

OS IMPACTOS DO
TRATAMENTO DE
ÁGUA^{NO}
AVACR



ABRAVA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO
AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO

DESDE 1962

EXPEDIENTE:

Corpo Técnico ABRAVA - Departamento Nacional de Tratamento de Águas (DNTA)

Anderson Doms - Presidente

Catarina Sandor - Vice-Presidente

Charles Domingues

Sergio Belleza

Agradecimento ao Prof. Alberto Hernandez Neto, um dos idealizadores do ebook.

COORDENAÇÃO E EDIÇÃO:

Alessandra Lopes - Momento Comunicação

Diagramação e Arte - EME3 - Publicidade e Propaganda

Revisão - Lu Guimarães

Revisão Técnica - Bruno Gastão

AVISO LEGAL:

Este eBook é composto por uma coletânea de artigos assinados por diversos autores convidados. As opiniões, ideias e pontos de vista expressos nos textos são de responsabilidade exclusiva de seus respectivos autores e não refletem, necessariamente, a posição da organização responsável pela publicação deste material.

O conteúdo aqui apresentado tem caráter informativo e/ou opinativo, não constituindo aconselhamento profissional, técnico, jurídico ou científico. A reprodução parcial ou total deste material é permitida somente mediante autorização prévia e expressa dos autores e/ou da editora responsável.

Agradecemos a leitura e o respeito à diversidade de pensamentos apresentada neste eBook.

EDITORIAL

O Brasil, um país de dimensões continentais, conta com uma variedade e qualidade da água significativamente distintas em cada uma das suas regiões, desde sua origem até seu reaproveitamento.

Compreender essa diversidade e aplicar um tratamento de águas adequado e consciente é essencial para garantir a eficiência operacional, a longevidade dos sistemas e a otimização de custos no setor de AVACR (Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado e Refrigeração).

ODNTA, tem entre suas missões, atuar como agente fomentador da disseminação de informações técnicas e orientativas, na busca pela normalização e a padronização de processos, à qualificação profissional e a conexão constante com o Conselho Nacional de Tratamento de Águas. São ações fundamentais para aprimorar as práticas do setor e elevar sua maturidade técnica.

A água, substância essencial para a vida e para os diversos processos industriais, desempenha um papel crítico na performance e na sustentabilidade das operações do setor.

Diante dessa premissa, elaboramos este eBook, concebido com o propósito de reunir e compartilhar conhecimento essencial sobre o tratamento de águas aplicado ao AVACR. Nele, são abordados temas estratégicos, como o panorama geral do tratamento de águas no setor, os desafios à incrustação e à corrosão, além do impacto do crescimento biológico nos sistemas de climatização e refrigeração. A proposta é fornecer uma base de informações que permita aos profissionais do segmento adotarem soluções mais eficientes, sustentáveis e alinhadas às melhores práticas do mercado.

Acreditamos que um setor bem-informado e engajado na aplicação de boas práticas pode transformar desafios em oportunidades. A gestão adequada da água não apenas assegura a eficiência e a durabilidade dos equipamentos, mas também contribui diretamente para a preservação dos recursos naturais e para a redução dos impactos ambientais.

Juntos, podemos fortalecer o setor de AVACR e garantir um futuro mais sustentável para todos.

Boa Leitura!

Anderson Doms

Presidente do DNTA (Departamento Nacional do Tratamento de Águas)

ÍNDICE

Artigo 1	06
<i>Recuperação de água condensada em sistema de ar-condicionado</i>	
Edgar Watanabe	
Artigo 2	17
<i>Água de reúso como alternativa de make-up para torres de arrefecimento</i>	
Charles Domingues	
Artigo 3	22
<i>Determinação da capacidade de resina catiônica</i>	
Edgar Watanabe	
Artigo 4	24
<i>Corrosão Microbiológica em sistemas de resfriamento semiaberto</i>	
Sergio Belleza	
Artigo 5	38
<i>Avaliação do impacto da incrustação em resfriadores em sistemas de AVACR</i>	
Alberto Hernandez Neto e Charles Domingues	
Artigo 6	50
<i>Estudo de caso - Efeito das incrustações na performance energética de chillers centrífugos</i>	
Anderson Doms	
Artigo 7	59
<i>Como obter melhor performance energética do seu sistema de ar-condicionado e também se beneficiar de seus efeitos colaterais</i>	
Alexandre Alberico	
Artigo 8	64
<i>Benefícios do monitoramento contínuo dos indicadores de qualidade da água em sistemas de refrigeração de condensação à água com foco na eficiência energética</i>	
Rodrigo dos Santos	
Artigo 9	76
<i>ROI - Chiller – Caso Histórico</i>	
Sérgio Belleza	

Artigo 10	80
<i>Legionelose, o que é?</i>	
Sérgio Belleza	
Artigo 11	90
<i>Os perigos associados a bactéria legionella em sistemas de condensação de água</i>	
Solange Costa Lima	
Artigo 12	101
<i>Uso de radiação ultravioleta em torres de resfriamento</i>	
Catarina Sandor	
Artigo 13	117
<i>Atendimento técnico no tratamento de água em sistemas de resfriamento</i>	
Carlos Brito, Leonardo Cozac e Marcos Karas	
Artigo 14	123
<i>Os benefícios do ar condicionado contra surto epidêmico</i>	
Arnaldo Parra	
Artigo 15	125
<i>A importância da manutenção do ar-condicionado sob a ótica do PMOC</i>	
Arnaldo Parra	
Artigo 16	130
<i>O uso do ar-condicionado e o consumo de energia elétrica</i>	
Arnaldo Parra	
Considerações finais	134
Patrocinadores	135
Depoimentos	136
Sobre a ABRAVA	138
Sobre o DNTA	139

01 - RECUPERAÇÃO DE ÁGUA CONDENSADA EM SISTEMAS DE AR-CONDICIONADO

Por Edgar Eihachi Watanabe

RESUMO

Recuperação de água condensada de sistemas AVAC-R como reposição em Torres de Resfriamento. O presente trabalho aborda os aspectos da quantidade de água condensada possível de ser recuperada em sistemas AVAC-R e o impacto de economia quando reutilizada como água de reposição em torres de resfriamento em substituição à água potável de uma concessionária pública.

Aparentemente de boa qualidade, visto que seria uma água destilada, a água condensada, em função dos contaminantes aéreos, tem potencial de corrosão e de crescimento microbiológico, que deverá ser avaliada e adequadamente condicionada para evitar os potenciais custos de manutenção em equipamentos trocadores de calor e também neutralizar possíveis efeitos de crescimento de micro-organismos geradores de lodo e danos à saúde. Para o desenvolvimento deste trabalho, foi efetuada coleta de água de condensação de sistemas AVAC-R em edifícios comerciais na cidade de São Paulo, principalmente.

Palavras-chave: *Água de condensação. AVAC-R. Economia. Contaminação. Corrosão*

INTRODUÇÃO

Muito se comenta sobre a viabilidade de aproveitamento da água condensada (A.C.) gerada nos sistemas de ar-condicionado.

A conclusão imediata é que, sem dúvida, é uma fonte de água de boa qualidade, baixo custo e que pode ser recuperada e reaproveitada em várias aplicações como, por exemplo, reservatórios de incêndio, descargas de banheiros, jardins, limpeza de solo e principalmente como reposição em torres de resfriamento.

Por outro lado, em edifícios mais antigos, onde a infraestrutura civil e hidráulica necessária ao reaproveitamento é difícil, deve-se levar em conta o investimento necessário para o reaproveitamento de A.C.

Sem dúvida nenhuma, os novos projetos de sistemas de ar-condicionado, devem incorporar infraestrutura para recuperação, armazenamento e reúso deste importante recurso sustentável, verde e economicamente atraente.

APROVEITAMENTO DA A.C. EM TORRES DE RESFRIAMENTO

Neste trabalho, apresentaremos a alternativa de utilização da A.C. como reposição em torres de resfriamento. Atualmente se utiliza água tratada e potável como reposição das perdas por evaporação e arraste. Essa opção é considerada a mais cara possível, uma vez que o preço das concessionárias pode chegar a R\$ 35,00/m³ na cidade de São Paulo. Considerando que as citadas perdas por evaporação e arraste variam em torno de 0,9 – 1,1% da vazão de circulação, podemos ter um quadro de água de reposição da seguinte ordem:

Tabela 1: Reposição x Vazão XTR

Capacidade (TR)	Vazão Torre (m ³ / h)	Reposição (m ³ / h)
100	65,0	0,5 - 0,6
300	195,0	1,4 - 1,9
500	320,0	2,5 - 3,2

Obs: 1TR requer 3gpm ou 0,6m³/h de vazão.

Tabela 2: Custo de água de reposição x TR

Capacidade (TR)	R\$ / dia	R\$ / mês
100	140,00 - 168,00	4.200,00 - 5.040,00
300	392, 00 - 504,00	11.760,00 -15,120,00
500	700,00 - 840,00	21.000,00 - 25.200 00

Obs: operação 8h/dia e 30d/mês.

CÁLCULO DO POTENCIAL DE RECUPERAÇÃO DE A.C

Como observamos no tópico anterior, a quantidade de água de reposição somente relacionada à Evaporação e Arraste é considerável. É bom lembrar que, frequentemente, são necessárias descargas adicionais para manter o Ciclo de Concentração em níveis não incrustantes, portanto, mais água de reposição pode ser necessária, além do mostrado na Tabela 1.

A pergunta importante é quanto desta água de reposição boa, potável e cara pode ser substituída pela A.C. recuperada?

Algumas fórmulas sobre a A.C. gerada estão relacionadas com a quantidade de ar condicionado e a diferença da umidade relativa entre o ar captado e condicionado.

Um exemplo deste cálculo é proposto por E. Boulware no livro "*Alternative water and wastewater management system*", citado por Barbara B. Adams.

$$\text{Volume A.C. (gpm.)} = \frac{Q_{ar} \times \Delta U.R.}{8,33 \times V \text{ específico ar}}$$

Segundo o autor, dependendo do $\Delta U.R.$, as seguintes proporções podem ser utilizadas.

Tabela 3: Geração A.C x TR

1 TR: produz 0,1 - 0,3 galões = 0,6 - 1,0L

RECUPERAÇÃO DE A.C. NA SEDE DA CQA¹

Foi efetuado um trabalho de coleta de A.C. no prédio do Laboratório, Sala Principal, onde existe um aparelho com capacidade de 18.000 BTU ou 1,5 TR. A.C. foi coletada e uma bombona de 50L, localizada no lado externo:

Figura1 Coleta de A.C.



Obs: 8h/dia e 5d/semana U.R.= 80%

Tabela 4: Volume A.C coletado

1ª Semana	38,2 litros
2ª Semana	41,2 litros
3ª Semana	39,2 litros
MÉDIA	39,5 litros

Assim, considerando o regime de trabalho obtivemos o resultado: 0,66L / TR, dentro dos padrões esperados pela Tabela 3.

Tabela 5: TR x Vazão x Reposição x A.C.

Capacidade	Vazão Torre (m³/ h)	Reposição (m³/ h)	Potencial * A.C. (m³/ h)	% A.C. em relação a reposição
100 TR's	65,0	0,6	0,1	16,6
300 TR's	194,0	1,9	0,3	17,8
500 TR's	324,0	3,2	3,2	15,2

(*) valor máximo de produção A/CTR + 1L/TR

Portanto é possível que valores próximos de 20% de água de reposição possam ser economizados com a recuperação de A.C.

Tabela 6: TR x Economia com A.C

Capacidade TR	Economia água (R\$/mês)	Economia água (R\$/ano)
100	840,00	10.080,00
300	2.520,00	30.240,00
500	4.200,00	50.400,00

Operação: 8h/d, 30d/mês e R\$ 35,00/m³

QUALIDADE DA ÁGUA CONDENSADA

Considerando que a A.C. gerada no equipamento de ar-condicionado é proveniente da umidade do ar, seria esperado que a qualidade dessa A.C. seria próxima de uma água destilada ou desmineralizada, portanto algo com pH = 7,0 e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) <10,0 ppm.

Nas primeiras amostras, a média dos resultados foram de pH 6,8 e STD = 80ppm, posteriormente outras amostras de várias unidades de ar-condicionado da sede CQA mostraram os seguintes resultados:

Tabela 7: AC x pH / STD

Local	Amostra 1 pH / STD	Amostra 2 pH / STD	Amostra 3 pH / STD	Amostra 4 pH / STD
Sala Diretoria	4,8 / 43	6,0 / 55	6, 5 / 40	6,0 / 75
Laboratório	6,8 / 80	7,0 / 65	6,7 / 50	6, 9 / 70

Considerando que o Ar Atmosférico é composto de ar seco + vapor d'água + impurezas. E, também considerando que a tomada de ar nos aparelhos não é filtrada, o teor de STD, certamente está relacionado com o material particulado, e o pH ácido, com poluição presente no ar atmosférico. Também foi observado material particulado na forma de sólidos em suspensão (S.S.) que é diferente de STD, pois fica retido em filtros.

Figura 2: Material na forma de S.S. na A.C. coletada.



Posteriormente efetuamos amostragem em alguns clientes nossos e a composição de A.C. foi a seguinte:

Tabela 8: AC x pH e STD em edifícios Institucionais

Local	Capacidade (TR)	pH	STD
Edifício escritório em SBC	150	7,1	130
Ed. escritório na Chácara Sto. Antonio - SP	120	8,2	125
Fábrica de doces - Vinhedo	750	5,7	18
Edifício escritório na Avenida Paulista - SP	300	6,7	72
Hospital na Lapa - SP	500	6,0	83

Como conclusão dessas amostragens, observamos uma constante no teor de STD acima do esperado e um pH muitas vezes ácido, característica das impurezas do ar atmosférico. Observação: constatamos que a Dureza Total (Ca + Mg) foi zero (0) em todas as amostras efetuadas.

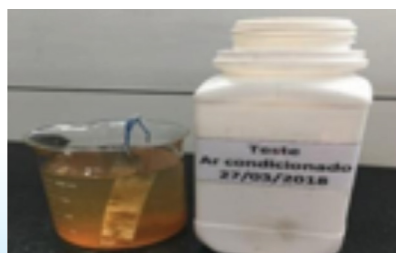
EFEITO DA A.C. NA CORROSÃO

Quando coletamos as amostras, procuramos verificar o efeito desta A.C. na corrosão em aço carbono. Para tal, utilizamos cupons de prova Aço 1.020 padrão ASTM em dois tipos de teste: imersão do cupom na A.C. e circulação da A.C. em estação de cupons de prova por períodos de 15 dias.

Figura 3: Cupom Prova no Frasco Coleta



Figura 4: Visualização do Cupom em Imersão



Interessante observar que o ataque ao cupom foi imediato e grande quantidade de ferrugem (Fe_2O_3) entrou em solução e após um período a corrosão estabilizou. A taxa de corrosão nestas condições chegou a 12mpy e o teor de Ferro na solução foi de 42ppm.

Em seguida, 50L de A.C. coletados na sede foram colocados em um circuito de água circulante, operando 8h/dia e duração de 2 semanas.

Figura 5: Sistema de Circulação de A.C.



Figura 6: Estação de Cupom na A.C. Circulante



Figura 7: Cupom de Prova



Taxa de corrosão 17,2 mpy.

Taxas de corrosão acima de 5mpy são consideradas ruins e devem ser diminuídas com tratamento de inibidores de corrosão.

A taxa de corrosão pode ser calculada pela fórmula:

$$TC = \frac{K \cdot \Delta p}{D \cdot A \cdot t}$$

Onde: K = constante para adaptar as diferentes unidades

Δp = perda de peso em mg com 4 casas depois da vírgula

D = densidade do cupom (g/cm^3)

A = Área do cupom (pol^2)

t = tempo de exposição (dias)

As reações de corrosão abaixo, bem como cálculo da taxa de corrosão foram extraídas do livro "*Corrosion Engineering*" de Mars G. Fontana.

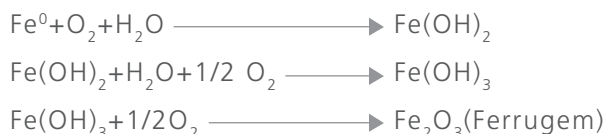
• Baixo pH

Devido à presença de H_2CO_3 , formado pela junção de umidade e CO_2 proveniente dos gases de combustão de veículos (poluição).



• Corrosão por Oxigênio Dissolvido

A.C. é uma água aerada, com teor de Oxigênio por volta de 7 a 8 cm_3/L .



Como conclusão, a A.C. tem um alto potencial de corrosão, causado em menor escala por pH ligeiramente ácido e fundamentalmente por causa do teor de Oxigênio dissolvido.

EFEITO DA A.C. NO CRESCIMENTO MICROBIOLÓGICO

Considerando o local em que a A.C. é gerada, a temperatura do processo e a presença de STD dissolvido, temos todas as condições para crescimento microbológico, que são: água + temperatura + nutrientes.

