TROVATI, 2004).

As substâncias com potencial de se tornarem incrustações são em sua maioria sais, que ao terem seus pontos de solubilidade ultrapassados, iniciam uma precipitação na forma de cristais minúsculos, que apresentam uma estrutura molecular ordenada, assim através da agregação de novos cristais formam-se as incrustações (TROVATI, 2004).

Figura 13-Exemplos de Incrustações de Carbonato de Cálcio



Fonte: Adaptado de (TROVATI, 2004).

Incrustações: Caracterizam-se por um acúmulo de material fortemente aderido sobre uma superfície, necessitando de esforços consideráveis para sua remoção (limpezas mecânicas ou químicas). Normalmente, as incrustações são formadas por precipitação de sais e/ou óxidos na forma cristalina, o que geram incrustações altamente coesas e aderidas (TROVATI, 2004).

Os problemas mais frequentes relacionados a incrustações encontrados em torres de resfriamento e pasteurizadores são:

- Obstrução e entupimento dos esguichos, válvulas, e tubulações menores, podendo diminuir a eficiência do processo, romper vasos de pressão, ou restringir a vazão.
- Formação de lodo no fundo dos reservatórios, criando as condições necessárias para o desenvolvimento de novas espécies de microrganismos.
- Crescimento de algas e formação de incrustações em recheios e colmeias de torres, diminuindo a eficiência no resfriamento de água e, podendo corroer o recheio em alguns casos.
- Formação de espuma, devido ao excesso de matéria orgânica causando transbordamentos de tanques e maiores inconvenientes.

Os depósitos de microrganismos em metais acelerar processos corrosivos, favorecendo suas reações.

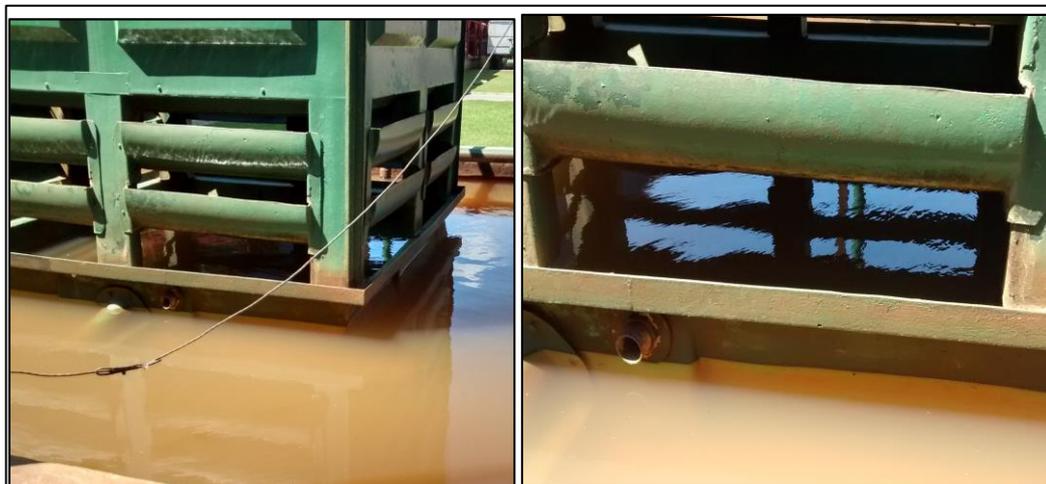
- Alguns tipos de microrganismos específicos são causadores diretos de corrosão, como as bactérias redutoras de sulfato (BRS) e formadoras de ácidos.
- A massa oriunda do crescimento excessivo de organismos em águas de resfriamento também provoca aumento da demanda química e bioquímica de oxigênio (DQO e DBO), e isso gera complicações para o tratamento.
- Alguns microrganismos patogênicos se desenvolvem com facilidade em torres de resfriamento (como exemplo podemos citar as bactérias do gênero *Legionella*).
- Diminuição das taxas de troca de calor nos trocadores, devido à baixa condutividade térmica das incrustações.
- Entupimento de bicos e dispositivos distribuidores de água nas torres de resfriamento, promovendo a ocorrência de canais preferenciais de escoamento e diminuindo a eficiência do equipamento.

Os microrganismos presentes no pasteurizador são alimentados pelos resíduos de cerveja e assim se multiplicam, favorecendo a produção de biofilmes e provocando o aparecimento de depósitos de lodos, quando esses depósitos se soltam eles obstruem as peneiras de sucção das bombas e os chuveiros aspersores do pasteurizador. Isto torna a pasteurização ineficiente, devido a um desequilíbrio na velocidade de troca térmica necessária para que a pasteurização ocorra.

Durante paradas de operação, as vezes por vários dias seguidos, se o sistema não for drenado, os componentes químicos devem ser dosados em alta concentração, e alguns minutos devem ser aguardados para que eles se espalhem por todo o sistema. Outra forma de dosar o produto em paradas, é com o equipamento desligado, dosando tanque a tanque, e inclusive na bacia da torre, o procedimento pode ser repetido diariamente conforme a necessidade.

Caso esse procedimento não seja cumprido, ocorrerá a proliferação de microrganismos de maneira descontrolada, gerando lodos, acidificação da água, e incrustações, combinando vários problemas, entre eles um alto índice de corrosão em um curto período de tempo, mau cheiro, entupimentos, incrustações, e podendo ainda queimar bombas, ou danificar outros equipamentos. As Figuras 15 e 16 exemplificam esse mecanismo.