Assim, é de se esperar que a A.C. tenha um alto potencial deste problema. Muitas vezes, dependendo do tipo de equipamento em que a A.C. é gerada e acumulada, como por exemplo, bandejas de sistemas *self-contained*, além de pontos de retenção nas linhas, por exemplo, pontos baixos, “barrigas” de conduites, o crescimento de todo tipo de micro-organismo é esperado.

As tabelas a seguir, referentes às condições para crescimento microbológico, foram extraídas do Livro *Drew Chemical* – Princípios de Tratamento de Água Industrial.

Tabela 9: Condições para crescimento microbológico.

Grupot	Exemplos	Temperatura °C	pH
Verde	<i>Chlorella Spirogyra</i>	30 - 35	5,5 - 8,9 6,0 - 8,9
Verde Azulado	<i>Anacystis</i> (lodo) <i>Oscillatoria</i> (filamentoso)	35 - 40	2 - 8 5 - 6
Aeróbicas Esporuladas	<i>Mycoides</i>	20 - 40	5 - 8
Aeróbicas Redutoras Sulfato	<i>Desulfovibrio</i>	20 - 40	4 - 8
Relacionadas Ferro	<i>Gallionella</i>	20 - 40	7 - 9

As consequências do crescimento microbiológico é que podem se alastrar para os equipamentos trocadores de calor relacionados aos equipamentos de condensação à água.

Os problemas são inúmeros e poderemos citar os seguintes:

Tabela 10: Problemas causados por descontrole microbiológico.

Lodo microbiológico
Depósitos e perdas na transferência de calor
Corrosão

AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO MICROBIOLÓGICO NA A.C.

O estudo efetuado para avaliar os níveis de crescimento microbiológico foram baseados na coleta de amostras na sede da CQA e nos clientes em que as amostras mencionadas na tabela 8 foram coletadas.

A avaliação foi efetuada utilizando-se a técnica de lamino-cultivos e contagem de bactérias totais. Os resultados mostraram também, neste caso, uma similaridade no crescimento microbiológico.

Sede CQA	
Laboratório	UFC/mL
Amostra 1	10^4
Amostra 2	10^5
Amostra 3	10^5

Clientes CQA	
Laboratório	UFC/mL
Hosp. Lapa	10^5
Ed. Paulista	10^6
Ed. S.B.C	10^5

Figura 8: UFC/mL: 10^4



Figura 9: UFC/mL 10^6



Figura 10: UFC/mL: 10^5



CONTROLE DE CORROSÃO E CRESCIMENTO MICROBIOLÓGICO DA A.C

Considerando o potencial de corrosão e crescimento microbiológico, foi efetuado um estudo utilizando-se o mesmo sistema-piloto de circulação, porém, com a inclusão de dosagem de inibidor de corrosão e biocida no circuito de circulação. Também se manteve o uso de cupom e lamino-cultivo para comparar com o período de tratamento.

Optou-se por utilizar uma tecnologia da empresa baseada em Produto Químico Sólido disponibilizado em refis por ser a opção da empresa para o mercado HVAC.

figura 11: Sistema piloto avaliação Produto Sólido



figura 12: Refis de Produto Sólido



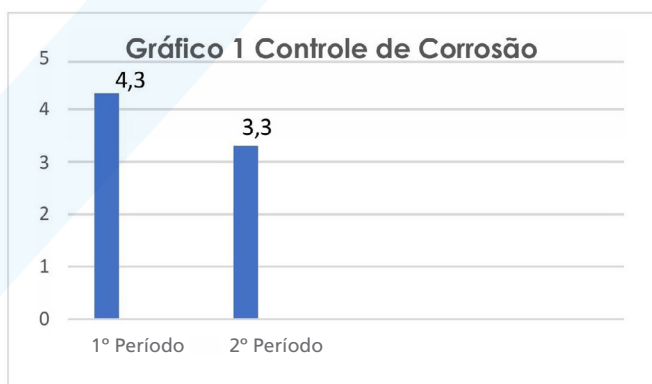
INIBIÇÃO DE CORROSÃO E CRESCIMENTO MICROBIOLÓGICO

O inibidor de corrosão baseado em tecnologia Polifosfato / Zn é um programa tradicional e age na formação de filme unimolecular nas regiões catódicas, diminuindo assim a tendência à corrosão.

Região Catódica $(\text{Cl})_3\text{-Zn} + \text{Fe}^0 \longrightarrow \text{Zn-Fe-Zn-Fe}$ (Filme Protetor)

Região Catódica $\text{NaO}-(\text{PO}_4)_x\text{-ONa} + \text{Fe}^0 \longrightarrow +\text{Fe}-(\text{PO}_4)_x\text{-Fe}$ (Filme Protetor)²

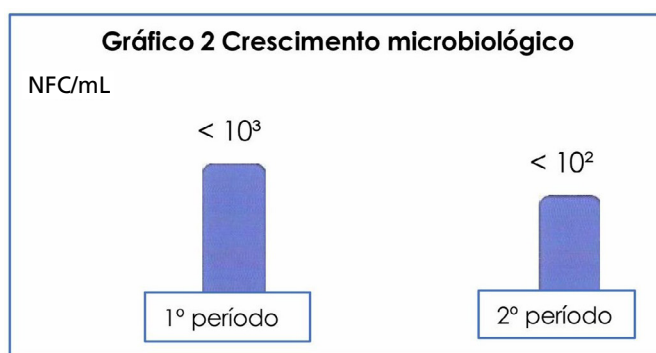
Tendo em vista a alta tendência do crescimento microbiológico poder inclusive ter consequências no lado humano, optou-se por utilizar tecnologia com Biocida Oxidante, na forma sólida, à base de s-triclorotriazina para garantir que nenhum microorganismo patogênico pudesse resistir nas condições de circuito de circulação e por extensão quando A.C. reutilizada em Torres de Resfriamento.



Cada período: 15 dias

Residual PO_4^{2-} - 10 ppm

pH: 7,5 - 8,5



Residual HClO: 0,5 - 1,5 ppm

pH : 7, pH : 7,5 - 8,5

2 Obs.: Mecanismo de inibição extraídos do livro "Princípios de Tratamento de Água Industrial" Drew Chemical Co.
O composto resultante como filme protetor é uma estilização resumida da verdadeira reação química.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A composição do ar atmosférico e aspectos de qualidade da filtração irão determinar a composição de Água Condensada em termos de pH, que no caso da G.S.P. (Grande São Paulo) foi ligeiramente ácido, e um teor de sólidos dissolvidos alto, aproximando-se de uma água clarificada.

pH	6,0 - 6,8
STD	60 - 80 ppm

A taxa de corrosão é alta, devido tanto ao pH, alto teor de STD e nada de Dureza, essa característica pode ser avaliada através do famoso índice de Langelier, cujo valor negativo encontrado de -3,5 pode ser interpretado como sendo CORROSIVO. De qualquer maneira a taxa de corrosão encontrada mostra esse potencial corrosivo: **Tx corrosão sem tratamento 12 – 17mpy.**

O potencial de crescimento microbiológico é alto em função das características da A.C. proporcionarem este desenvolvimento. Assim o fato da água condensada ser aerada, ter contaminantes que proporcionariam os nutrientes nas temperaturas ideais para o crescimento de todo tipo de micro-organismo, acabam dando a tendência de alto crescimento microbiológico.

loais	UFC/mL
variados	$10^4 - 10^6$

Neste trabalho, a finalidade foi a utilização da A.C. como reposição de Torre de Resfriamento, assim, não foram levados em conta os potenciais problemas que esta A.C. poderia causar, se recuperada e reutilizada em outros setores, onde, condições de armazenamento e níveis de cloração deverão ser avaliados e revisados. Com relação ao Programa de Tratamento aplicado ser de tecnologia tradicional com PO_4 e agente oxidante, porém, com aplicação diferenciada, devido à sua apresentação em estado sólido, observou-se que os resultados obtidos para controle de corrosão e crescimento microbiológico foram dentro dos objetivos do tratamento de água.

Avaliação yt	Resultados
Tx corrosão (mpy)	3,0-5,0
Crescimento microbiológico (UFC/mL)	$< 10_3$

AGRADECIMENTOS

Aos colaboradores de campo, analistas de Laboratório da CQA e as empresas parceiras que colaboraram na coleta de amostras de água.

REFERÊNCIAS

ADAMS, B.B. The Benefits of Harvesting HVAC Condensation. USA. Water Technology Magazine, February 2017.

DREW PRODUTOS QUÍMICOS. Drew Chemical: princípios de tratamento de água industrial. Tradução Buchard J. T.; revisão técnica Lehwing, C.R. São Paulo: Drew Produtos Químicos, 1979.

FONTANA, M.G. Corrosion Engineering. 3.ed. New York, McGraw Hill, 1986.

Esse artigo foi apresentado no XV ICONBRAVA – Congresso Brasileiro de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação, Aquecimento e Tratamento de Ar - São Paulo Expo - 10 a 13 setembro de 2019.

2 - ÁGUA DE REÚSO COMO ALTERNATIVA DE *MAKE-UP* PARA TORRES DE ARREFECIMENTO

Por Charles Domingues

A constante preocupação com a qualidade de vida da população, com o real entendimento da necessidade de preservação de água para consumo nobre, fortalece a percepção de que a mesma é um recurso natural limitado e imprescindível à vida. Neste cenário, questões sobre a conservação e preservação dos recursos hídricos têm sido foco de estudos na busca de alternativas para uma melhor utilização dos recursos naturais.

Segundo o Centro Internacional de Referência em Reúso da Água (CIRRA), para abastecer a Região Metropolitana de São Paulo, são necessários 70 mil litros de água tratada por segundo, e destes, 80% são destinados ao esgoto após o uso. Ou seja, 56 mil litros de água por segundo são transformadas em esgoto, os quais poderiam ser reutilizados pelos próprios cidadãos.

Sabemos que o consumo de água pela indústria é cerca de três vezes maior do que o utilizado pelo consumo doméstico (CIRRA), e neste contexto, o consumo sustentável dos recursos hídricos pelo setor industrial e as tecnologias de aproveitamento de água são soluções sustentáveis que contribuem para o uso racional da água, proporcionando a conservação dos recursos hídricos para as futuras gerações. Desta forma, a reutilização da água na indústria se mostrou uma prática extremamente vantajosa, já que além de reduzir o impacto ao meio ambiente, reduz os custos na produção.

INTRODUÇÃO

A Agenda 21 (1994) dedicou importância especial ao reúso, recomendando aos países participantes da ECO 92 a implementação de políticas de gestão dirigidas para o uso e a reciclagem de efluentes, integrando proteção da saúde pública de grupos de risco com práticas ambientais adequadas.

Segundo a Agência Brasil, o consumo médio de água no Brasil, envolvendo o setor comercial, residencial, público e industrial, está estabilizado na faixa de 150 litros por habitante/dia. Em 2007, o consumo per capita foi de 149,6 litros diários; subiu em 2008 para 151,2 litros e baixou em 2009 para 148,5 litros, de acordo com pesquisa divulgada pelo Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS), do Ministério das Cidades.

O aumento contínuo da população mundial é responsável pela crescente escassez de água natural, bem como pela disposição inadequada de efluentes líquidos, a heterogeneidade na distribuição de água e a falta de cuidado na sua utilização. Portanto, é urgente a implementação do uso racional da água e a preservação das fontes de água, abrangendo mecanismos como políticas efetivas para os recursos hídricos, adoção obrigatória do uso da água adequada, tratamento de esgoto doméstico e industrial e práticas de reutilização.

DEFINIÇÃO

A água de reúso é a água residuária que apresenta características que permitem sua reutilização para algum fim específico.

Reúso não potável para fins industriais abrange os usos industriais de refrigeração, águas de processo, para utilização em caldeiras etc.

A água de reúso possui uma qualidade inferior quando comparada à água potável, e não é usada diretamente para o consumo. Em grande parte dos casos, sua utilização engloba geração de energia, refrigeração de equipamentos, lavagem de carros, irrigação de campos para cultivo, combate a incêndios, limpeza de ruas e irrigações de jardins.

ENTENDENDO A ÁGUA E AS TORRES DE RESFRIAMENTO

Como alternativa às fontes de água de reposição de sistemas de resfriamento, que usam torres de arrefecimento em seus processos, seja para conforto térmico ou nas indústrias, em sua maioria, são fornecidas por sistemas de abastecimento público. As formas de reúso de águas residuais surgem como alternativa viável para o uso sustentável da água, visto que esses sistemas, de acordo com seu regime de trabalho, perdem grandes quantidades de água por arraste e/ou evaporação.

A forma mais comum de absorção do calor gerado em processos é por meio da água, podendo-se destacar o resfriamento de um líquido qualquer por trocadores de calor, equipamentos nos quais dois fluidos trocam energia calorífica durante o escoamento, em vazão uniforme.

A água é utilizada em diversas aplicações como agente de resfriamento, absorvendo o calor de uma variedade de equipamentos e processos de arrefecimento. A água de resfriamento se aplica para os mais variados segmentos, conforto térmico, refrigeração industrial, hospitalar, dentre outros.

Em situações de escassez, a água é continuamente resfriada para posteriores utilizações. Esse resfriamento pode ser feito em circuitos semiabertos, com recirculação de água, ou em sistemas fechados, também com recirculação de água. O sistema semiaberto, com recirculação

é dito evaporativo e reutiliza água após resfriada em diferentes tipos de equipamentos, denominados torres de resfriamento.

Nesses sistemas, todo calor absorvido pela água é dissipado em forma de calor latente e calor sensível nas torres de refrigeração, à razão de 75% a 90%, sob a forma de calor latente, e o resto sob a forma de calor sensível. Para tanto, parte da água é evaporada, e parte é arrastada pelo vapor e pelo fluxo de ar. Essa última parcela, que é arrastada pelo fluxo de vapor e de ar, se dá sob a forma de respingos e, como já foi dito, é da ordem de 0,01% a 0,3% sobre a vazão de recirculação, nas torres de tiragem mecânica (Mancuso Pedro, 2001).

As perdas por evaporação nas torres de resfriamento dependem de:

- ***Diferencial de temperatura;***
- ***Umidade relativa do ar;***
- ***Grau de aproximação entre a temperatura da água e a temperatura de bulbo úmido.***

Em função das perdas por evaporação e respingo, a água desses sistemas sofre concentração crescente do teor de sais dissolvidos, o que chamamos de ciclo de concentração. A elevação desse ciclo pode promover tendência corrosiva ou incrustante à água de recirculação.

ÁGUA DE REPOSIÇÃO/MAKE-UP

A água encontrada na natureza nunca é pura, apresentando uma vasta gama de substâncias dissolvidas. Muitas destas substâncias são sais, óxidos e hidróxidos, e apresentam solubilidades diferentes, sendo influenciadas, basicamente, pela temperatura, concentração e pH.

Com a evaporação da água em um sistema de resfriamento, há um aumento na concentração das substâncias dissolvidas, que, muitas vezes, podem se precipitar de forma aderente nas superfícies dos equipamentos (principalmente nas regiões de troca térmica), constituindo as incrustações. Outras substâncias também podem se incrustar indesejavelmente nesses sistemas, tais como material orgânico (óleos, graxas, resíduos), lodo e acúmulo de material microbiológico, produtos de corrosão, sólidos em suspensão (argila etc.).

O reúso de água surge como alternativa viável, seja para uso do abastecimento total do sistema de condensação ou na composição de um mix com água alternativa, seja manancial subterrâneo, caminhão-pipa ou de concessionária, desde que seja devidamente classificada por especialista registrado no conselho de classe competente.

Tipos de equipamentos mais utilizados para tratamento de águas residuárias, visando obter o reúso das mesmas para *make-up* de torres de arrefecimento e/ou refrigeração:

- ***Abrandador- remoção da dureza da água***
- ***Desmineralizador - Remoção dos íons da água***
- ***Osmose Inversa - Remoção dos íons da água***
- ***Filtros - Retenção de compostos indesejáveis***

A água de reposição, ou *make-up*, é uma água adicionada às torres de resfriamento com o intuito de compensar as perdas por arraste e purgas (líquidas) e por evaporação. A qualidade da água de reposição adicionada às torres afeta diretamente a eficiência do sistema de condensação ou refrigeração. O mesmo, em função de contaminantes existentes nas águas de *make-up* ou ambientais, propicia à água o desenvolvimento microbiológico e características corrosivas ou incrustantes.

DESENVOLVIMENTO MICROBIOLÓGICO

É um dos grandes problemas encontrados durante a operação de um sistema com água de condensação, segundo Trovato (2005), os micro-organismos em águas de resfriamento são responsáveis pela formação de:

- *Depósitos orgânicos*
- *Entupimento do feixe tubular dos condensadores ou trocadores de calor*
- *Aceleração do processo corrosivo ao aço carbono e ao Cobre*
- *Biofouling*

CORROSÃO

Gentil (1982) define corrosão como a deterioração de um material metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos. A deterioração representa alterações prejudiciais e indesejáveis sofridas pelo material, tais como desgaste, variações químicas e estruturais.

INCRUSTAÇÕES

As consequências da presença de incrustações em circuitos de resfriamento são:

- *Diminuição das taxas de troca de calor nos trocadores, devido à baixa condutividade térmica das incrustações.*
- *Obstrução e até destruição do enchimento (colmeias) de torres de resfriamento.*
- *Obstrução (parcial ou total) de tubulações e acessórios, restringindo a área de fluxo e, conseqüentemente, limitando a vazão.*
- *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.*
- *Aumento dos processos corrosivos que ocorrem sob os depósitos (áreas sujeitas a diferenciais de aeração).*

TRATAMENTO E A QUALIDADE DE ÁGUA REQUERIDA

Por ser a água uma substância extremamente importante para a manutenção da vida no planeta, ela faz parte do corpo de todos os organismos vivos, transporta substâncias, garante a realização de diversas reações químicas, além de ser considerada um solvente universal, em virtude de sua capacidade de dissolver outros compostos químicos. A água nunca é pura, pois nela estão dissolvidos gases, sólidos e íons. A especificação de um programa de tratamento de águas (PTA), nesse caso de sistema de condensação, perpassa pelo conhecimento do processo como um todo, desde a qualidade da água de *make-up* (reposição), características ambientais e de composição do sistema, como características das torres, tipos de tubulações, metalografia envolvida no processo, dentre outros.

A qualidade da água de *make-up*, no caso de reúso, necessita ser classificada em conformidade com o programa de tratamento de águas, o qual precisa ser projetado por profissional independente, que desenvolverá um escopo técnico, ou seja, um projeto para programa de tratamento customizado. É imperativo que o programa de tratamento químico customizado seja elaborado por um especialista, devidamente registrado no conselho da categoria.

O mesmo necessita, não somente projetar o reúso a ser empregado no sistema de AVAC-R, assim como formatar um programa de tratamento de águas (PTA) em função de características ambientais e da composição do sistema, observando ainda as características das torres, os tipos de tubulações e a metalografia envolvida no processo, dentre outros.

O tratamento da água de resfriamento pode ser feito com o emprego de diversas técnicas e métodos, sejam eles químicos, físicos ou uma combinação de ambos. A escolha do melhor método deve se basear na sua eficiência, nos efeitos ambientais e na respectiva legislação de controle.

Um tratamento químico de água tem o objetivo de manter o funcionamento seguro e contínuo do sistema, tubulações e equipamentos, durante o período de funcionamento, bem como o aumento da vida útil do sistema. Todos os problemas podem ser controlados mediante um programa de tratamento (PTA) adequado, o qual depende das características técnicas do sistema, de estudo dos contaminantes externos envolvidos no meio, da qualidade da água de reposição e da classificação ideal para a água de circulação.

Importante ressaltar que a ABRAVA conta hoje com o RENABRAVA 08, de 2019, recomendação elaborada pelo Departamento de Tratamento de Águas, que trata do uso de produtos químicos em sistemas de AVAC-R, onde se encontram recomendações para o uso de tecnologias para a conservação e limpeza de serpentinas e bandejas de condensado. Para mais informações, consulte o site da ABRAVA: **www.abrava.com.br**.

3 - DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE RESINA CATIÔNICA

Por Edgar Eihachi Watanabe

Colaboração das Químicas: Liliane Marianuci e Alizângela Costa

METODOLOGIA

Utilizar um volume conhecido de resina e verificar a remoção de Dureza (CaCO_3) de uma solução com concentração conhecida e previamente preparada.

PRINCÍPIO

Partir do conhecimento da capacidade da resina nova, informada pelo Fabricante.

EXEMPLO:

Fabricante	Nome da resina	Capacidade (Eq/L)	Capacidade
Purolite	C 100	1,80	90
Rohm Hass	IR 120	1,90	95
Bojie	BC 121	2,10	105

Obs: 1 Eq/L = 50ppm CaCO_3

FÓRMULA DA CAPACIDADE

$$C \text{ (ppm, CaCO}_3\text{)} = \frac{QH_2O \text{ (L)} \times \text{Dureza H}_2\text{O (ppm)}}{V_{\text{resina}} \text{ (L)}}$$

Onde: **C** = Capacidade em ppm de CaCO_3

QH_2O = Vazão de água que foi abrandada

Dureza (H_2O) = Solução com concentração conhecida de dureza (previamente preparada no laboratório)

V_{resina} = Volume de resina em litros (L) utilizada no teste

PROCEDIMENTO APLICADO

A - REGENERAR A RESINA: NOVA OU USADA

Colocar a resina em uma solução (com 160g NaCl/L resina). Agitar durante 1 hora e depois enxaguar com água destilada até Cloretos próximo de zero.

B - DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE

Em primeiro lugar devemos obter a capacidade teórica da resina encontrada no Boletim de Produto do fabricante, assim, será possível estimar o volume máximo de H_2O possível de ser abrandado.

Também será necessário preparar uma solução de água com concentração conhecida de Dureza.

EXEMPLO:

Resina com capacidade de = 2eq/L = 100ppm CaCO_3

Água com concentração = 30ppm de D.T. (Dureza Total)

Se utilizarmos um volume de = 0,1L de resina, podemos estimar que:

$$C = \frac{QH_2O \times Dureza\ H_2O}{V_{resina}}$$

$$QH_2O = \frac{CxV}{D} = \frac{100 \times 0,1}{30} = 0,33$$

$$QH_2O = 0,33L \text{ de água abrandada}$$

Assim, sabemos que para essa qualidade de água (30ppm Dureza), um volume de 0,1L de resina e com capacidade de 2,0 eq/L ou 100ppm de CaCO_3 , será possível abrandar 0,33L de H_2O até a saturação da resina.

PROCEDIMENTO DO LABORATÓRIO

Para efeito de teste mais rápido utilizamos uma tabela progressiva de volume de H_2O e efetuamos a análise de Dureza pelo método de Negro de Eriocromo. Quando der rosa significa que a resina já saturou.

EXEMPLO:

V (H_2O)	Dureza
0,10	Zero
0,20	Zero
0,30	rosa /presença de Dureza

Sabemos então que entre 0,20 e 0,30L a resina se esgota. Neste caso afinamos o teste, utilizando volumes menores entre a escala de 0,20 - 0,30, (por exemplo 0,22 - 0,24 - 0,26 até 0,30) e determinamos o ponto desta escala onde aparece Dureza.

EXEMPLO:

Caso a dureza apareça no valor de 0,26L, podemos calcular que a capacidade desta resina será a fração entre este valor e o volume máximo que poderia ser abrandada.

$$C = \frac{0,26}{0,33} \times 2,0 \text{ (capacidade em Eq/L)} = 1,48$$

$$C \text{ da resina (real)} = 1,48 \text{ Eq/L}$$

Se a capacidade de troca da resina nova é de 2,0 Eq/L significa que ela está com: $1,48/2,0 \times 100 = 74$.

$$74\% \text{ da capacidade original}$$

4 - CORROSÃO MICROBIOLÓGICA EM SISTEMAS DE RESFRIAMENTO SEMIABERTO

Por Sergio Belleza

RESUMO

O controle da corrosão e dos depósitos inorgânicos foi o objetivo principal dos tratamentos de água industrial até a última década. Atualmente, reconhece-se os problemas dos processos de biodeterioração (o *biofouling* e a corrosão microbiológica) nos circuitos industriais, e o controle dos depósitos de ordem biológica e seus efeitos negativos passou a integrar de forma consistente os objetivos do tratamento de águas.

Este trabalho apresenta uma revisão atualizada da identificação, monitoramento, controle e prevenção dos processos de corrosão microbiológica.

Baseado na caracterização dos micro-organismos (metabolismo, estrutura e efeitos) vários tipos de tratamentos químicos preventivos contra a proliferação microbiológica em sistemas de resfriamento semiabertos são tratados neste trabalho, bem como as vantagens e economias que envolvem as mais desenvolvidas tecnologias em biocidas.

Desta forma, através do trabalho conceituado de empresas especializadas em tratamento de águas, as perdas econômicas que atingem as atividades industriais que necessitam de troca de calor, através sistemas de resfriamento, podem ser avaliadas, quantificadas e minimizadas, além de otimizar o tempo de vida útil de equipamentos.

PALAVRAS- CHAVE - Micro-organismos.*Fouling*.Microbicidas.Corrosão.

INTRODUÇÃO

Em atividades industriais, a água é considerada matéria-prima básica. Devido à sua importância, é fundamental que se tenha conhecimentos teórico e prático quanto à utilização de água em sistemas de resfriamento. Isto porque a água utilizada como fluido de troca térmica, apresenta vários inconvenientes, como deposições orgânicas e inorgânicas, corrosão e por consequência, perda de carga térmica.

Atualmente, milhões de dólares são gastos por ano com prejuízos que tangenciam tratamentos corretivos e/ou tratamentos preventivos mal dimensionados ou gerenciados. O maior responsável,

entre todos os possíveis inconvenientes, é o processo de corrosão microbiológica, gerado pela proliferação descontrolada de micro-organismos.

A fim de proporcionar um embasamento eficaz no controle, monitoramento e dimensionamento de programas de tratamento químico preventivo para combater a corrosão por micro-organismos em sistemas de resfriamento semiaberto, é necessário entender o que é, e como funcionam tais sistemas, principalmente as características que envolvem o processo de troca térmica propriamente dito e, de forma geral, os vários tipos de processos corrosivos.

Num aspecto muito difundido e aceito universalmente, pode-se definir corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos.

A deterioração causada pela interação de micro-organismos entre o material (sistema de resfriamento) e o seu meio operacional (água) representa alterações prejudiciais desagradáveis, sofridas pelo material, tais como desgaste, variações química ou modificações estruturais, aumentando significativamente a depreciação de equipamentos. Tal deterioração, normalmente é caracterizada pela corrosão galvânica, eletrolítica ou por aeração diferencial.

Tópicos como os principais micro-organismos que causam deposições orgânicas e as formas mais eficazes de biocidas são abordados, de forma a apresentar o que existe de mais moderno em tecnologia de controle microbiológico.

Com base em casos reais, é possível qualificar os processos corrosivos por ação microbiológica, dimensionar um programa de tratamento químico preventivo, bem como quantificar perdas e ganhos econômicos relacionados aos sistemas de resfriamento semiabertos, com ênfase em *chillers* (trocadores de calor).

FATOR *FOULING* E EFICIÊNCIA TÉRMICA

Com a finalidade de se obter a máxima eficiência na troca térmica, especificações corretas deverão ser feitas na base de projeto, tais como: área do trocador, velocidade e sentido dos fluxos, temperatura de água de refrigeração, metal utilizado nos tubos, disposição dos tubos e previsão de *fouling* dos fluídos utilizados. O uso do fator *fouling* ou fator de limpeza pode, na realidade, ser essencial para o controle de tratamento de água durante a operação, a fim de se atingir o máximo de eficiência do equipamento.

PRINCIPAIS PROCESSOS CORROSIVOS EM SISTEMAS DE RESFRIAMENTO COM RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA

Estes sistemas apresentam problemas como corrosão, deposição, incrustação, *fouling* e crescimento microbiológico.

Embora muitos destes problemas sejam decorrentes uns dos outros, a abordagem do tema terá ênfase apenas nos que são induzidos por micro-organismos. Entre os diversos tipos de corrosão provenientes da proliferação microbiológica, os mais comuns são através de aeração diferencial e ácido sulfídrico. A denominação corrosão microbiológica, empregada para expressar a participação dos micro-organismos nos fenômenos de corrosão, pode induzir a pensar em um novo tipo de processo.

CORROSÃO INDUZIDA POR MICRO-ORGANISMOS (MIC)

Na maioria dos processos corrosivos em metais, onde os micro-organismos são os agentes causadores, são denominados de corrosão induzida por micro-organismos, corrosão microbiológica, biodeterioração ou biocorrosão. Estes processos podem ser aeróbicos ou anaeróbicos.

FORMAÇÃO DO BIOFILME

Os seres planctônicos e os seres sésseis são os micro-organismos que permanecem aderidos a um substrato.

Os micro-organismos sésseis nunca se fixam a uma superfície nua de um substrato, e sim, a um exopolímero.

Em meio aquoso, existem os seres planctônicos, micro-organismos que flutuam livremente, formando uma fina camada de matéria orgânica, denominada de filme condicionador. As bactérias planctônicas, flutuando na massa d'água, iniciam a colonização da superfície de um substrato, excretando exopolímero que aprisionam as células, iniciando então uma vida sésil.

Inicialmente, o biofilme é composto de espécies microbianas precursoras, distribuídas como células isoladas, de maneira heterogênea, sobre a superfície. Após alguns minutos, determinadas espécies produzem um exopolímero fortemente adesivo, glicocalix, que encapsula as células e as mantém aderidas a um substrato. O glicocalix restringe a disseminação das células microbianas em reprodução, na superfície dos substratos. Neste estágio de desenvolvimento, a espessura do biofilme é menor que 10 µm e se apresenta como matrizes descontínuas, de células

e exopolímeros. Quando diferentes espécies de bactérias sésseis continuam a reproduzir-se e excretar mais exopolímeros, o biofilme aumenta sua espessura sobre a superfície do substrato.

Ao longo do tempo, bactérias planctônicas e material particulado tornam-se envolvidas no biofilme, contribuindo para o crescimento da comunidade e aumento da sua complexidade, neste estágio, o biofilme maduro torna-se visível a olho nu.

Os principais micro-organismos formadores de biofilme são as algas (filamentosas azul-esverdeadas, verdes - *Chlorophyta*, capsuladas – *Anacystis*); fungos (*Aspergillus* e *Cladosporium*) e as bactérias (*Pseudomonas*; *Aerobacter*; *Flavo bacterium*; *Gallionella*; *Sphaerotilus*).

PILHAS DE AERAÇÃO DIFERENCIAL

Uma das formas de corrosão mais frequentes, aproximadamente 70% dos casos, é a originada pela existência de variações na concentração de oxigênio ou de íons na superfície metálica, que ocasiona correntes localizadas. Se um micro-organismo se encontra nas vizinhanças de uma tubulação, cria-se uma célula de aeração diferencial entre as partes da estrutura em que o oxigênio é consumido pelas bactérias e aquelas em que a concentração de oxigênio não foi modificada. As zonas de oxigênio comportam-se anodicamente a respeito das restantes e são centros potenciais de ataque do metal.

Uma das formas de corrosão mais frequentes associada a este tipo de mecanismo é a que corresponde à formação de tubérculos no interior da tubulação de água. São responsáveis pela mesma, os micro-organismos oxidantes do ferro do tipo de bactérias do gênero *Gallionella* que oxidam o íon ferroso em solução a íon férrico, ocasionando a precipitação de hidróxido férrico que forma excrescências no interior da tubulação, conhecidos como tubérculos (VIDELA, 1993, p.29).

O principal agente causador destas pilhas é a deposição de matéria orgânica na superfície metálica, na forma de biofilme. Além do biofilme, a poeira do meio ambiente, os sólidos em suspensão na água de alimentação e a lama de fosfato de cálcio são também causadores deste tipo de corrosão. Após formadas, o seu crescimento independe das concentrações de inibidores de corrosão existentes na água de refrigeração, o que evidencia a gravidade da sua presença para os metais dos sistemas.

BACTÉRIAS OXIDANTES DE FERRO E MANGANÊS

As bactérias mais comuns são *Leptothrix*, *Gallionella* e *Siderocapsa*. Por intermédio de enzimas, elas catalisam a reação de transformação de ferro solúvel, existente na água, para ferro insolúvel, de onde retiram a energia necessária para o seu crescimento, de acordo com a reação:



MECANISMO

As bactérias oxidantes de ferro e manganês oxidam ferro ferroso a férrico, depositando hidróxido férrico, por meio de enzimas.

Desenvolvem-se em meio aeróbico e são do gênero *Talófitas*, *Gallionella* e *Siderophacus filamentosa*, *Sphaerotilus*, *Leptothrix* e *Crenothrix*.

CICLO DO ENXOFRE

O gás sulfídrico poderá estar presente no meio ambiente e na torre de resfriamento, ele é absorvido pela água, passando a ácido sulfídrico. Este ácido é extremamente reativo, atacando todos os metais utilizados em sistemas de refrigeração, com a formação dos seus sulfetos metálicos.

Dentro do grupo de bactérias relacionadas com o enxofre, temos as bactérias oxidantes (aeróbicas) e as redutoras (anaeróbicas).

BACTÉRIAS OXIDANTES DE ENXOFRE

Um grupo de bactérias do gênero *Thiobacillus* oxida enxofre, ou os compostos de enxofre, a sulfato, com a simultânea produção de ácido sulfúrico que funciona como agente corrosivo. Algumas bactérias metabolizam sulfetos solúveis, se a concentração de H_2S livre estiver abaixo de 200 ppm, e estão frequentemente associados a microrganismos que convertem sulfatos (SO_4^{2-}) para sulfetos (S^{2-}) e sulfetos para enxofre. As três espécies de bactérias mais envolvidas nos processos de corrosão são *Thiobacillus thioparus*, *Thiobacillus thiooxidans* e *Thiobacillus concretivorus*. Essas bactérias são aeróbias.