Figura 14-Água do sistema fechado Pasteurizador/Torre de Resfriamento em um regime de operação normal de quase duas semanas após o CIP (com dosagem de químicos)



Fonte: (FRANCISCHINI, 2016)

Figura 15-Água do sistema fechado Pasteurizador/Torre de Resfriamento em parada de 4 dias consecutivos após quase uma semana operando após o CIP (sem a dosagem de químicos)



Fonte: (FRANCISCHINI, 2016)

Além disso o crescimento bacteriano severo pode gerar odores desagradáveis, e os biofilmes geram um ambiente propício para o crescimento de bactérias anaeróbias, que são capazes de reduzir sulfato a gás sulfídrico, tornando o ambiente corrosivo.

### **3.5 PARÂMETROS E ANÁLISES DE MONITORAMENTO E CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA**

#### **3.5.1 PARÂMETROS DE ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS**

##### **Contagem Microbiológica na Água**

É um método simples, basicamente, a água do sistema é introduzida com um meio de cultura. Após um tempo de incubação, são contadas visualmente, ou com a ajuda de um microscópio, as colônias existentes por ml do meio (UFC/ml) (TROVATI, 2004).

É importante primeiramente, analisar a qualidade microbiológica da água de entrada no pasteurizador, se a contagem microbiológica acusar um valor superior à de  $10^4$  UFC deve-se avaliar a necessidade de uma dosagem maior do biocida.

De acordo com o sistema, pode-se exceder esse valor sem maiores problemas, pois as bactérias medidas no procedimento são em maioria planctônicas (TROVATI, 2004).

Os maiores problemas nos sistemas de resfriamento são os organismos sésseis (que crescem aderidos às superfícies), e nesse caso o método não fornece informações confiáveis quanto infestações, e quanto ao grau de severidade (TROVATI, 2004).

##### **Índice de Aderência de Biofilme**

Trata-se de uma medição indireta da tendência dos microrganismos sésseis (que crescem aderidos às superfícies). No método são usadas lâminas de vidro (comum em microscopia) imersas na água do sistema em que se avaliará o biofilme, as lâminas são posicionadas em vários pontos (torre de resfriamento, tanques, trocador de calor). Após um, ou mais dias de exposição as lâminas são recolhidas e são analisados os eventuais depósitos gerados, podendo em alguns casos identificar inclusive algumas espécies no microscópio. As amostras são então secas em estufa, e é feito um tingimento das mesmas com corante fucsina (vermelho). Com o espectrofotômetro ou colorímetro é então mensurada a intensidade do biofilme. O método de também permite avaliar o desempenho de biodispersantes e biocidas sobre a população sésil dos microrganismos (TROVATI, 2004).

### **Medida do Material Suspenso**

As técnicas de turbidimetria, ou filtração em membrana pode indicar, indiretamente, a quantidade de microrganismos na água do sistema. Esta medição é bastante influenciada por material não-orgânico normalmente encontrado na água, tais como areia finamente dividida, no caso em questão cacos de vidro moídos, produtos de corrosão metálica, e sais precipitados (TROVATI, 2004).

### **Análises de DQO, DBO e Carbono Orgânico Total**

Esses métodos permitem ao comparar os valores de carga orgânica encontrados na água de alimentação do sistema, e no sistema em operação. Normalmente, valores elevados indicam crescimento microbiológico acentuado, o que permite a tomada das providências necessárias (biocidas, biodispersantes, drenagens, e limpezas completas no sistema) (TROVATI, 2004).

### **3.5.2 PARÂMETROS DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS**

A água, possui a tendência a dissolver outras substâncias. Quanto maior sua pureza, maior é a tendência solubilizante da mesma; e quando a água possui altas concentrações de sais, maior é a tendência destes se precipitarem. Propriedades físico-químicas da água também interferem na solubilidade, como é o caso da temperatura, do pH, das espécies químicas envolvidas. As taxas de corrosão e incrustação fornecem medidas diretas sobre capacidade corrosiva da água e quanto sua intensidade, pode-se avaliar o seu efeito em diversos metais e ligas. E também qualificar e quantificar os principais formadores de incrustações no sistema, permitindo que sejam tomadas medidas corretivas específicas.

### **Método dos Cupons de Prova**

As taxas de corrosão podem ser obtidas através do método dos cupons de prova. Os cupons são feitos com todos os metais e ligas presentes no sistema. Após o tratamento

com os produtos do sistema, eles são posicionados na estação, e submetidos ao fluxo de água por um tempo mínimo de 30 dias (TROVATI, 2004).

Então, eles são avaliados em relação aos depósitos: cor, intensidade, tipo de corrosão (localizada ou distribuída, pittings, etc). Depois, são pesados, limpos, secos e pesados novamente, dessa forma, é avaliada a perda de material. Com a massa de metal perdida, e a área exposta do cupom e o período de permanência, pode-se calcular a taxa de corrosão, expressa em mpy (milésimos de polegada de penetração por ano) ou mdd (miligramas de massa perdida por  $\text{dm}^2$  por dia) (TROVATI, 2004).