A temperatura ótima para crescimento dessas bactérias está na faixa de 25-30°C, e elas não sobrevivem na faixa de 55-60°C. Seus processos metabólicos ocasionam, em alguns casos, valores de pH em torno de 2, podendo alcançar valores ainda menores.

O gás sulfídrico é oxidado, pelas bactérias, para ácido sulfúrico, que ocasiona então a corrosão do aço ou do concreto. O tubérculo formado mantém no seu interior uma área oca não aerada ou pouco aerada que propicia o crescimento de bactérias redutoras de sulfato. O gás sulfídrico, formado como produto de seu metabolismo, será responsável pelo aparecimento de agulhas ou nódulos de sulfeto de ferro, originando uma pilha galvânica, com o aparecimento de corrosão localizada (GENTIL, 2003, p.97).

BACTÉRIAS DO NITROGÊNIO

O nitrogênio é de grande importância para o desenvolvimento de micro-organismos, pois é utilizado como fonte de energia por muitos deles. O processo de oxidação de Nitrito a Nitrato

é denominado nitrificação, sendo que a principal espécie de microrganismos, por ele responsável, é *Nitrobacter winogradsky*, que utiliza o nitrito como fonte de energia, conforme a reação:



Essas bactérias interferem no tratamento de água de refrigeração à base de nitrito. Já a desnitrificação envolve a redução de nitrato a nitrito, óxidos de nitrogênio e amônia. Entre os microrganismos responsáveis por esta fase temos o *Thiobacillus desnitrificans*:

PROCESSOS ANAERÓBICOS DE CORROSÃO

CORROSÃO PELAS BACTÉRIAS REDUTORAS DE SULFATO

Este grupo de bactérias, extremamente danosas a diferentes materiais metálicos, compreende diferentes gêneros, sendo o de maior interesse em água de refrigeração o *Desulfovibrio*.

Todas as bactérias redutoras de sulfato são anaeróbicas e, na sua maioria, necessitam de uma completa ausência de oxigênio e um meio restrito, para o seu completo desenvolvimento.

Todavia, elas podem circular em águas aeradas, provavelmente no estado de dormência, mesmo em águas cloradas, até acharem o local adequado para seu desenvolvimento. Desulfotomomas acetoxidans são responsáveis pela redução do S^0 para S^{2-} , sendo chamadas geradoras de sulfeto ou sulfidogênicas.

Na corrosão eletroquímica do ferro e do aço, um filme de hidrogênio se forma sobre a área catódica do metal, que se torna polarizado. Sob condições aeróbicas, este hidrogênio reage com o oxigênio dissolvido na água, despolarizando a pilha formada. A energia desprendida da oxidação catódica do hidrogênio é a fonte de energia para o crescimento da bactéria.

CORROSÃO POR AÇÃO CONJUNTA DE BACTÉRIAS

Este tipo de processo corrosivo ocorre pela ação simultânea de bactérias. Devido à ação das bactérias redutoras de sulfato, forma-se o H_2S , que é oxidado para H_2SO_4 pela espécie *Thiobacillus thiooxidans*.

O sulfeto formado pelas bactérias redutoras de sulfato é oxidado por certas bactérias, inclusive *Thiobacilli*, para enxofre elementar que é substância muito corrosiva para materiais ferrosos. A oxidação de enxofre elementar (de origem química ou biológica) provocada simultaneamente por *Thiobacilli* e *Ferrobacilli*, produz mais ácido e, evidentemente, corrosão mais rápida;

FOULING

Fouling pode ser definido como acúmulo de material indesejável depositado na superfície de transferência de calor. O *Fouling* Biológico é constituído de gêneros de algas, fungos e bactérias sésseis, capazes de formar limo, material gelatinoso que adere às superfícies metálicas (DANTAS, 1988)

Fouling é uma aglomeração de materiais, onde o ligante normalmente é a biomassa e, em outros casos, óleo mineral ou fluídos de processo, e o material aglutinado sólidos suspensos, tais como *silt*, poeira, lama produtos de corrosão e outros precipitados inorgânicos, tais como os de polifosfatos hidrolisados. Portanto, a presença de microrganismos em águas de sistemas de refrigeração, pode causar consequências graves como: bloqueio de tubulações, redução no coeficiente de troca térmica, aumento na perda de carga térmica, corrosão induzida por microrganismos, corrosão sob depósitos - aeração diferencial, formação de tubérculos - magnetita e goetita, perfuração da tubulação sob os tubérculos, meio anaeróbico sob o biofilme formado.

ALGAS

São seres vivos fotossintéticos, unicelulares ou pluricelulares, geralmente aquáticos ou crescendo em locais úmidos. Crescem preferencialmente num meio aquoso, onde os valores de pH oscilam entre 4,5 e 9,3 e nas temperaturas numa faixa de 15 a 60°C, desenvolvendo-se em águas do mar, salobras e doces.

Em sistemas de refrigeração as mais encontradas são as *Cianofíceas*, as *Clorofíceas* e as *Diatomáceas*, cujos principais efeitos em água de refrigeração são deposições na bacia de distribuição, bloqueando a passagem de água, cortinas das variedades filamentosas sobre as venezianas e bloqueando a passagem de ar.

FUNGOS

Os fungos são talófitos sem clorofila, que se reproduzem por esporos. Eles vivem na água, nos solos e sobre substratos sólidos, tais como madeira, couro, plástico, entre outros. Eles são imóveis, porém seus esporos são levados com o vento para locais distantes, contaminando muitos sistemas que utilizam torres de refrigeração.

BACTÉRIAS

Bactérias são organismos microscópicos, procariotas, não possuindo membrana nuclear. A respeito deste fato, elas se reproduzem por divisão binária, elaboram seus alimentos por sínteses químicas e, em alguns casos, por fotossíntese.

As bactérias possuem as seguintes características: esféricas (cocos); bastonetes (bacilos) e espiral (espirilo). Também podem ser aeróbicas, anaeróbicas e anaeróbicas facultativas. Quanto ao

seu crescimento o pH preferencial está entre 6,5-7,5, sendo considerado alternativo o pH entre 4-10. A temperatura ideal de crescimento varia de acordo com os diferentes tipos: *Psicrófilas*, crescem $\leq 0^{\circ}\text{C}$, sendo temperatura ótima entre $15-20^{\circ}\text{C}$; *Mesófilas*, $30-40^{\circ}\text{C}$; *Termófilas*, $50-60^{\circ}\text{C}$.

As bactérias em água de refrigeração são classificadas como sésseis e planctônicas. Todas as bactérias sésseis são envolvidas por uma cápsula gelatinosa, basicamente formadas de polissacarídios e glicocálix, formando o limo bacteriano. As bactérias sésseis estão sempre fixas, não se movendo na água.

As bactérias planctônicas têm elevada mobilidade e permanecem sempre flutuando nas águas dos sistemas, e por não serem envolvidas por cápsulas gelatinosas, não formam limo bacteriano. Estas bactérias são facilmente eliminadas pelos microbicidas e, não acarretam problemas em sistemas de água de refrigeração.

O limo bacteriano está fortemente associado às *Pseudomonas*, não só porque elas são do tipo capsulado, como por serem predominantes em águas de refrigeração.

CONTROLE DO CRESCIMENTO DOS MICRO-ORGANISMOS

A fim de eliminar os micro-organismos ou mesmo impedir o seu crescimento em águas de refrigeração, empregam-se produtos químicos denominados microbicidas. Microbicidas podem ter atividade genética para muitos micro-organismos ou específica a uma determinada espécie. Os primeiros são, naturalmente, os preferidos, sendo conhecidos como microbicidas de largo espectro.

Formulações contendo diferentes microbicidas têm sua eficiência aumentada.

No controle biológico, a parede celular é o primeiro ponto de defesa dos micro-organismos e consequentemente o ponto inicial de ataque dos microbicidas. Bactérias expostas a concentrações subletais de microbicidas, caso em que os microbicidas são dosados continuamente, mudam a composição química da sua parede celular, fazendo-a mais resistente aos produtos químicos.

MICROBICIDAS E SUAS DIFERENTES FORMAS DE ATUAR

Os microbicidas utilizados em sistemas de resfriamento são classificados como oxidantes e não-oxidantes.

MICROBICIDAS OXIDANTES

CLORO

O cloro e seus compostos são microbicidas do tipo oxidante, sendo os mais utilizados no controle do crescimento microbiológico da água.

Mecanismos de ação: No protoplasma ele forma ligações estáveis com nitrogênio, inativando todos os organismos vivos.

Quando o cloro é dissolvido na água, forma ácido hipocloroso e ácido clorídrico, conforme a seguinte reação:



O ácido hipocloroso formado é um ácido fraco, cuja tendência de dissociação acarreta a formação de íon hipoclorito.



A polaridade do ácido hipocloroso faz com que ele seja o mais utilizado entre os agentes oxidantes, devido à grande facilidade em penetrar na membrana celular e inativar as enzimas, por reação de oxidação com o seu grupo sulfidril. A pouca eficiência do íon hipoclorito, OCl^- , se deve a sua carga elétrica negativa, igual à carga elétrica da membrana citoplásmica. Como cargas elétricas iguais se repelem, o íon hipoclorito não atravessa esta membrana protetora.

O ácido hipocloroso predomina entre valores de pH 4,0 e 7,5. Na faixa de pH entre 7,5 e 9,5, predomina o íon hipoclorito, sendo que em valores de pH acima de 10, todo o cloro está nesta última forma.

O ácido hipocloroso reage com os compostos nitrogenados, formando cloraminas. Estes compostos têm mais baixo poder bactericida que o cloro, porém persistem na água por um período mais longo.

EFICIÊNCIA E PERIGOS DA CLORAÇÃO

A temperatura, o valor do pH e a matéria orgânica exercem grande influência na eficiência bactericida das soluções de cloro ou hipoclorito. Sendo a ação esterilizante do cloro devida, principalmente, ao ácido hipocloroso, o valor de pH indicado para a cloração deverá ser situado entre o mínimo de 7,0 e o máximo de 7,5, onde as concentrações de ácido hipocloroso são elevadas e o valor de pH não interferem nos diferentes programas de tratamento.

Cuidados especiais deverão ser tomados com a cloração excessiva, pois poderá provocar um destes problemas: ataque localizado aos tubos de aço inox 304; ataque à lignina da madeira, solubilizando-a e deixando apenas a celulose, na sua forma fibrosa; ataque aos fosfonatos aminados, hidrolisando a sua molécula com a liberação do ortofosfato; ataque ao mercaptobenzotiazol quando utilizado como inibidor específico de cobre, degradando sua molécula.

BROMO

O bromo e seus compostos são biocidas oxidantes de alta eficiência. Eles atuam nas bactérias, no estado vegetativo e esporulado, nos fungos, nas algas, nos vírus e nos cistos dos protozoários. A química do bromo tem sido uma alternativa positiva, na desinfecção de águas em geral.

MICROBICIDAS NÃO OXIDANTES

Estes microbicidas se dividem em venenos das enzimas e os que rompem as paredes celular e citoplásmica:

QUATERNÁRIOS DE AMÔNIO

Os sais quaternários de amônio são compostos de nitrogênio. De um modo geral, eles são conhecidos como, cloretos de amônio quaternário.

Sua ação como microbicida está associada aos seguintes mecanismos: atividade de superfície ativa; atração eletrostática a grupos receptores, carregados negativamente na parede celular e na membrana citoplasmática; ataque aos fosfolipídios na membrana citoplásmica, causando lise e morte da célula; ataque por absorção à membrana semipermeável da célula, provocando lesões citológicas com perdas de metabólitos intracelulares e coenzimas.

GLUTARALDEÍDO (ALDEÍDO GLUTÁRICO)

A solução aquosa do dialdeído glutárico, cuja fórmula é $\text{HOC}(\text{CH}_2)_3\text{COH}$, é utilizada como biocida de longo espectro. A solução é facilmente dispersa em água e sua atividade está relacionada à sua reação química com as aminas primárias existentes na lisina, um componente da parede celular.

A utilização de glutaraldeído como biocida possui vantagens como : atuação direta nas bactérias sésseis, penetrando inicialmente em sua camada limosa; atuação nas bactérias anaeróbicas do tipo redutora de sulfato; maior atividade nas faixas de pH 7,5 – 8,5; não é afetado por águas com elevado grau de dureza; compatível com tensoativos aniônicos, catiônicos e não-iônicos.

THIAZOLONAS

Os produtos ativos destes compostos são 5-cloro-2-metil-4-isotiazolona-3-ona e 2- metil-4-isotiazolina-3-ona. O produto é um biocida de largo espectro, atuando sobre as algas, fungos e bactérias.

É eficiente em baixos níveis de produto ativo, 0,5 - 5,0 ppm, nas bactérias sésseis formadoras de limo e nas redutoras de sulfato, além de ser compatível com o cloro. Possui estabilidade nas temperaturas de 5 a 50°C, valores de pH entre 3,5 e 9,5 e dureza total de 50 a 1000 ppm e elimina a corrosão por aeração diferencial, quando causada pelo biofilme, assim como a provocada pelas bactérias redutoras de sulfato.

Com relação ao seu mecanismo de atuação, inicialmente, as tiazolonas se comportam com bioestáticos, devido á rápida inibição da síntese macromolecular (proteína, RNA e parede celular). Posteriormente, é um biocida, porquanto a célula morre depois de poucas horas de íntimo contato.

CONTROLE DO TRATAMENTO MICROBIOLÓGICO

A dosagem de dois biocidas com mecanismos de atuação diferentes, com a finalidade de evitar a criação de microrganismos resistentes é uma ótima alternativa para controlar a proliferação microbiológica com maior eficácia, pois trabalha-se com espectro de atuação mais abrangente.

Uma outra medida muito importante a ser tomada é quanto às dosagens corretas dos biocidas, considerando as concentrações adequadas e o tempo de meia-vida para a desconcentração do biocida no meio aquoso do sistema de refrigeração. A verificação do cálculo de tempo de desconcentração dos biocidas utilizados nos sistemas abertos com recirculação de água, quanto à frequência e quantidade exatas de biocidas a serem dosados, pode ser realizada, considerando que suas doses de reposição deverão ser feitas quando as concentrações no sistema caírem a 30, 25 ou 20% da concentração dosada inicialmente.

ESTUDO DE CASO

Pode-se traduzir em valores as consequências da proliferação microbiológica em um sistema de resfriamento, tomando-se como base o cálculo de eficiência em *chiller*, desta forma, torna-se mensurável os prejuízos causados pela corrosão microbiológica, bem como, sua proliferação sem o controle adequado.

A seguir cita-se um estudo de caso real, demonstrando a economia de um sistema de resfriamento sem tratamento ou com tratamento ineficiente, comparado com um tratamento microbiológico adequado. Os dados abaixo, apresentados no estudo de caso, foram tirados em edificil comercial em São Paulo.

Se a superfície de troca térmica do condensador não está limpa (condensador sujo, incrustado ou com contaminação microbiológica), o fluído refrigerante terá sua temperatura aumentada e consequentemente a pressão de condensação também será aumentada. Este aumento de pressão requer um maior trabalho do compressor, que é o maior consumidor de energia. Isto aumenta o consumo de energia elétrica e consequentemente os custos de operação.

EFICIENCIA EM CHILLER

Neste estudo de caso, visitou-se um Condomínio Comercial, onde verificou-se que o condensador estava sujo, o que provocava um maior consumo de energia, ou seja, o coeficiente de performance (eficiência) kW/TR estava acima do projeto.

Foi implementado um programa de tratamento com objetivo principal de prevenir deposições no condensador. Isto resultou em temperaturas e pressões mais baixas no fluido refrigerante. Na Tabela 1 estão os dados utilizados no estudo do caso.

Tabela 1: Dados requeridos para os cálculos.

Variável	Descrição	Dados Obtidos
E	Eficiência ou Coeficiente de performance (projeto)	0,75 kW/TR
T _e	Temperatura de entrada da água gelada no evaporador	12,2 °C
T _s	Temperatura de saída da água gelada no evaporador	6,7 °C
Q _{ag}	Vazão da água gelada:	57,4 m ³ /h
I _c	Corrente elétrica média do compressor	150 Ampéres
V _c	Tensão elétrica de alimentação do compressor:	380 Volts

	Custo de kW/h	R\$ 0,09,kV fora do horário de ponta
RT	Regime de Trabalho	24 h/dia – 300 dias/ano
pH ₂ O	Densidade da água	1000 kg/m ³
C _f	Capacidade frigorífica	TR (calculado abaixo)
F _c	Fator de conversão de unidades	1 TR = 3.024 kcal/h
P _c	Potência consumida	kW (calculado abaixo)
C _{os}	Fator de potência	0,85

O dado de projeto da eficiência kW/TR, está disponível normalmente no manual do fabricante da máquina ou no painel de comando. Termômetros instalados na linha de recirculação de água gelada, indicarão as temperaturas de entrada e saída da água no evaporador.

A vazão de água pode ser medida, caso exista algum medidor de vazão no sistema. Na ausência de qualquer medidor deve ser assumido a vazão de projeto. Entretanto, tal condição pode não ser precisa, devido aos desgastes dos rotores com o tempo, bem como deposição nas tubulações.

A corrente elétrica média, em ampéres é um valor medido no motor trifásico do compressor.

A corrente elétrica medida em um determinado instante, pode ser obtida da seguinte forma: um amperímetro medindo cada fase uma a uma ou um amperímetro com uma chave seletora para as 3 fases. Muitos equipamentos já possuem leitura direta no painel. A tensão elétrica (volts) pode ser obtida através do voltímetro ou placa indicativa situada no painel de comando ou elétrico do *chiller*. O custo do kilowatt/hora é obtido na fatura de energia elétrica e o regime de trabalho com o responsável pelo sistema.

10.2 CÁLCULOS

$$T_{\text{água gelada}} = T_e - T_s = 12,2 - 6,7 = 5,5^{\circ}\text{C} \quad (5)$$

$$C_f = \frac{Q_{ag} \times \rho_{H_2O} \times \Delta T}{K_{cal/h}} = \frac{57,4 \text{ m}^3/\text{h} \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 5,5^{\circ}\text{C}}{3024 \text{ kcal/h}} \quad (6)$$

$$C_f = 104 \text{ TR}$$

Com a finalidade de comparação das performances entre os tratamentos microbiológicos ineficiente e adequado, foram utilizados os dados obtidos nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2: Tratamento Biológico Ineficiente.

Variável	Resultado Obtido
T_e	12,2 °C
T_s	6,7 °C
Q_{ag}	57,4 m ³ /h
I_c	175 A
V_c	380 V

Fonte : Belleza (2002).

$$P_c = \frac{\sqrt{3} \times V_c \times I_c \times \cos \theta}{1000} = \frac{1,732 \times 380 \times 175 \times 0,85}{1000} \quad (7)$$

$$P_c = 97,9 \text{ kW}$$

Para o cálculo de eficiência em kW/TR do tratamento ineficiente do *chiller*, obteve-se:

$$\text{Eficiência em kW/TR: } \frac{97,9 \text{ kW}}{104 \text{ TR}} \quad (8)$$

$$\text{Eficiência em kW/TR} = 0,94 \text{ kW/TR}$$

Obs.: Foi considerado a capacidade de 104 TR conforme projeto para cálculo, porém sabe-se que, a temperatura de condensação aumenta e reduz a capacidade de refrigeração do *chiller*.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos após a introdução de um programa de tratamento adequado a situação encontrada no equipamento.

Tabela 3: Resultados Obtidos após Tratamento Biológico Adequado.

Variável	Resultado Obtido
T_e	12,2 °C
T_s	6,7 °C
Q_{ag}	57,4 m ³ /h
I_c	150 A
V_c	380 V

$$P_c = \frac{\sqrt{3} \times V_c \times I_c \times \cos \theta}{1000} = \frac{1,732 \times 380 \times 150 \times 0,85}{1000} \quad (9)$$

$$P_c = 83,9 \text{ kW}$$

Fonte : Belleza (2002).

O programa permitiu trabalhar em melhores condições, bem próximo do projeto. Para o cálculo de eficiência em kW/TR do tratamento adequado do *chiller*, obteve-se:

$$\text{Eficiência em kW/TR: } \frac{83,9 \text{ kW}}{104 \text{ TR}} \quad (10)$$

Eficiência em kW/TR = 0,80 kW/TR

CONCLUSÃO

A corrosão microbiológica é hoje reconhecida como um dos maiores problemas em sistemas de águas de resfriamento.

No caso real estudado, no condomínio em São Paulo, cuja identidade fica mantida em sigilo por solicitação da empresa, pôde-se traduzir em valores as consequências da proliferação microbiológica em um sistema de resfriamento, tomando-se como base o cálculo de eficiência em *chiller*. Todos os dados expostos acima, no estudo de caso, foram acompanhados pelos respectivos responsáveis da empresa que administra o condomínio comercial e, dão fé de sua veracidade. No programa recomendado utilizou-se um biodispersante e um microbicida não oxidante, a base de isotiazolina, melhorando o controle microbiológico. Com a manutenção da superfície de troca térmica limpa, o programa empregado propiciou ao sistema operar com o valor de projeto para o coeficiente de performance kW/TR. Em função disto, foi possível uma economia de energia elétrica na ordem de 0,14 kW/TR, implicando em uma economia real em torno de R\$ 18.000,00/ano.

Assim sendo, conclui-se que um programa de tratamento de águas bem dimensionado e bem monitorado, reduz os problemas com corrosão microbiológica, apresentando maior vida útil do sistema e economia financeira, sendo, portanto, sua implementação fundamental para os empreendimentos e para os sistemas de AVAC-R.

REFERÊNCIAS

BELLEZA, Sérgio. Manual de Operação de Chiller. São Paulo, 2002.

DANTAS, Evandro. Geração de Vapor e Água de Resfriamento: Falhas - Tratamento - Limpeza Química. Rio de Janeiro.

Ecolab/José Olympio, 1988. 305 p. GENTIL, Vicente.

Corrosão. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 341 p.

VIDELA, Hector A.. Biotecnologia. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1993. 65p.

(Corrosão Microbiológica, v.4).

Esse trabalho foi apresentado no XVII CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR
São Paulo Expo – 23 à 25 de novembro de 2021.

5 - AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA INCRUSTAÇÃO EM RESFRIADORES EM SISTEMAS DE AVAC-R

Por Alberto Hernandez Neto e Charles Domingues

RESUMO

Na operação de sistemas centrais de água gelada em edificações comerciais, o surgimento de incrustação nos trocadores de calor pode impactar de forma severa o desempenho destes sistemas. O mecanismo e a taxa de formação de incrustação são afetados por diversos parâmetros. Dentre estes parâmetros, estão as propriedades da água utilizada, as vazões e temperaturas de água de condensação, etc. Estes parâmetros e o impacto imposto por eles, no desempenho energético e na viabilidade econômica da operação destes sistemas, variam também com as condições do local onde está instalado o sistema central de água gelada.

Este artigo propõe analisar o impacto da incrustação no desempenho de trocadores de calor em sistemas de AVAC. Com base nesta análise, serão propostas estratégias para mitigação da incrustação e a sua viabilidade técnica e econômica.

PALAVRAS- CHAVE - Incrustação. Desempenho Energético. Tratamento de Águas.

SISTEMAS CENTRAIS DE ÁGUA GELADA

Em edificações comerciais climatizadas, uma boa parte dos sistemas são do tipo central de água gelada com condensação a água (Figura 1). Neste sistema, o circuito de água de condensação combina a operação de dois componentes muito importantes para o bom desempenho deste sistema: o *chiller* e a torre de resfriamento, sendo que o primeiro pode ser considerado o componente que mais consome energia no sistema. Usualmente, o *chiller* é constituído por trocadores tipo carcaça e tubo (Figura 2) onde a água de condensação passa pelos tubos e o fluido refrigerante pela carcaça. A água de condensação deve ser reposta continuamente devido ao processo de evaporação e de arrasto de partículas que ocorre na torre de resfriamento, que é considerado um sistema semiaberto com recirculação. Nesses sistemas, todo calor absorvido pela água é dissipado na forma de calor latente (75 a 90%) e calor sensível nas torres de resfriamento. O arraste das partículas de água promovido pelo fluxo de vapor e de ar, se dá sob a forma de respingos e corresponde a 0,01 a 0,3% da vazão de recirculação nas torres

de tiragem mecânica (Mancuso 2001). Além disso, as perdas por evaporação nas torres de resfriamento dependem do diferencial de temperatura entre o ar e a água; umidade relativa do ar externo e grau de aproximação entre a temperatura da água e a temperatura de bulbo úmido do ar externo. A reposição de água é realizada pelo sistema de abastecimento público ou por reuso de água, o que permite a entrada de sais dissolvidos que podem causar o fenômeno de incrustação.

Figura 1: Esquema simplificado de central de água gelada.

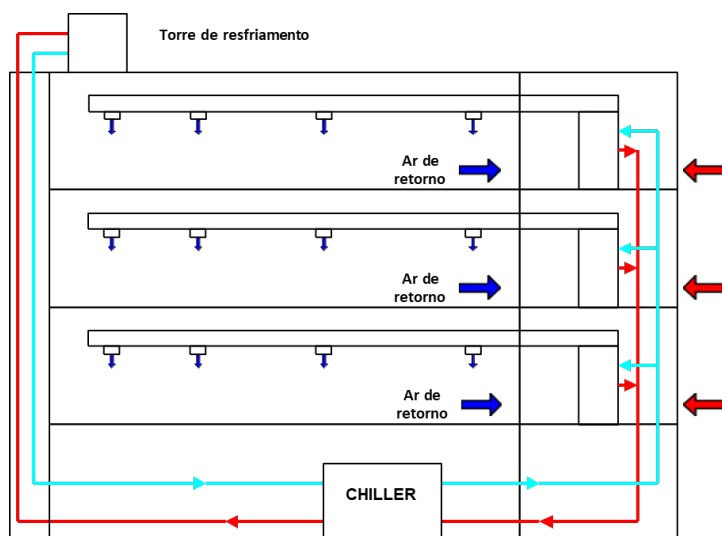
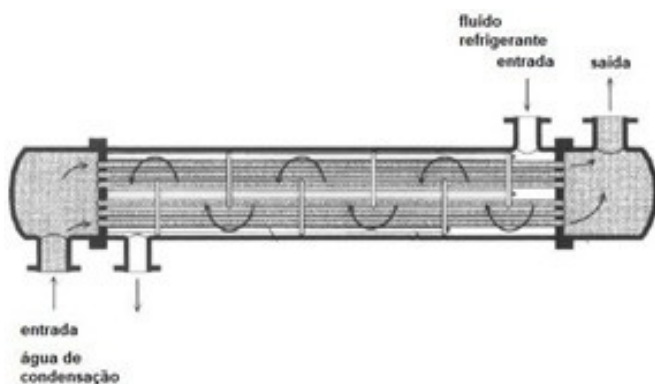


Figura 2: Esquema simplificado de central de água gelada.



MECANISMOS DE INCRUSTAÇÃO

Depois de um período de operação, as superfícies de transferência de calor de um trocador de calor podem ficar cobertas de partículas presentes nos escoamentos, ou sofrer um processo de corrosão resultante da interação entre os fluidos e o material utilizado na construção do trocador de calor. Em ambos os casos, isto representa uma resistência adicional ao fluxo de calor e, portanto, um decréscimo no desempenho do equipamento, sendo que este fenômeno é denominado por incrustação. Como resultado da presença da incrustação, uma resistência térmica adicional é imposta ao processo que também é denominado por fator de incrustação, resistência e incrustação ou resistência de depósitos (R_d), afetando o coeficiente global de transferência

de calor (Essel, 2021). Entre as diversas definições do fenômeno de incrustação que podem ser encontradas na literatura destaca-se:

Incrustação(*fouling*): é qualquer tipo de depósito em escala indesejável na superfície da transmissão de calor que aumente significativamente as resistências transferência de calor e ao escoamento, aumentando, também, a perda de carga sobre o fluido e reduzindo, com o passar do tempo, o desempenho térmico e hidráulico dos trocadores (Baraldi, 2011; Kakaç, 1991).

Os principais fatores que influenciam a taxa de incrustação são (Swamee et al., 2007):

- *Temperatura de superfície das tubulações*
- *Velocidade da água de resfriamento nas tubulações*
- *Qualidade da água de reposição*
- *Condições operacionais do sistema*
- *Tecnologia aplicada no programa de tratamento químico*

A água de reposição (*make-up*) (quantidade de água adicionada para compensar as perdas por arraste e purgas) é necessária na operação de torres de resfriamento em sistemas centrais de água gelada e apresenta uma vasta gama de substâncias dissolvidas. Muitas destas substâncias são sais, óxidos e hidróxidos e apresentam solubilidades diferentes, sendo influenciadas basicamente pela temperatura da água, concentração e acidez (nível de pH). Com a evaporação da água na torre de resfriamento, há um aumento na concentração das substâncias dissolvidas que, muitas vezes, podem se precipitar de forma aderente nas superfícies dos equipamentos (principalmente nas regiões de troca térmica), constituindo as incrustações. Outras substâncias também podem se incrustar indesejavelmente nesses sistemas, tais como: material orgânico (óleos, graxas, resíduos), lodo e acúmulo de material microbiológico, produtos de corrosão, sólidos em suspensão (argila), etc.

A incrustação pode ser dividida em 06 categorias principais, a saber (Baraldi, (2011); Kakaç (1991), Sauders (1988)):

1 - Particulados: *nesta categoria, a incrustação é essencialmente formada de particulados que estão suspensos no escoamento do processo sendo que este tipo de incrustação é muito frequente em processos de combustão ou devido a deposição de partículas de poeira em condensadores.*

2 - Cristalização ou precipitação: *é caracterizada pela deposição de sais inorgânicos dissolvidos no processo por ocasião da supersaturação destes sais durante um processo de resfriamento e/ou aquecimento.*

3 - Corrosão: *partículas advindas de um processo de corrosão e que se depositam na superfície de troca de calor promovem esta categoria de incrustação.*

4 - Biofilme ou biológico: *esta categoria de incrustação ocorre devido ao depósito e/ou crescimento de material orgânico sobre a superfície de troca de calor.*

5 - Reação química: *incrustação originada de reações químicas que ocorrem no fluxo do processo.*

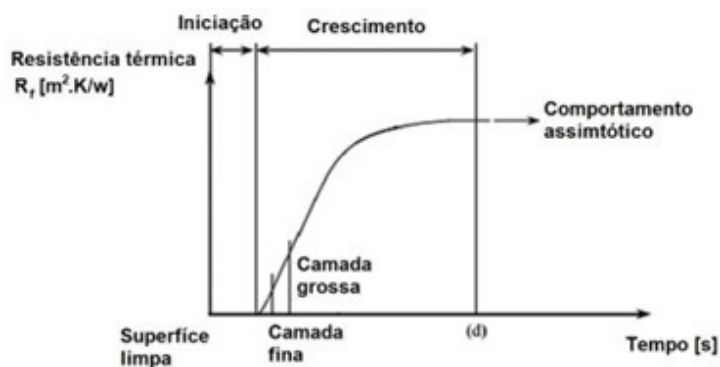
6 - Resfriamento: *resultado da solidificação do líquido, ou algum de seus componentes,*

na superfície de transferência de calor.

Do ponto de vista de tempo de processo, a formação da incrustação tem como principais etapas (vide Figura 3) (Knudsen,1984):

- **Iniciação:** etapa em que a superfície é preparada para formação de incrustação. Este processo pode ser induzido por fatores como temperatura superficial, material da superfície, tratamentos superficiais etc.
- **Crescimento:** esta etapa é subdividida em dois momentos; criação de uma camada fina com uma rugosidade média baixa, mas que já promove efeitos de redução da capacidade troca de calor e aumento do atrito no escoamento, que impõe um aumento na perda de pressão no escoamento do fluido. Com o passar do tempo, a incrustação passa a ser uma camada mais grossa com maior rugosidade, que vai aumentando a sua espessura e, conseqüentemente, seus efeitos de forma exponencial.
- **Comportamento assintótico:** após um certo tempo, a espessura da incrustação praticamente se estabiliza, mas atingindo valores de resistência térmica e de atrito bastante significativos.

Figura 3: Ilustração das etapas do processo de formação da incrustação.



Fonte : adaptado de Knudsen (1984).

Ishiyama et al. (2010) inclui no processo de incrustação uma outra fase que ocorre após o crescimento do material incrustado denominado de “ageing” (envelhecimento). Nesta fase, ocorrem modificações nas características dos depósitos das incrustações depois que o material foi incorporado à superfície. Durante este processo, mudanças na condutividade térmica do depósito podem ocorrer e causar mudanças significativas no comportamento do material incrustado e, conseqüentemente, afetando significativamente o desempenho do equipamento. Na Tabela 1 são apresentados alguns valores típicos de resistência térmica de incrustação para diferentes condições de processo.

Os principais efeitos associados à incrustação em trocadores de calor são redução da transferência de calor e o aumento da perda de pressão no escoamento do fluido no processo. Na Tabela 2, Venturini (2005) apresenta o aumento de superfície que deveria ser promovido para compensar os efeitos da redução de transferência de calor imposto pela incrustação.

Em um evaporador ou condensador, pode-se calcular a sua transferência de calor em um dado processo como;

$$q_{\text{trocador}} = U \times A \times \text{DMLT}$$

Onde:

- q_{trocador} = troca de calor total ocorrida no processo [W].
- U = coeficiente global de troca de calor [W/m².K];
- A = área total de transferência de calor [m²];
- DMLT = diferença média logarítmica de temperatura [K].

Tabela 1: Valores de resistência térmica de incrustação.