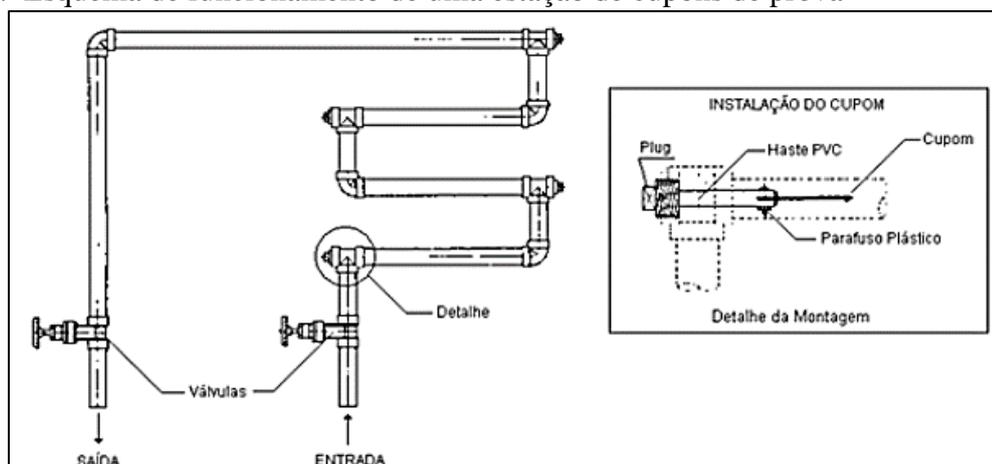
Nas figuras 17 e 18 há a exemplificação de um sistema simples de colocação de cupons de corrosão e alguns cupons após certo período de exposição

Figura 16-Foto de uma estação de cupons de prova em um pasteurizador de cerveja



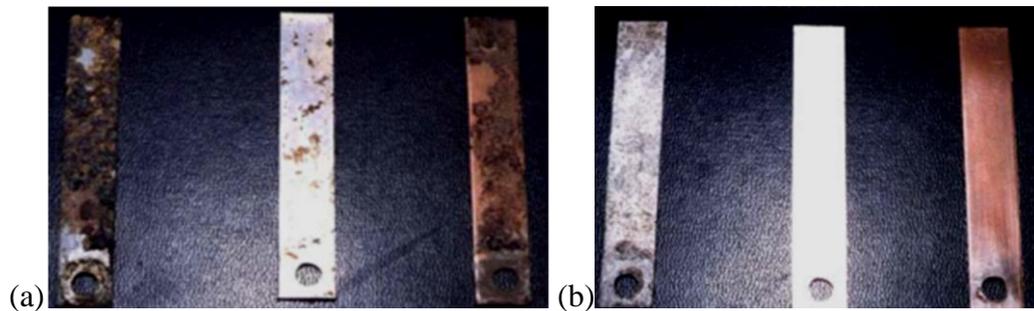
Fonte: (FRANCISCHINI, 2016)

Figura 17-Esquema de funcionamento de uma estação de cupons de prova



Fonte: (TROVATI, 2004)

Figura 18- (a) Cupons de prova (aço, alumínio, e cobre) recém retirados de uma estação; (b) Na foto os mesmos cupons após a limpeza (no primeiro cupom à esquerda, de aço, pode-se perceber os traços de corrosão após a limpeza)



Fonte: (TROVATI, 2004)

### Índice de Langelier

Uma forma de quantificar a tendência corrosiva e incrustante da água foi formulada pela primeira vez por Langelier em 1936 que, usou um sistema água e carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), propondo uma equação (Eq.11) válida para pH entre 6,5 e 9,5:

$$pH_s = (pK_2 - pK_s) + pCa + pAlc$$

(Eq.11)

Sendo  $pH_s$ , o pH de saturação, ou seja, o pH no qual uma água com uma concentração de cálcio e alcalinidade está em equilíbrio com o carbonato de cálcio.  $K_2$  e  $K_s$  são respectivamente, a segunda constante de dissociação, e o produto de solubilidade do  $\text{CaCO}_3$ . E  $pCa$  e  $pAlc$  são os logaritmos negativos da concentração de cálcio (em mol/L) e da alcalinidade total (titulados como eq-g/L).

Portanto, o índice de Saturação de Langelier é dado pela Equação 12:

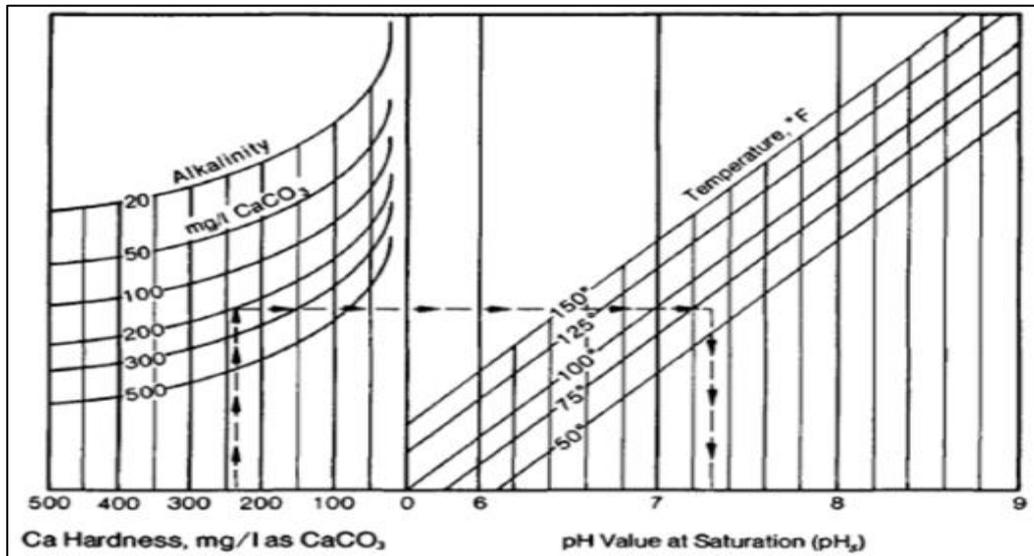
$$\text{Índice de Saturação (Langelier)} = pH - pH_s$$

(Eq.12)

Os valores positivos do índice indicam tendência de deposição. Enquanto que, valores negativos indicam tendência de dissolução de  $\text{CaCO}_3$ . O Índice de Saturação é apenas qualitativo e, como o próprio Langelier afirmou, é apenas um método indicativo sobre a tendência, e a força motriz do processo (corrosivo ou incrustante) e não um método capaz de mensurar esta tendência (TROVATI, 2004).

Os valores de pH podem ser obtidos graficamente através de cartas, tais como a Figura 20.

Figura 19- Diagrama mostrando os passos para obtenção do valor de pHS. Supondo: Dureza da água = 240 mg/L; Alcalinidade Total = 200 ppm; Temperatura = 70°F; pH de Saturação (pHS) = 7,3.



Fonte: (HERRO, PORT, 1993)

### Índice de Estabilidade de Ryznar

Na tentativa de tornar mais útil o Índice de Saturação de Langelier, permitindo-o obter um método quantitativo confiável para medir a característica incrustante e corrosiva da água, J. W. Ryznar propôs a utilização do Índice de Estabilidade:

$$\text{Índice de Estabilidade (Ryznar)} = 2\text{pH}_s - \text{pH}$$

Segundo este índice, a água sem tratamento torna-se incrustante em valores abaixo de 6 e começa a apresentar características corrosivas com valores de Índice de Ryznar acima de 7 (TROVATI, 2004).

## 3.6 PRODUTOS QUÍMICOS USADOS NO TRATAMENTO DA ÁGUA

### 3.6.1 INIBIDORES DE CORROSÃO

Os métodos mais utilizados na prevenção de corrosão são os inibidores de corrosão. Os inibidores funcionam com base nas reações de oxido-redução, impedindo ou diminuindo as reações. Podemos classificar os inibidores de corrosão em duas categorias: os inibidores anódicos e inibidores catódicos, há ainda aqueles que apresentam ambas as características (TROVATI, 2004).

Usualmente são empregados combinações de ambos os inibidores de corrosão, visando controlar todas as possibilidades de ocorrência da corrosão.

#### 3.6.1.1 INIBIDORES ANÓDICOS:

Estes inibidores atuam principalmente nas áreas anódicas do metal, onde há escape de elétrons e formação de átomos com estado de oxidação superiores ( $\text{Fe}^{+2}$  por exemplo).

Os inibidores anódicos funcionam basicamente de duas formas: 1) reagem com os íons metálicos produzidos no ânodo e formam um filme de óxidos combinados, isolando o metal base e impedindo o prosseguimento das reações anódicas. 2) Formam um filme adsorvido sobre a superfície anódica, impedindo o fluxo de íons e elétrons nessa região, além de isolá-la do contato direto com o ambiente (TROVATI, 2004).

São exemplos de inibidores anódicos, segundo Trovati (2004):

Os Cromatos são muito eficientes, formam uma película fina de óxido de cromo e ferro ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) muito aderente e duradoura. Não são atualmente empregados devido à sua alta toxidez. Os Molibdatos e Tungstos agem de modo semelhante ao cromato.

Os Ortofosfato promovem a formação de um filme de ortofosfato de ferro ( $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ ), é um filme mais espesso do que o formado pelo cromato. É normalmente utilizado em conjunto com inibidores de corrosão poliméricos.

Os Nitritos são excelentes para inibir corrosão em aço carbono, não são utilizados em sistemas abertos devido à toxidez. E, Lignosulfonados e Taninos formam um filme orgânico adsorvido na superfície do metal, protegendo-o da corrosão.

Alguns polímeros com baixo peso molecular, assim como poliacrilatos e polimaleatos, demonstram propriedades de inibição de corrosão.

Silicatos promovem a formação de um filme sobre a superfície do metal, e são normalmente empregados em sistemas fechados.

### **3.6.1.2 INIBIDORES CATÓDICOS:**

Estes inibidores agem preferencialmente, porém não obrigatoriamente, nas zonas catódicas dos processos corrosivos. O mecanismo de ação também se baseia na formação de barreiras e filmes protetivos, que restringem o fluxo de íons hidrogênio, hidroxilas e oxigênio para as superfícies catódicas, que completam as reações de corrosão (TROVATI, 2004).

Os Polifosfatos promovem a inibição de corrosão quando íons de metais bivalentes, como o Cálcio, estiverem presentes na água. Quando utilizado em combinação com o zinco apresentam resultados superiores ao seu uso isolado. O inconveniente é que o excesso de fosfatos induz o desenvolvimento microbiológico, principalmente o crescimento de algas no sistema.

O Zinco é usualmente utilizado em combinação com outros inibidores, pois sua ação isolada se mostra pouco efetiva.

Quando devidamente controlado o Carbonato de cálcio promove um fino depósito que age como inibidor de corrosão.

### **3.6.1.3 INIBIDORES CATÓDICOS E ANÓDICOS SIMULTÂNEOS:**

Fosfonatos são muito utilizados como inibidores de corrosão em conjunto com o zinco. Aminas e amidas formam filme orgânico adsorvido sobre a superfície do metal, pouco utilizado em sistemas abertos devido ao alto custo e baixa eficiência.

Azóis formam um filme precipitado com o cobre na superfície do metal, impedindo a corrosão e processos de esfoliação da liga, principalmente quando há concentrações significativas de amônia no sistema.

A) Quando reagem com cálcio ou zinco, formam partículas carregadas positivamente que são atraídas pelas áreas catódicas (negativamente carregadas), formando um filme nessa região;  
B) Devido à sua capacidade de seqüestração de íons metálicos, o fosfonato reage com íons ferro ( $Fe^{2+}$ ) formados nas áreas anódicas, impedindo-os de reagir com as hidroxilas e formando um complexo fosfonato-ferro cristalizado sobre a superfície, impedindo fisicamente o prosseguimento das reações de corrosão (TROVATI, 2004).