Temperatura do meio de aquecimento	até 115°C		115-205°C	
Temperatura da água	50°C ou menos		Acima de 50°C	
Velocidade da água	1m/s e abaixo	Acima de 1m/s	1m/s e abaixo	Acima de 1m/s
Tipos de água				
Destilada	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
do mar	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002
Potável ou de poço	0,0002	0,0002	0,0004	0,0004
Dura	0,0005	0,0005	0,0009	0,0009

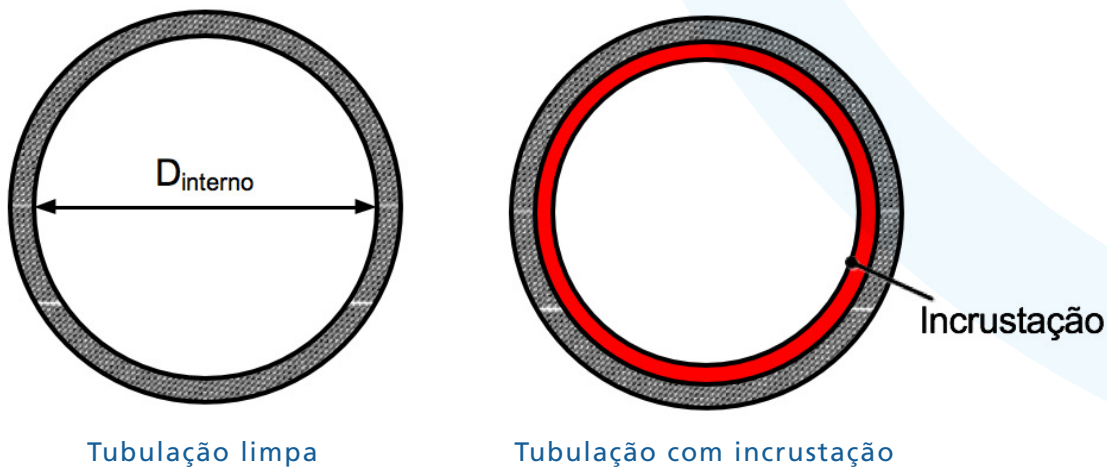
Tabela 2: Aumento da área de transferência de calor para compensação da presença de incrustação.

Resistência de incrustação [m ² .K/kW]	Espessura média da incrustação [mm]	Aumento da área de transferência de calor [%]
Tubos limpos	0,0000	0
0,04	0,1524	45
0,17	0,3048	85
0,35	0,5558	170
0,52	0,9144	250

Fonte: adaptado de Venturini (2005).

A redução da transferência de calor promovida pela incrustação ocorre devido ao aumento da resistência térmica do trocador causado pela incrustação e pela redução da área de transferência de calor (produto UA na Equação 1). Observando a Figura 4, podemos modelar a incrustação como uma camada de espessura uniforme (e_i) e que tem propriedades uniformes, em particular, a sua condutividade térmica (K_i).

Figura 4: Ilustração de uma tubulação limpa e com incrustação.



Equacionando o coeficiente de transferência de calor de um trocador com a tubulação limpa, temos;

$$U_{limpo} = \frac{1}{\frac{1}{h_{ext}} + \frac{e_{parede}}{k_{parede}} + \frac{1}{h_{int.}}} \quad (2)$$

Onde:

- U_{limpo} = coeficiente global de transferência de calor $[W/m^2.K]$;
- h_{ext} = coeficiente de convecção de calor externo a tubulação $[W/m^2.K]$
- h_{int} = coeficiente de convecção de calor interno a tubulação $[W/m^2.K]$
- e_{parede} = espessura da parede da tubulação $[m]$;
- k_{parede} = condutividade térmica do material da parede da tubulação $[W/m.K]$

Para a tubulação com incrustação, temos:

$$U_{incrustação} = \frac{1}{\frac{1}{h_{ext}} + \frac{e_{parede}}{k_{parede}} + \frac{e_i}{k_i} + \frac{1}{h_{int.}}} \quad (3)$$

Dessa forma, o valor de U_{uso} será sempre menor que o valor do U_{limpo} , reduzindo assim a capacidade de troca de calor do evaporador ou do condensador.

Analisando a área de troca de calor sem incrustação, temos:

$$A_{limpo} = \pi D_{interno} L \quad (4)$$

Onde:

- A_{limpo} = área interna de troca de calor sem incrustação $[m^2]$
- $D_{interno}$ = diâmetro interno da tubulação $[m]$
- L = comprimento da tubulação $[m]$

Já a área de troca de calor com incrustação é dada por:

$$A_{incrustação} = \pi(D_{interno-2*ei})L \quad (5)$$

Dessa forma, A_{sujo} é menor que A_{limpo} , promovendo uma redução adicional na capacidade de transferência do trocador de calor. Assim sendo, dividindo a capacidade de troca de calor com e sem incrustação (limpo), temos:

$$\frac{q_{trocador, incrustação}}{q_{trocador, limpo}} = \frac{U_{incrustação} A_{incrustação} DMLT_{incrustação}}{U_{limpo} A_{limpo} DMLT_{limpo}} \quad (6)$$

Com base nas análises anteriores, pode-se inferir que a razão descrita pela Equação 6 será sempre menor que 1 e será tanto menor quanto maior for a espessura da incrustação.

O aumento da perda de pressão está associado a redução da área de seção transversal combinado com o aumento da rugosidade das paredes promovida pela incrustação. Para avaliar este efeito, deve-se analisar a equação que define a perda de pressão em escoamentos internos dada por:

$$\Delta_{p,limpo} = f_{limpo} \frac{L}{D_{interno, limpo}} \frac{P_{água} V_{limpo}^2}{2} \quad (7)$$

Onde:

- $\Delta_p, limpo$ = perda de pressão devido ao atrito das paredes [Pa]:
- f_{limpo} = fator de atrito devido a rugosidade das paredes na tubulação limpa [-]:
- L = comprimento da tubulação [m]:
- $D_{interno, limpo}$ = diâmetro interno da tubulação limpa [m]:
- $P_{água}$ = massa específica da água [kg/m³]:
- V_{limpo} = velocidade da água na tubulação limpa [m/s]:

Podemos escrever equação semelhante a Equação 7 para a situação de tubulação com incrustação, a saber:

$$\Delta_{p,incrustação} = f_{incrustação} \frac{L}{D_{interno, incrustação}} \frac{P_{água} V_{incrustação}^2}{2} \quad (8)$$

Onde:

- $\Delta_p, incrustação$ = perda de pressão devido ao atrito das paredes com incrustação [Pa]:
- $f_{incrustação}$ = fator de atrito devido a rugosidade das paredes na tubulação com incrustação [-]:
- L = comprimento da tubulação [m]:
- $D_{interno, limpo}$ = diâmetro interno da tubulação limpa [m]:
- $P_{água}$ = massa específica da água [kg/m³]:
- V_{limpo} = velocidade da água na tubulação limpa [m/s]:

Dividindo a Equação 8 e pela Equação 7, pode-se verificar a relação da perda de pressão na situação limpa e com incrustação, a saber:

$$\frac{\Delta p_{\text{incrustação}}}{\Delta p_{\text{limpo}}} = \frac{f_{\text{incrustação}}}{f_{\text{limpo}}} \frac{D_{\text{limpo}}}{A_{\text{incrustação}}} \left(\frac{V_{\text{incrustação}}^2}{V_{\text{limpo}}} \right) \quad (9)$$

Analisando a Equação 9, pode-se inferir que haverá um aumento da perda de pressão na situação com incrustação, pois haverá um aumento do atrito e da velocidade do escoamento (devido a redução da seção transversal) e a redução do diâmetro da tubulação.

ANÁLISE DO IMPACTO DA INCRUSTAÇÃO

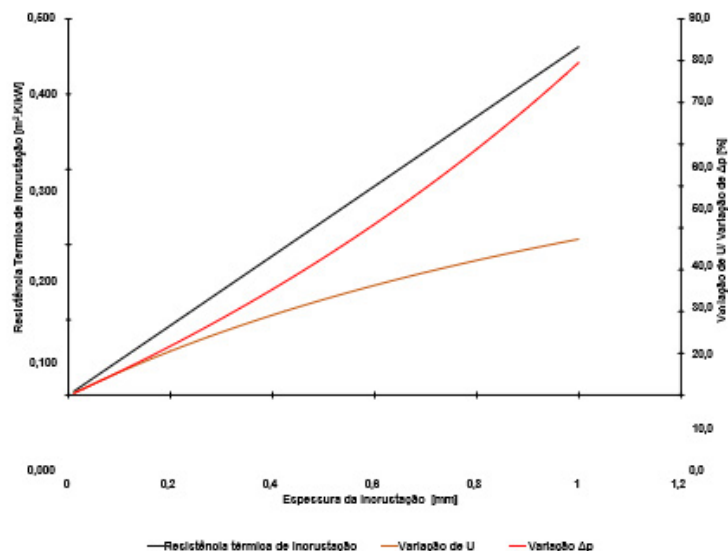
Para a avaliação do impacto da incrustação no desempenho do condensador de um sistema de água gelada de uma edificação comercial climatizada, foi construído um modelo para uma edificação comercial com 1.050 m² (planta típica com 30m de largura por 35 m de comprimento) com 20 andares localizada na cidade de São Paulo. O modelo foi construído utilizando as seguintes ferramentas de simulação: Energy Plus versão 9.0 (DOE, 2020), Sketchup 2.7 (Trimble, 2018) e o plugin Open Studio 3.0 (NREL, 2018), que são ferramentas utilizadas na simulação de desempenho de edificações climatizadas usadas em processos de certificação de edifícios sustentáveis como LEED, AQUA e Procel Edifica.

Para este caso, foi avaliado um resfriador de água gelada com condensação à água e capacidade de 400 TR com COP nominal de 6,11 (IPLV de 6,41) com vazão máxima de água de condensação de 252,2 m³/h. O condensador é do tipo casco e tubo, sendo que o feixe tubular é formado por 181 tubos de 22 mm de diâmetro interno nominal.

No modelo proposto, será verificado o impacto da formação de incrustação para diferentes níveis de espessura de material incrustado. O elemento principal de incrustação é o carbonato de cálcio (condutividade térmica: 2,941 W/m.K (Kakaç, 1991). A espessura do material será variada de 0,01 mm a 1,00 mm, sendo que, para cada valor de espessura será calculada a redução da capacidade do resfriador e o aumento da perda de pressão no condensador.

O impacto destas variações será verificado por meio da avaliação do consumo da variação de consumo de energia do resfriador, obtido nas simulações feitas com a ferramenta Energy Plus. Para avaliação dos valores de coeficiente global de transferência foram utilizados os valores típicos apresentados por manual elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2017). Na Figura 5 são apresentados o valor da resistência térmica de incrustação, a variação percentual do valor do coeficiente global de transferência de calor e a variação percentual da perda de carga nos tubos do condensador relativa à condição sem incrustação e em função da espessura de incrustação.

Figura 5. Variação da resistência térmica de incrustação, variação percentual do coeficiente global de transferência de calor e variação percentual da perda de carga nos tubos do condensador em função da espessura de incrustação de carbonato de cálcio.

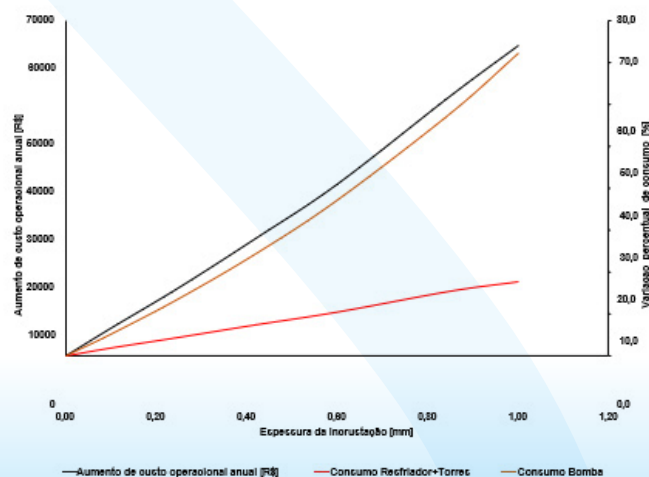


Deve-se ressaltar que a norma AHRI 551/591 (AHR, 2015) sugere que a resistência térmica de incrustação nos condensadores e evaporadores de resfriadores deve ser limitada ao valor de $0,18 m^2 \cdot K/kW$, que corresponde para o carbonato de cálcio, a uma espessura de incrustação de $0,53 mm$.

ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS RESFRIADORES NA PRESENÇA DE INCRUSTAÇÃO

Utilizando a ferramenta Energy Plus, foram introduzidos os valores de redução de coeficiente global de transferência de calor e de aumento de perda de carga no sistema modelado e a Figura 6 apresenta a variação percentual de consumo de energia dos resfriadores e torres, das bombas de condensação e variação do custo operacional anual para uma edificação submetida a estrutura tarifária horosazonal verde subgrupo A3, relativa à concessionária elétrica da cidade de São Paulo.

Figura 6. Variação percentual de consumo de energia dos resfriadores e torres, das bombas de condensação e variação do custo operacional anual em função da espessura da incrustação.



Pode-se observar que o impacto da formação de incrustação é pronunciado, impondo reduções significativas no desempenho do resfriador (até 20%), torre e bombas de condensação (aumentos de quase 70%) com aumentos de custos operacional acima de R\$60.000,00.

TRATAMENTO DE ÁGUA PARA MITIGAÇÃO DE INCRUSTAÇÃO

Em função do exposto anteriormente, ações que promovam a redução do impacto da incrustação devem fazer parte das atividades da equipe de gestão de operação e manutenção de uma central de água gelada.

Em primeiro lugar, uma avaliação da qualidade de água de reposição (proveniente do abastecimento público ou de reúso) deve ser feita de forma a verificar quais são os níveis de sais dissolvidos e outros elementos que estejam presentes, e que podem prejudicar a operação dos equipamentos.

Rozental (1999) ressalta que na implementação de tratamento químico à base de inibidores de corrosão, o ciclo de concentração é um parâmetro de extrema relevância, sendo que seu valor deve ser constantemente acompanhado e rigorosamente mantido dentro dos padrões pré-determinados antes da implantação do tratamento, usualmente referindo-se à concentração de determinado sal de referência ou íon solúvel típico, desde que, seja estável tal como o cloreto.

Cabe esclarecer, que o ciclo de concentração que Rozental se refere é definido como a relação entre a concentração de sólidos existentes na água que circula na torre e a concentração de sólidos da água de reposição. Dessa forma, a qualidade da água em sistemas de condensação necessita ser sempre acompanhada e seus valores determinados para que ela seja classificada adequadamente e, com isso, a seleção do tratamento de água a ser implantado seja o mais correto para as condições locais. Para condensadores carcaça e tubo, também pode ser utilizada a limpeza mecânica por varetamento.

CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi avaliado o impacto da presença de incrustação em condensadores carcaça e tubo usados para a rejeição em sistemas centrais de água gelada com condensação a água. Foram apresentados os principais mecanismos de formação de incrustação e o seu impacto no aumento do consumo dos *chillers*, torres e bombas de condensação bem como o aumento de custo para uma edificação comercial localizada na cidade de São Paulo.

Algumas estratégias para mitigação da formação de incrustação foram descritas e, deve-se ressaltar que, estas estratégias devem ser definidas com base em análises da água de reposição e com o apoio de profissional qualificado para a definição de um programa de tratamento de água.

As incrustações são sais que tem sua solubilidade inversamente proporcional a temperatura do fluido haja vista as mesmas acontecerem em feixe tubular, tampas espelhos de condensadores e em enchimentos das torres.

A concentração dos sais acontece devido ao processo de funcionamento do sistema de condensação onde as torres de resfriamento são responsáveis pela troca de calor entre o ar e a água de recirculação. Nesse momento acontece formação de vapor d'água, aumentando a concentração dos sais dissolvidos na água de circulação. Dessa forma, se faz necessário o controle da concentração desses sais, pois estes são responsáveis por vários problemas em sistema de condensação que vão desde a redução de vida útil do equipamento, deterioração do desempenho dos equipamentos e sua consequente redução da eficiência energética dos sistemas centrais de água gelada.