### 3.8.2 INIBIDORES DE INCRUSTAÇÕES

Muitos dos inibidores de corrosão também agem como inibidores de incrustações, são exemplo os polifosfatos e fosfonatos.

A prevenção das incrustações pode ocorrer de diversas maneiras:

Através do mecanismo floculante, que é um método utilizado para combater incrustações de origem orgânica. Para esse propósito, emprega-se normalmente polímeros (ou polieletrólitos) que aglutinam as substâncias indesejadas, formando flocos, o que permite a retirada desses flocos através dos sistemas de descarga ou através de filtros (TROVATI, 2004). A prevenção ainda pode ocorrer através de mecanismo dispersante, que é utilizado para incrustações de origem inorgânica. Além do tratamento químico, ou em conjunto com o mesmo, as incrustações podem ser evitadas utilizando-se métodos alternativos, segundo Trovati (2004):

O Condicionamento Magnético de Cristais consiste na aplicação de um campo magnético que distorce a estrutura cristalina do cristal. Os cristais distorcidos podem então ser removidos pelas descargas.

O Pré-Tratamento consiste em remover o material dissolvido e em suspensão na água de alimentação do sistema. Normalmente empregam-se aparelhos de troca iônica para remoção dos sais dissolvidos.

O Reaproveitamento de Águas Condensadas, o condensado é uma água com baixíssima concentração de sais dissolvidos, o que minimiza a formação de incrustações.

### 3.8.3 BIOCIDAS

Biocidas são compostos simples, ou uma mistura de compostos capazes de eliminar microrganismos e prevenir seu crescimento. Compostos biocidas podem ser inorgânicos, assim como cloro, ozônio e bromo, ou podem ser orgânicos como isotiazolonas, compostos de amônio quaternário e aldeídos (glutaraldeído e acroleína por exemplo) (VIDELA, 2002).

A efetividade de um biocida depende da natureza dos microrganismos a serem eliminados e das condições operacionais do sistema. Sempre é recomendado realizar um teste para definir qual o biocida adequado para certas situações (VIDELA, 2002).

Os biocidas podem ser divididos em biocidas oxidantes e não-oxidantes:

São biocidas oxidantes o cloro, dióxido de cloro, bromo, ozônio e peróxido de hidrogênio; e fazem parte dos biocidas não-oxidantes as isotiazolonas, glutaraldeído, compostos quaternários de amônia, entre outros.

Quadro 1 – Lista de biocidas geralmente utilizados em sistemas de águas industriais

<b>Biocidas Oxidantes:</b>
<b>Cloro:</b> Efetivo contra bactérias e algas; dependente do pH; faixa de concentração: 0,1-0,2 ppm (tratamento contínuo).
<b>Dióxido de cloro:</b> Efetivo contra bactérias, menos efetivo contra fungos e algas; independente do pH; faixa de concentração: 0,1-1,0 ppm.
<b>Bromo:</b> Efetivo contra bactérias e algas, ampla gama de pH, faixa de concentração: 0,05-0,1 ppm
<b>Ozônio:</b> Efetivo contra bactérias e biofilmes; dependente do pH; faixa de concentração: 0,2-0,5 ppm.
<b>Biocidas Não-oxidantes:</b>
<b>Metileno-bis(tiocianato):</b> Efetivo contra bactérias; sofre hidrólise em pH > 8,0; faixa de concentração: 1,5-8,0 ppm.
<b>Isotiazolonas:</b> Efetivo contra bactérias, algas e biofilmes; independente do pH; faixa de concentração: 0,9-10,0 ppm.
<b>Compostos quaternários de amônia:</b> Efetivos contra bactérias e algas; surfactante; faixa de concentração: 8-35 ppm.
<b>Glutaraldeído:</b> Efetivo contra bactérias, algas, fungos e biofilmes; ampla gama de pH; faixa de concentração: 10-70 ppm

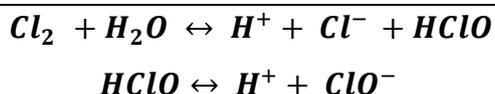
Fonte: Adaptado de (VIDELA, 2002).

O biocida utilizado no sistema de águas industriais descrito no presente trabalho é o hipoclorito de sódio, que é um inibidor de hidratos com característica biocida, contribuindo com a eliminação e prevenção do crescimento de microrganismos no pasteurizador.

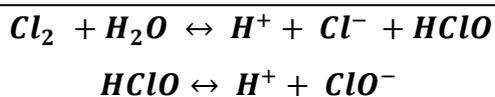
### Cloro e Seus Compostos

O gás cloro ( $\text{Cl}_2$ ), hipoclorito de sódio ou hipoclorito de cálcio, ( $\text{NaClO}$  e  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ), o dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ) e demais compostos clorados são frequentemente empregados no tratamento de águas de resfriamento. Mas basicamente, a ação biocida advém da formação do ácido hipocloroso ( $\text{HClO}$ ), que é o principal responsável pela ação oxidante do composto (TROVATI, 2004).

As reações 3 e 4 demonstram esse processo (adotando como composto de partida o gás cloro):



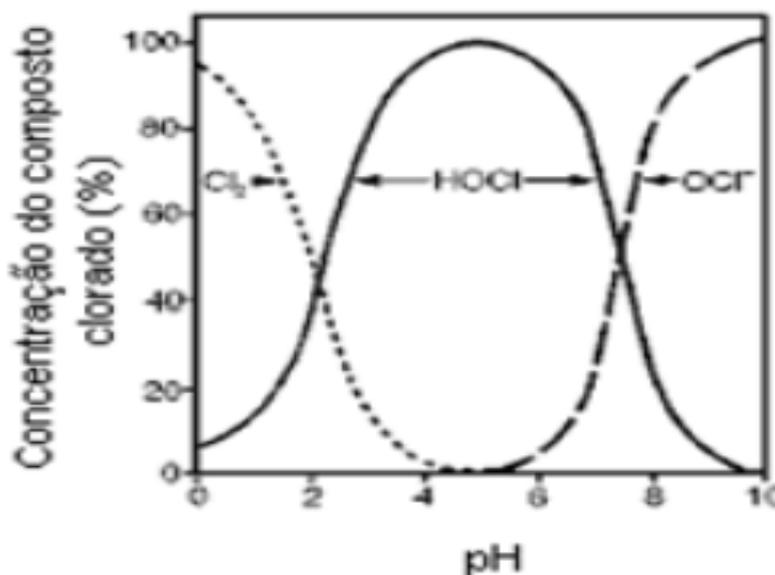
(Reação 3)



(Reação 4)

Sendo que a dissociação que permite a reação acima é dependente do pH, o que restringe os processos de cloração em águas a valores de pH abaixo de 8,5. Este fenômeno pode ser visualizado nas curvas presentes na Figura 21.

Figura 20-Curvas de distribuição do  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HOCl}$ , e  $\text{OCl}^-$  em função do pH.



Fonte: Adaptado de (TROVATI, 2004)

### Cloro Residual Livre

A soma das quantidades de ácido hipocloroso e íons hipoclorito ( $\text{ClO}^-$ ) é chamada “Cloro Residual Livre”. Como são extremamente reativos, os compostos clorados oxidam vários componentes presentes na água além do material orgânico, como amônia, aminoácidos, proteínas, ferro, manganês, enxofre, cianetos, entre outros (TROVATI, 2004).

### Demanda de Cloro

A quantidade de cloro necessária para reagir com todos os componentes citados (incluindo o material orgânico) é chamada “Demanda de Cloro”(TROVATI, 2004).

### Cloro Residual Combinado

Na reação com amônia, o cloro forma compostos chamados cloraminas, com ação biocida; o composto de cloro como a cloramina é denominado “Cloro Residual Combinado” (TROVATI, 2004).

## Cloro Total

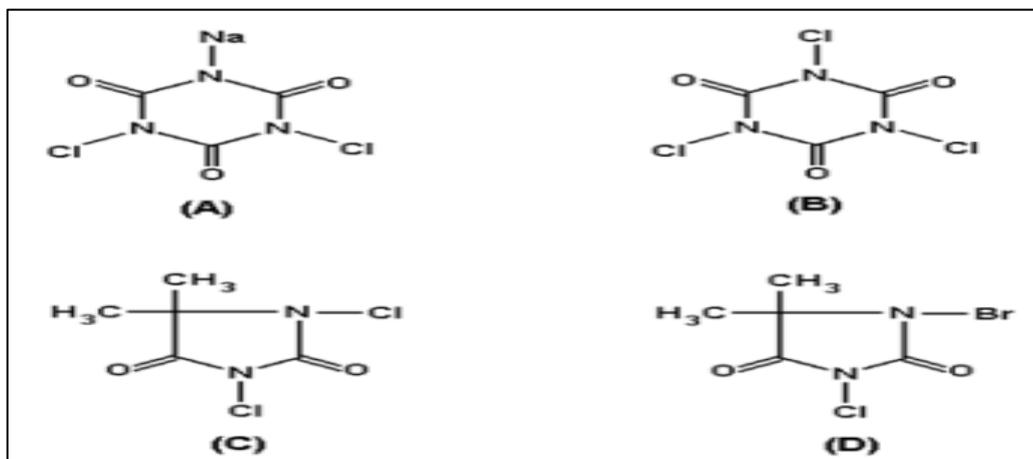
Somando-se o cloro combinado e o cloro livre temos como resultado o “Cloro Total” (TROVATI, 2004).

Mesmo sendo extremamente eficientes e baratos, os compostos com cloro apresentam vários problemas, e restrições de uso, como citado em TROVATI, 2014 :

- Limitação quanto a faixa de pH que permite o uso.
- São instáveis quando submetidos à luz solar (nas torres de resfriamento).
- O tempo para uma ação eficiente é elevado.
- A oxidação é superficial, sendo ineficiente para biofilmes espessos.
- Oxidam o ferro e demais metais do sistema (aumenta incidência de corrosão).
- Cloraminas podem gerar odores desagradáveis.
- Residuais de cloro livre elevados degradam os inibidores de incrustações e corrosões, interferindo no tratamento.
- Quando a carga orgânica está muito elevada, há um consumo excessivo de cloro.

Atualmente possuímos uma série especial de compostos orgânicos clorados, chamados de compostos de cloro orgânico. A nova classe é representada principalmente pelo dicloro-isocianurato de sódio, o ácido tricloro-isocianúrico e o dicloro-dimetilhidantoína (o último quando associado ao bromo, tem a performance é melhorada em pH mais altos).

Figura 21-Representação das moléculas de alguns compostos de cloro orgânicos: (A) dicloro-isocianurato de sódio; (B) ácido tricloroisocianúrico; (C) dicloro-dimetil-hidantóina; (D) cloro-bromo-dimetil-hidantóina.

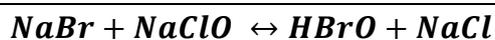


Fonte: MACEDO (2001), FERREIRA F.(2001) e HIDROALL (2000).

As vantagens sobre os produtos clorados tradicionais, são: a preferência na atuação sobre o material orgânico, a estabilidade fotoquímica, e a liberação lenta e contínua do ácido hipocloroso. Como subprodutos, eles geram o cianurato de sódio ou a hidantóina, que possuem ação biocida residual, aumentando sua atuação. Estes compostos têm obtido sucesso em sistemas de resfriamento de água e em piscinas, e não desencadeiam a formação de trihalometanos (precursores de câncer em seres humanos). MACEDO (2001), FERREIRA (2001) e HIDROALL (2000) .