No sentido de mitigar os problemas aqui apresentados, sugere-se as seguintes ações:

- 1 - Conhecer os componentes relevantes contidos na água de reposição (make-up)*
- 2 - Melhorar ao máximo as características físico-químicas da água de reposição (make-up)*
- 3 - Limitar o valor do ciclo de concentração do sistema de condensação por meio de purgas programadas (desconcentração)*
- 4 - Uso de dispersantes específicos para não permitir que os cristais incrustantes se depositem nas superfícies dos trocadores de calor.*

REFERÊNCIAS

- AHRI. 2015.** AHRI Standard 551/591 (SI). Standard for Performance Rating of Water- chilling and Heat Pump Water-heating Packages Using the Vapor Compression Cycle, 127 páginas.
- Baraldi, A. 2011.** Monitoramento do desempenho térmico de trocadores de calor duplo tubo de uma planta Slurry. Trabalho de conclusão de graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Disponível: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/38558>, acesso: 01/06/2021.
- Dincer, I. 2003.** Refrigeration systems and applications. Editora John Wiley&Sons, 595 páginas.
- DOE. 2020.** Department of Energy. Energy Plus Engineering Reference, 1732 páginas. Essel. Cursos Essel Online. Capítulo 3: Trocadores de calor. Disponível em <https://essel.com.br/cursos/material/03/CAP3.pdf>, acesso em 26 de abril de 2021.
- Ishiyama, E. M., Coletti, F., Macchietto, S., Paterson, W.R, Wilson, D.I. 2010.** Impact of deposit ageing on thermal fouling: Lumped parameter model. AIChE Journal, Vol. 56, nº 2, fevereiro, páginas 531-545.
- Kakaç, s. 1991. Boilers, Evaporators & Condensers. Editora John Willey& Sons, ISBN: 0- 471-62170-6, 851 páginas.
- Knudsen, J. G. 1984.** Fouling of heat exchangers: Are we solving the problem? Chem. Eng. Prog., vol. 80, pages. 63-69.
- Mancuso, P. C. 2001** Reúso de água para torres de resfriamento. e-Coleções FSP/USP, Disponível em: <http://colecoes.sibi.usp.br/fsp/items/show/2389>, acesso em 01/06/2021.
- MMA (Ministério do Meio Ambiente).2017. Manual sobre Sistemas de Água Gelada – Vol. I, 112 páginas.
- NREL. 2018.** National Renewable Energy Laboratory. Disponível: <https://www.openstudio.net/>, acesso em : 20/05/2021.

Rozental, L. Y. 1999. Avaliação de Tratamentos de Água de Sistemas de Refrigeração semi-abertos por Meio de Medidas Eletroquímicas. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Sauders, E. A .D ,. Heat exchangers: Selection design and construcion. John Wiley & Sons, New York, 1988.

Swamee, P. K., Aggarwal, N., Aggarwal, V. 2007. Optimum design of double pipe heat exchanger, International Journal of Heat and Mass Transfer, páginas 2260-2266, DOI:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2007.10.028.

Trimble. 2018. Software documentation. Disponível: <https://www.sketchup.com/pt-BR>, Acesso: 20/05/201.

Venturini, O. J. 2005. Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial comercial. Eletrobrás/Procel, 315 páginas.

Artigo apresentado no XVI CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR.

6 - ESTUDO DE CASO EFEITO DAS INCRUSTAÇÕES NA PERFORMANCE ENERGÉTICA DE *CHILLERS* CENTRÍFUGOS

Por Anderson Doms

INTRODUÇÃO

A eficiência energética é um tema que vem recebendo cada vez mais destaque no cenário social atual, já que os recursos naturais se tornam cada vez mais escassos. Além disso, as diretrizes ambientais requerem um consumo energético mais otimizado e consciente.

Para otimizar o consumo energético é necessário realizar um levantamento da distribuição de energia elétrica em um processo, sendo possível identificar as principais máquinas consumidoras da planta. Desse modo, é possível delimitar e atuar de forma efetiva na otimização do consumo energético.

Na área industrial os focos principais de consumo energético são: compressores, ventiladores, bombas, exaustores e correias. Cerca de 64% do consumo industrial está distribuído entre esses consumidores.

Nesse sentido, os chillers atuam de forma determinante nessa parcela de consumo energético, visto que são equipamentos que produzem frio a partir do consumo de energia elétrica por motores e compressores.

REFERENCIAL TEÓRICO

DEFINIÇÕES *CHILLER*

Chillers são equipamentos destinados a produzir refrigeração mecânica a partir da compressão contínua dos vapores utilizando fluidos refrigerantes.

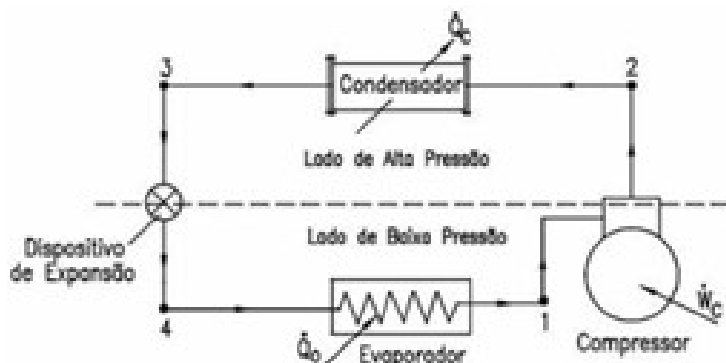
Nesse tipo de sistema, a vaporização no trocador de calor do evaporador é responsável por remover o calor do processo, através do calor latente.

Ao passo em que o fluido refrigerante evapora, a pressão interna no vaso aumenta até a temperatura de saturação na pressão de operação do equipamento. A partir disso, os efeitos de resfriamento cessam.

Para que o vapor do refrigerante se converta ao seu estado líquido, é necessário ser resfriado e condensado. Para esse processo utiliza-se trocadores de calor, onde o vapor comprimido (superaquecido e com alta pressão) irá trocar calor com o ar ou água.

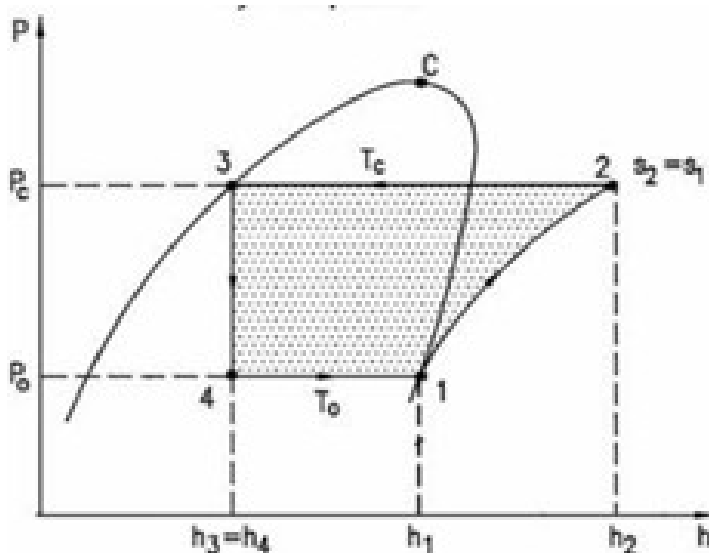
Por fim, o refrigerante ao ser liquefeito irá ser direcionado para uma válvula de expansão, onde irá ocorrer a queda efetiva na temperatura e pressão do fluido refrigerante.

Figura 1: Ciclo de refrigeração por compressão de vapor.



A refrigeração por compressão de vapor é o método mais utilizado para condicionamento térmico, resfriamento e congelamento de produtos.

Figura 2: Ciclo de Refrigeração Téorico.



De conhecimento do fluxo interno e funcionamento de um *chiller*, é possível notar que o compressor é um importante elemento no ciclo de refrigeração. Sua função é aumentar a pressão do vapor refrigerante oriundo do evaporador e promover a sua devida recirculação no sistema.

Os compressores são divididos nas seguintes categorias: alternativo, centrífugo, parafuso, palhetas e *scroll*. A partir da quantidade de TR (capacidade de refrigeração) é definido o tipo de compressor a ser utilizado.

Esses tipos de compressores se dividem em dois grandes grupos, os de deslocamento positivo e os dinâmicos.

Compressores de deslocamento positivo atuam no aumento da pressão de um volume determinado de gás, a partir da redução do volume de uma câmara, através de uma força mecânica aplicada. Nesse grupo estão os compressores alternativos, parafuso, palhetas e *scroll*.

Já para compressores dinâmicos, o aumento da pressão ocorre a partir da conversão da pressão dinâmica em estática. Isto ocorre a partir da conversão da energia cinética em entalpia, e consequentemente ocorre o aumento da pressão do gás. Os compressores centrífugos estão nesse grupo.

A partir das definições acima descritas, é preciso definir o COP (Coeficiente de Performance) do ciclo de refrigeração.

Figura 3: Cálculo do COP.

$$\text{COP} = \frac{\text{Energia Útil}}{\text{Energia Gasta}} = \frac{\dot{Q}_o}{\dot{W}_c} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

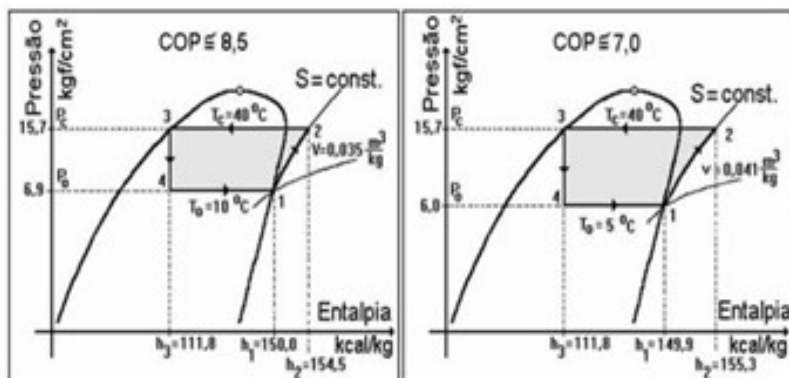
O COP é definido como a relação entre energia útil produzida (carga térmica removida) e energia elétrica requerida no compressor. Valores mais alto de COP permitem operações mais eficientes em termos de consumo de energia, visto que a produção de frio será maior com um consumo energético menor.

Para mantermos a operação de forma eficaz do *chiller*, é necessário manter o COP mais próximo possível do projetado pelo fabricante. Os fatores que afetam o COP são descritos a seguir.

1. Pressão de Sucção – Temperatura de evaporação

Temperaturas mais baixas no processo de evaporação (líquido refrigerante/processo), reduz a pressão de sucção do sistema. Como resultado, o trabalho de compressão aumenta em função da oscilação positiva do ΔP .

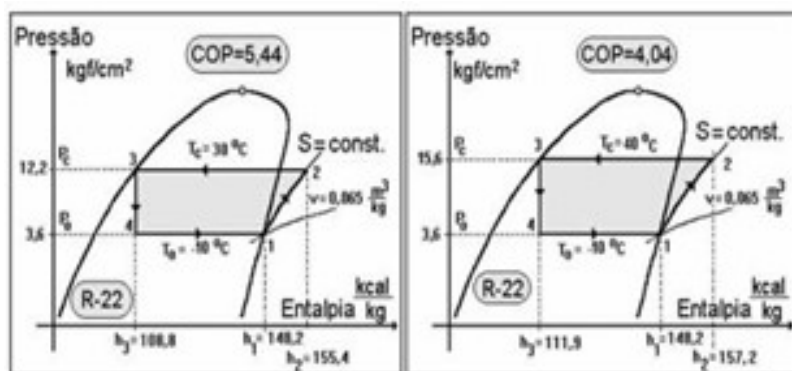
Figura 4: Influência da temperatura de evaporação no COP do ciclo



2. Pressão de Sucção – Temperatura de evaporação

De maneira semelhante ao evaporador, o aumento na temperatura de condensação (gás refrigerante/ água de resfriamento) causa um respectivo ganho de pressão. Desse modo, o trabalho requerido pelo compressor aumenta devido a oscilação positiva no ΔP .

Figura 5: Influência da temperatura de evaporação no COP do ciclo



3. Gradiente Térmico – LMTD do condensador

A força motriz da transferência de energia é função do LMTD (diferença de temperatura média logarítmica) entre os fluidos no trocador de calor. Valores mais altos dessa variável permitem que a capacidade de troca térmica entre as correntes seja maior, reduzindo o approach no condensador do *chiller* e por consequência a pressão de descarga (maior COP).

Dessa forma, o trabalho de compressão do gás refrigerante tende a ser menor, possibilitando a redução no consumo de energia.

Figura 6: Equação do LMTD para trocadores de calor com co-corrente.

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_e - \Delta T_s}{\ln\left(\frac{\Delta T_e}{\Delta T_s}\right)} = \frac{(T_{AE} - T_{BE}) - (T_{AS} - T_{BS})}{\ln\left(\frac{T_{AE} - T_{BE}}{T_{AS} - T_{BS}}\right)}$$

Figura 7: Equação do LMTD para trocadores de calor com co-corrente.

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_e - \Delta T_s}{\ln\left(\frac{\Delta T_e}{\Delta T_s}\right)} = \frac{(T_{AE} - T_{BS}) - (T_{AS} - T_{BE})}{\ln\left(\frac{T_{AE} - T_{BS}}{T_{AS} - T_{BE}}\right)}$$

Por fim, é preciso definir a eficiência de um *chiller*. Esta variável é definida como a quantidade de energia elétrica requerida para se conseguir uma tonelada de refrigeração - E(kWh/TR).

Valores mais baixos de eficiência aumentam a performance energética do *chiller*, visto que menor consumo de energia será requerido para produzir uma tonelada de refrigeração.

TRATAMENTO DE ÁGUA

PARA SISTEMAS DE RESFRIAMENTO

Para *chillers* que utilizam água de resfriamento (torres de resfriamento) para condensar o gás refrigerante, é necessário dimensionar um sistema de tratamento químico eficiente. Visto que, o aumento na temperatura de condensação reduz o COP do sistema.

O adequado tratamento da água de resfriamento é função da qualidade da água de *make-up* e características do processo (carga térmica, vazão de recirculação de água/ar, tipos de metalurgia, volume do sistema, ciclo de concentração alvo e temperaturas de película).

Se o tratamento de água no sistema de resfriamento não for adequado, os processos de deposição, incrustação, *biofouling* (formação de biofilme oriundo do crescimento exacerbado de bactérias) e corrosão ocorrerão.

Em zonas de troca térmica, como é o condensador do chiller, os processos de incrustação e deposição tendem a ser acentuados. Isto ocorre devido a redução da solubilidade de sais a base de cálcio e magnésio em zonas quentes, além disso, a perda de carga da região possibilita que os depósitos presentes se sedimentem.

Já para processos biológicos, a formação de biofilme sobre a superfície metálica também poderá ocorrer, visto que a temperatura de película tende a ser mais branda em *chillers*.

Todos esses processos químicos, físicos e biológicos contribuem para o isolamento térmico do trocador de calor. Como resultado, a temperatura de condensação do *chiller* tende a aumentar, causando um respectivo aumento na pressão de descarga. Desse modo, o COP do sistema diminui resultando um aumento no consumo de energia elétrica do equipamento.

Figura 8: Fatores de incremento no consumo de energia do chiller.

<i>Fouling / Scale</i>	Espessura (mm)	Consumo Adicional de E.?
Microbiologia	0,2	5,3%
Microbiologia	0,6	21,5%
CaCO ₃	1,0	3,5 a 5,0%
CaCO ₃	3,0	11,0 a 15%

METODOLOGIA

Para o estudo de caso, foi analisado o *chiller*

Este equipamento possui a maior carga de trabalho em relação aos demais, além disso, é o equipamento que possui mais horas em operação na planta.

Nesse contexto, a tendência em ocorrer os processos de incrustação, deposição, *biofouling* e corrosão tendem a ser maiores no *chiller* 5.

O *chiller* estudado apresenta as seguintes características de projeto:

- *COP Design (75% Load Request) = 5,36;*
- *E (kWh/TR) = 0,66;*
- *Approach Máximo (°C) = 3;*
- *TR = 2091;*
- *Qm Evaporador (L/s) = 175,9;*
- *Temperatura de Entrada – Água Gelada (°C) = 16;*
- *Temperatura de Saída – Água Gelada (°C) = 6;*

Para cálculos de balanço de massa e ciclo de concentração ótimo, foram levantados os dados da torre de resfriamento que atende o *chiller* 5, que são:

- *Vazão de Recirculação (m³/h) = 989;*
- *Volume (m³) = 650;*
- *dT (°C) = 4,2;*
- *Tipos de Metalurgia - Aço carbono / Cobre;*

A água que alimenta as torres de resfriamento foi coletada e analisada, apresentando as seguintes características:

Quadro 1: Características Físico-Químicas da água de alimentação das torres de resfriamento.

Variável	Concentração (ppm)
pH	7,98
Condutividade (uS/cm)	79,75
Alcalinidade Total (ppm CaCO ₃)	18
Ferro Total (ppm Fe)	0,13
Sílica (ppm SiO ₂)	0,04
Dureza Total (ppm CaCO ₃)	24
Cloretos (ppm Cl ⁻)	18
Ortofosfato (ppm PO ₄ ³⁻)	0,1
Sulfato (ppm SO ₄ ²⁻)	0,5

Para simular as tendências comportamentais da água das torres de resfriamento no condensador do *chiller*, foi utilizado o software “CWO” (*Cooling Water Optimizer*), de uso proprietário da Nalco Water.

Com base nos dados descritos acima, foram simulados cenários com o ciclo de concentração acima do máximo permissível para o sistema, sem a aplicação de nenhum tipo de químico inibidor de corrosão/incrustação e biocidas.

O balanço de massa e de energia para a torre de resfriamento, apresentou os seguintes resultados:

Quadro 2: Balanço de massa e energia da torre de resfriamento.

Balanço de Massa/Energia Torre de Resfriamento	
Alimentação (m ³ /h)	8,473752
Evaporação (m ³ /h)	6,355314
Purga (m ³ /h)	2,118438
HTI (h)	212,6782
cp (Kcal/Kg.°C)	1
Q (kcal/h)	1153,833

Neste cenário, os resultados das simulações apresentaram a presença de sais à base de fosfato de cálcio e alto HTI.