### Compostos de Bromo

Semelhante ao mecanismo de atuação do cloro, o bromo gera ácido hipobromoso (HBrO) que possui poder biocida. Ele é produzido a partir do brometo de sódio (ou potássio, ou amônio) reagindo com hipoclorito de sódio. Como é demonstrado pela reação 5.



(Reação 5)

Os compostos de bromo possuem uma série de vantagens sobre os com cloro:

- Tem a ação garantida também em soluções com pH elevado.
- Possuem estabilidade em relação à luz solar, se comparados aos clorados.
- Requer menor tempo de contato com o material em relação ao cloro.
- Pode ser usado em menor concentração para o mesmo efeito biocida, com isso, reduz a formação de produtos corrosivos e evita a interferência com os demais produtos do tratamento (TROVATI, 2004).

### **Peróxidos**

Como possuem um alto poder oxidante, alguns peróxidos, como o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) são usados para controle biológico em sistemas de resfriamento. Normalmente, eles são dosados no equipamento que está apresentando problemas (tais como biofilmes em trocadores de calor). Uma grande desvantagem, é o fato de ser extremamente volátil, reduzindo sua eficiência, e aumentando os processos corrosivos.

### **Ozônio**

Assim como os peróxidos, o ozônio ( $O_3$ ) também pode ser usado como agente biocida em águas de resfriamento. Mas o custo elevado dos equipamentos destinados à geração desse gás e sua alta volatilidade, restringem seu uso. É mais frequentemente usado no tratamento de água potável e alguns efluentes.

## **3.9 PROCEDIMENTOS DE LIMPEZA PERIÓDICA**

Dentre os procedimentos para a assepsia, diminuição das incrustações, e eliminação dos depósitos de lodo e de carga microbiana estão o CIP alcalino (clean in place), realizado quinzenalmente, e os processos de drenagem e limpeza mecânica, que envolvem o uso de mangueiras de alta pressão, escovas e equipamentos para desentupir tubulações obstruídas com incrustações, este segundo procedimento só é realizado no caso de contaminações severas, longas paradas, ou necessidade de remoção de incrustações localizadas.

O procedimento de CIP alcalino consiste na circulação de uma solução de NaOH e água, com adição ou não de inibidores de incrustações, a solução circula por cerca de 30 minutos em todas as tubulações e tanques do sistema, inclusive na torre de resfriamento, isso a uma temperatura de 65 °C, então a solução é drenada, então o sistema

é completado com água tratada, novamente aquecido a 65°C e posteriormente circula-se o volume por cerca de 30 min, então essa água era drenada e por fim o sistema era completado com a água pura para operação. Recentemente uma alteração foi feita no procedimento; adicionando-se ácido nítrico aos tanques de forma distribuída ao fim dos 30 minutos de circulação da solução inicial, o volume é neutralizado, e dessa forma o volume total de água para lavagem que antes era descartado passou a ser poupado, no caso do sistema da linha em questão, passou-se a economizar 70m<sup>3</sup> de água pura quinzenalmente.

Figura 22-Colmeia de uma torre com algas (a), e após a limpeza mecânica (b).



(a)



(b)

Fonte: (FRANCISCHINI, 2016)

#### **4. METODOLOGIA**

Empregou-se o estudo exploratório-descritivo através de pesquisa bibliográfica, e da utilização de dados secundários oriundos de publicações e resultados de pesquisas específicas sobre os aditivos químicos e tratamentos utilizados no controle microbiológico de agentes causadores de biocorrosão e incrustações.

Além de conhecimento técnico adquirido durante estágio superior na área de envase na indústria cervejeira em questão, leitura de material teórico relevante como manuais e padrões operacionais, e conhecimentos da operação do equipamento.

## 5. CONCLUSÃO

No final de 2015 até alguns meses atrás o Brasil enfrentou uma crise hídrica a níveis catastróficos, e a população e as indústrias em geral encontraram formas nunca pensadas anteriormente para contornar a situação, superando esse problema. Portanto, todas as técnicas e processos que visam poupar a água devem ser mantidos, melhorados e estudados constantemente, como é o caso do tratamento da água nas torres de resfriamento. Porém além da água em si, devemos pensar nos custos que envolvem esse tratamento, e a preservação estrutural dos maquinários, pois todos sistemas fechados de troca de calor com torres de resfriamento, e pasteurizadores na indústria estão relacionados com contaminação da água, e biocorrosão oriunda da proliferação de microrganismos com a característica específica de interagir com os processos químicos de corrosão, aumentando-os.

A biocorrosão também é em parte acelerada, ou iniciada após um outro processo permitido pela contaminação com os resíduos de alimentos ou bebidas, e os microrganismos, no caso as incrustações. Elas permitem a fixação desses microrganismos, ou geram ambientes anaeróbios, que permitem o desenvolvimento das bactérias redutoras de enxofre a  $H_2S$ , corrosivas, entre outros.

Conforme abordado no trabalho, os aditivos químicos, combinados com tecnologias de análise, e manutenção podem ser usados no tratamento da água e na preservação estrutural dos equipamentos envolvidos, e dessa forma, podemos prolongar o reuso da água de troca térmica, e aumentar a vida útil do maquinário, e subconjuntos, e manter a eficiência do processo de pasteurização e resfriamento na indústria em questão.

Atualmente possuímos uma grande quantidade, e variedade de processos e produtos com a finalidade de analisar, controlar ou tratar a condição da água em sistemas fechados de troca térmica, e muitos voltados especificamente para a indústria de bebidas, cada um deles possui um mecanismo de atuação, uma concentração ou tempo de resposta diferentes, custos, e efeitos indesejados, como aumentar a capacidade corrosiva, por exemplo, cabe a avaliação dentre todos, buscando aquele com a maior compatibilidade, e melhor custo-benefício.

Cabe a nós melhorarmos cada vez mais os processos envolvidos no tratamento da água de troca térmica, desenvolver novas técnicas, novos produtos químicos ou procedimentos de tratamento da água, e novos materiais, buscando cada vez mais tornar

o processo mais eficiente, o uso da água cada vez menos necessário, e a vida útil dos equipamentos cada vez maior. E isso tudo, sem agredir o meio ambiente, preservando a saúde dos consumidores e dos trabalhadores da indústria e com o menor custo possível.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADELMO ANSELMO, A.; POLAM ZIELONCA, W. AUTOMATIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE PASTEURIZAÇÃO PZ501-001. 2008.
- BEECH, I. B.; GAYLARDE, C. C. Recent advances in the study of biocorrosion: an overview. **Revista de Microbiologia**, v. 30, n. 3, p. 177–190, 1999.
- HAFFMAN. **Manual de Instruções REDPOST MONITOR DE PASTEURIZAÇÃO**. Disponível em: <[www.vipbeverages.com.br/criativos/1300/a10s0001/070226/0012a.doc](http://www.vipbeverages.com.br/criativos/1300/a10s0001/070226/0012a.doc)>. Acesso em: 10 maio. 2016.
- HERRO, H.M.; PORT, R. D. **The nalco guide to cooling water system failure analysis**. New York.: Mc. Graw Hill., 1993.
- KARLA DE AVELLAR MOTA. Microscopia de biofilmes em substrato metálico formado em sistema estático e dinâmico na presença de fluido oleoso. 2003.
- LIMA DE SOUZA, A.; ASSIS, R.; SANTOS DE OLIVEIRA NETO, M.; REIS, A. Linha de Envase de Cerveja Retornável - Problemas que Geram Insatisfação do Consumidor - Aplicação do Método QC Story na Busca de Solução. **Sistemas & Gestão**, v. 9, n. 4, p. 466–478, 2014. Disponível em: <<http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/view/V9N4A5/SGV9N4A5>>.
- LOPES, R. **BIOFILMES – UM PROBLEMA EMERGENTE NA INDÚSTRIA. ALIMENTAR. (Revisão Bibliográfica)** Disponível em: < <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/72778/2/93620.pdf> >. Acesso em: 5 maio. 2016.
- MACEDO, J.A.B.: SUBPRODUTOS DO PROCESSO DE DESINFECÇÃO DE ÁGUA PELO USO DE DERIVADOS CLORADOS. J. de Fora, Jorge Macedo. 2001.
- MACHADO, J.C. Microrganismos contaminantes em cervejaria. *Revista Científica da Cerveja*, 2015. Disponível em <<http://bierlabs.net/revistacientificadacerveja/microrganismos-contaminantes-em-cervejaria>>. Acesso em 6 jun, 2016.
- Optimização de Condições de Pasteurização na Indústria de Derivados de Tomate. 2014.
- Ramaswamy, H., Marcotte, M., *Food Processing: Principles Applications*, Taylor & Francis Group, Northwestern, 2006.
- ROCHA, N.; CAROLINE, A.; XEREZ, P.; HENRIQUE, P.; SOUSA, M. De. Perdas Vitamínicas Durante o Tratamento Térmico de Alimentos Losses of Vitamins in Heat Treatment of Foods. p. 121–128, 2012.
- SATPATHY, S.; SEN, S. K.; PATTANAIK, S.; RAUT, S. Review on Bacterial Biofilm: An Universal cause of Contamination. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 7, p. 56–66, maio 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878818116300937>>. Acesso em: 13 maio. 2016.
- SERGIO PAGNIN. Formação de Biofilmes em Aço Superduplex UNS S32750 em Sistema Dinâmico. p. 15–48, 2003.
- SUZUKI, T.; HASHIMOTO, H.; MATSUMOTO, N.; FURUTANI, M. Nanometer-scale visualization and structural analysis of the inorganic / organic hybrid structure of Gallionella ferruginea twisted stalks Contents : Supplementary Figure 1 Supplementary Figure 2 Supplementary Figure 3 Supplementary Table 1. **Science**, p. 1–5, [s.d.]

TALBOT, D.; TALBOT, J. **Corrosion science and technology**. 1a. ed. Boca Raton: CRC Press, 1998.

TOBERGTE, D. R.; CURTIS, S. ELABORAÇÃO DE UM MODELO PARA O CONTROLE DO PROCESSO DE PASTEURIZAÇÃO EM CERVEJA ENVASADA (IN-PACKAGE). **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2013a.

TOBERGTE, D. R.; CURTIS, S. **No Title No Title**. 9. Disponível em: <[http://www.iceb.ufop.br/dequi/professores/Laurent/aula2-ciclos\\_biogeoquimicos\\_4.pdf](http://www.iceb.ufop.br/dequi/professores/Laurent/aula2-ciclos_biogeoquimicos_4.pdf)>. Acesso em: 20 maio. 2016b.

TROVATI, J. Tratamento de água de resfriamento. **Curso On-Line**, p. 89, 2004.

VIDELA, H. A. Prevention and control of biocorrosion. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 49, n. 4, p. 259–270, jun. 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830502000537>>. Acesso em: 6 jun. 2016.

VIDELA, H. A. Biocorrosão, Biofouling e Biodeterioração de Materiais,. **1a ed.São Paulo: Edgar Blücher Ltda.**, p. 148, 2003.