Figura 9: Tendências de incrustações no sistema de resfriamento.

✗ Unsuccessful

CaPO₄ (4 subscript)/Trace Ion Inhibition

Recommendation: No calcium phosphate or trace ion scaling problems were identified. However, a minimum dispersant dosage of 3 ppm is recommended for system cleanliness. There is no dispersant polymer present. Scale Temperature is 122°F. Model predictions are less reliable for Ca < 200 ppm as CaCO₂ (2 subscript)

✗ Unsuccessful

HTI Limits

Recommendation: Fouling considerations typically limit Holding Time Index to under 150 hours. Current Holding Time Index of 213 hours is too high. Decrease cycles.

O fosfato de cálcio tende a incrustar em zonas de transferência térmica, devido à sua baixa solubilidade em altas temperaturas. A depender da espessura da incrustação formada sobre o trocador de calor, o fator de incremento de energia pode ser de até 15%.

O HTI acima do máximo permissível tende a catalisar os processos de deposição e crescimento microbológico. Isto ocorre devido ao acúmulo de sólidos em suspensão na água de resfriamento, tendendo a depositar em zonas de perda de carga.

Além disso, quando o HTI do sistema é alto a quantidade de substrato em meio aquoso aumenta consideravelmente, acelerando o crescimento microbológico. Mesmo em espessuras mais baixas em comparação com as incrustações inorgânicas, o fator de incremento de energia pode chegar a 21,5%.

Para o estudo em questão, foi considerado a espessura de 1 mm de incrustação para fosfato de cálcio e 0,2 mm para o *biofouling*.

Avaliando a performance operacional do *chiller* em estudo, constatamos os seguintes resultados:

Quadro 3: Índices de performance do *chiller*.

Data	Approach (°C)	COP (kw)	TR	E (kw/TR)
jan/22	2	4,944246982	1654	0,64
fev/22	3,05	4,838780065	1900	0,66
mar/22	1,7	5,420385768	1900	0,58
abr/22	1,8	4,791122753	1804	0,66
mai/22	1,1	4,86938538	1716	0,66
jun/22	1,5	4,841335613	1782	0,64
jul/22	2,2	5,109149833	1963	0,62
ago/22	2	5,109149833	1963	0,62
set/22	1,3	4,994637457	1846	0,61
out/22	1,7	5,420385768	1900	0,58
nov/22	0,8	5,547406557	1858	0,63
dez/22	2,1	5,261211454	1892	0,6

Ao simularmos o fator de incremento indicado pelas simulações da ferramenta, o consumo energético do equipamento seria:

Quadro 4: Incremento no consumo de energia elétrica por influência de incrustações inorgânicas/orgânicas.

Data	E (kw/TR) Real	E (kw/TR) Simulado	TR	E.E (kw) Real	E.E (kw) Simulado
jan/22	0,64	0,69632	1654	1058,56	1151,71328
fev/22	0,66	0,71808	1900	1254	1364,352
mar/22	0,58	0,63104	1900	1102	1198,976
abr/22	0,66	0,71808	1804	1190,64	1295,41632
mai/22	0,66	0,71808	1716	1132,56	1232,22528
jun/22	0,64	0,69632	1782	1140,48	1240,84224
jul/22	0,62	0,67456	1963	1217,06	1324,16128
ago/22	0,62	0,67456	1963	1217,06	1324,16128
set/22	0,61	0,66368	1846	1126,06	1225,15328
out/22	0,58	0,63104	1900	1102	1198,976
nov/22	0,63	0,68544	1858	1170,54	1273,54752
dez/22	0,6	0,6528	1892	1135,2	1235,0976

Considerando o valor (R\$/Kw) da planta em 0,75, o incremento no consumo de energia é relatado no quadro a seguir:

Quadro 5: R\$/kW mensal.

Data	R\$/mês - Real		R\$/mês - Simulado	
jan/22	R\$	793,92	R\$	863,78
fev/22	R\$	940,50	R\$	1.023,26
mar/22	R\$	826,50	R\$	899,23
abr/22	R\$	892,98	R\$	971,56
mai/22	R\$	849,42	R\$	924,17
jun/22	R\$	855,36	R\$	930,63
jul/22	R\$	912,80	R\$	993,12
ago/22	R\$	912,80	R\$	993,12
set/22	R\$	844,55	R\$	918,86
out/22	R\$	826,50	R\$	899,23
nov/22	R\$	877,91	R\$	955,16
dez/22	R\$	851,40	R\$	926,32

CONCLUSÃO

Para manter a eficiência energética de *chillers* centrífugos operando com água para condensação do fluido refrigerante, é necessário que o tratamento de água seja eficaz.

A presença de contaminantes indesejados na água de resfriamento, causa perdas na performance da máquina, tornando o consumo de energia maior do que o requerido para o processo.

Desse modo, um bom dimensionamento do programa químico aplicado à água de resfriamento e uma correta operação do *chiller*, evitam custos adicionais à produção de frio da planta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração industrial e comercial.

2 BIANCHI R. B.; FARIA. V. R.; OLIVEIRA. P. G. R.; SANTOS. A. C.; SILVA. S. F. P. Estudo Comparativo entre a Eficiência Energética de Compressores Operando com Ar em Diferentes Temperaturas. XI CEEL, Minas Gerais-MG, 2013.

3 COSTA, E.C. Refrigeração. 3. Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.

4 FLYNN. D. J. The Nalco Water Handbook. 3. Ed. 2009.

7 - COMO OBTER MELHOR EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SEU SISTEMA DE AR-CONDICIONADO E TAMBÉM SE BENEFICIAR DE SEUS EFEITOS COLATERAIS

Por Alexandre Alberico

RESUMO

Esta forma de trabalho que apresentaremos não é um simples comissionamento do sistema: colocar o sistema de ar-condicionado em conformidade com o projeto.

É uma revisão geral no projeto implantado e reajustes nos parâmetros dos equipamentos existentes para o objetivo requerido – substituições serão sugeridas para aqueles que, comprovadamente, se mostrarem inadequados.

Os passos iniciais serão o recálculo da carga térmica, para eliminar possíveis excedentes a serem combatidos, e as medições/ajustes nas eletrobombas de água, para que transportem a vazão correta conforme o projeto existente.

Geralmente, excessos de 20% a 30% são encontrados entre a carga térmica real calculada e os equipamentos instalados.

(É comum encontrarmos clientes que dizem que “de três resfriadores instalados, somente dois operam durante o ano”).

Eliminados os excessos, vazões de ar e de água podem ser reduzidas através de inversores de frequência, e assim, o consumo de energia também será reduzido (grosso modo, com inversores, a nova potência consumida será proporcional à razão cúbica da relação de vazões).

Os excessos de ar eliminados permitem menor velocidade de face nas serpentinas dos *fan coils*, e, em conjunto com a avaliação das características construtivas, podem-se ajustar novos parâmetros de temperaturas, que melhorarão o consumo dos resfriadores.

Ajustes nas temperaturas de ar, água gelada e água fornecida pelas torres de arrefecimento podem resultar em 10% a 15% de menor consumo dos resfriadores e, portanto, do sistema todo. Tudo isso sem pensar em substituir os resfriadores antigos existentes.

(Se necessário, substituir, pois temperaturas mais altas de água gelada permitem uma maior eficiência dos resfriadores – (COP 6 para resfriadores com compressor parafuso, o que é incomum COP = energia térmica produzida em kW/energia elétrica consumida em kW, ou seja, quanto maior o COP, mais eficiente é a máquina).

O que fazemos é ajustar todos os equipamentos para consumir a energia mínima para atender à demanda térmica flutuante.

Explicando: sabe-se que a demanda térmica de um ambiente flutua de forma senoidal diariamente *(são variáveis a incidência solar, o fluxo de pessoas, a utilização de equipamentos, a iluminação).*

Essa transferência (senoidal) de energia térmica-elétrica já ocorre em sistemas com caixas de volume variável: diminuindo a vazão de ar, a pressão maior provocada no duto resulta na variação de velocidade do motor, que gerenciado pelo inversor de frequência, consome menos energia.

A mesma transferência ocorre nas bombas de água gelada secundárias, cujos motores são provido com inversores de frequência.

Hoje, conseguimos também transferir esse conceito para as bombas de água de condensação que, diga-se de passagem, costumam ser o segundo maior consumidor de energia, depois dos resfriadores.

Os motores das torres, também providos de inversores de frequência, e os reajustes de vazões e temperaturas efetuados, completam o ciclo para se obter o menor consumo de energia diante das demandas térmicas variáveis diariamente.

BENEFÍCIOS QUE PODEM SER OBTIDOS DOS EFEITOS COLATERAIS DO SEU SISTEMA DE AR-CONDICIONADO

1 APLICADOS EM GRANDES SISTEMAS QUE NECESSITAM DE GRANDES VAZÕES DE AR EXTERNO - SHOPPINGS, HOTÉIS, GRANDES CENTROS EMPRESARIAIS.

- A massa de ar externo, necessária para oxigenação dos ambientes e introduzida continuamente, é submetida pelo sistema ao tratamento comum, sendo resfriada e desumidificada.

Essa massa é continuamente injetada no ambiente e, após cumprir sua função, é expulsa (por sobrepressão) ao exterior, sem que sua energia residual tenha sido aproveitada.

Essa massa, agora com energia “fria”, pois está na temperatura ambiente, pode também contribuir para resfriar a parcela de ar externo subsequente: de 33°C ou 34°C, úmidos, rebaixando-a para 27°C ou 26°C, proporcionando menor esforço da central de produção de frio, que assim, obviamente, consumirá menos energia elétrica.

- A mesma massa, quando em seu processo inicial de desumidificação, pode fornecer água em grande ou média escala.

Captura-se essa água que, com o correto beneficiamento, pode ser reutilizada para outras finalidades, como limpeza de áreas, reúso em sanitários e até alimentação da água evaporada pelo equipamento de ar-condicionado.

Aplicado em empreendimentos que necessitam de água quente.

Este processo pré-aquece com custo operacional ZERO para levar a água da concessionária de 20°C para 34°C, economizando insumo para o aquecimento total até 40°C ou mais.

- A energia calorífica removida é transportada através dos veículos “ar / refrigerante / água” e expulsa para o exterior.

Essa energia pode ser capturada e utilizada para pré-aquecer novas vazões de água necessárias para chuveiros, cozinhas, restaurantes e outras utilidades, reduzindo assim os gastos que seu empreendimento já tem com aquecimento de água, seja por energia elétrica ou gás.

INSTRUMENTAÇÃO PRÓPRIA QUE UTILIZAMOS

- **MANÔMETRO DE PRECISÃO**
- **AMPERÍMETRO**
- **VOLTÍMETRO**
- **ANEMÔMETRO**
- **SENSOR DE TEMPERATURA**
- **TACÔMETRO**
- **SENSOR DE VAZÃO DE FIO QUENTE**
- **TERMOPAR DE CONTATO PARA TEMPERATURAS**
- **TERMO-HIGRÔMETRO**
- **CÂMERA TERMOGRÁFICA (INFRARED) COM REGISTRO FOTOGRÁFICO**
- *Comissione seu sistema de ar-condicionado colocando-o conforme eficiência energética projetada.*
- *Registre a energia elétrica que consome para produzir a “Tonelada de Refrigeração” requerida (kW/TR).*
- *Recomissione o sistema reajustando o equipamento para operação com outros parâmetros de vazões de água / ar / temperatura, de modo a perseguir a supraeficiência energética.*
- *Registre e compare o novo índice kW/TR.*
- *Contrate empresa que tenha profissionais com larga experiência em projetos e instalações de ar-condicionado*

Para se obter resultados consistentes, é necessário ter experiência nos diversos processos.

SISTEMAS NOVOS A SEREM IMPLANTADOS OU RETROFITS

Na necessidade de *retrofit*, muitos administradores são induzidos a uma decisão errada, pois os técnicos que o apoiam mostram-lhes resultados grafados em plaquetas de equipamentos autônomos individuais de pequeno e médio porte.

Esses equipamentos fabricam e distribuem frio para pequenas áreas, e sua fabricação tem tamanhos padronizados, ou seja, quando a demanda térmica coincide com a capacidade máxima, vale o dado de plaqueta.

Quando a demanda excede o disponível em um determinado modelo/capacidade, o técnico instala modelo/capacidade imediatamente acima, ou seja, se a demanda é para atender 17 TR, um aparelho de 20 é instalado, pois não há padrão para 17 TR.

Em grandes prédios, há de se constatar uma carga excessiva de kW instalados, onerando toda a infraestrutura elétrica.

(Há alguns assim, em São Paulo, com 50% maior do que a prevista em sistema centrais de ar-condicionado.)

Ao se optar por sistemas centrais, registradores individuais de consumo térmico/elétrico podem ser instalados para cada condômino, possibilitando a correta determinação de custos para cada usuário.

A seguir, para quem se interessa, transcrevemos um pouco da evolução técnica que os sistemas de ar-condicionado sofreram ao longo dos tempos.

Começamos nossas atividades na CEBEC, em 1976, com projetos e instalações de grande porte. Naquela época, as concepções de projetos eram bem diferentes de hoje. Não havia caixas de volume variável e válvulas de balanceamento, e inversores de frequência eram caros e só usados na indústria.

O “frio” produzido pela central de água gelada era veiculado por bombas de vazão constante até os *fan coils*, que modulavam essa energia através de válvulas de três vias.

Em qualquer instalação, toda a massa de água era veiculada pelo prédio todo e, em grande parte, desnecessariamente.

Em prédios altos, usava-se um terceiro tubo vertical para equilibrar a distribuição de água: o último *fan coil* a receber água era o primeiro a desaguar.

O insuflamento de ar era feito com vazão constante nas salas. O sensor (elétrico) de temperatura que acionava a válvula de três vias era colocado em uma das salas, ou então, no fluxo de ar de retorno comum de todas as salas.

As caixas de volume variável de ar chegaram ao Brasil em 1976/77 e tiveram seu projeto tropicalizado pelo Eng. O. Bueno, então gerente de produtos da Starco, do mesmo grupo da CEBEC. Em 1977, fizemos projeto e instalação da (talvez) primeira obra do Brasil com esse sistema.

Um Ministério de Brasília, à época Ministério da Previdência e Assistência Social (MPAS), com três grandes condicionadores de alvenaria no subsolo - cada um com 120.000 CFM, 6 pol. wg de pressão, 150 HP, dutos verticais de alta velocidade, 25 m/s, e insuflamento em baixa velocidade por caixas de VAV já nacionalizadas.

Para redução de consumo de energia, usamos inlet vanes nas bocas de sucção dos ventiladores. Estes dispositivos transferiam o acréscimo de pressão no duto, provocado pelo fechamento das caixas para a linha de retorno do ar.

Com diferencial de pressão do ventilador tornado constante, qualquer redução de vazão de ar implica em redução de consumo de energia pelo motor do equipamento.

Era o conceito da modulação (senoidal) da demanda térmica diária, transformado em benefício do consumo de energia.

Na mesma década, além dos inversores de frequências, surgiram válvulas de balanceamento - eliminando-se a necessidade do terceiro tubo - e as válvulas de duas vias.

Com estas, surgiu a necessidade de criação do sistema secundário de água gelada: o primário, de menor potência instalada, era de vazão constante para atender ao requerido pelos resfriadores, e o secundário, com inversor de frequências, para permitir o menor consumo de energia nas baixas demandas térmicas.

Nota-se a perseguição contínua à melhor eficiência energética.

No final dos anos 1990, início de 2000, surgiram os resfriadores com velocidade variável de água gelada, eliminando-se, assim, os sistemas de bombeamento secundário.

A concepção simplificou-se como a primeira, só que incorporando a vantagem do menor consumo energético nas baixas demandas.

Hoje, estamos transferindo o conceito de flutuação para as bombas de condensação, que são as segundas maiores consumidoras em grandes sistemas de ar-condicionado.

8 - BENEFÍCIOS DO MONITORAMENTO CONTÍNUO DOS INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO DE CONDENSAÇÃO À ÁGUA COM FOCO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Por Rodrigo Ferreira dos Santos

INTRODUÇÃO

Os sistemas de refrigeração que utilizam centrais de condensação à água são amplamente reconhecidos por sua eficiência energética, especialmente em aplicações de grande escala, como edifícios comerciais e indústrias. No entanto, para que esses sistemas operem com máxima eficiência, o tratamento adequado da água nas torres de resfriamento é essencial. Este artigo explora como o tratamento da água em sistemas de torres de resfriamento influencia diretamente a eficiência energética dos sistemas de refrigeração e como a implementação de tecnologias de monitoramento IoT pode otimizar a operação e a eficiência.

A RELAÇÃO ENTRE O TRATAMENTO DE ÁGUA E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.

Em sistemas de *chillers* com condensação à água, a torre de resfriamento é responsável por remover o calor gerado pelo processo de refrigeração. A qualidade da água utilizada no sistema é um fator crítico, pois impurezas, depósitos de minerais e crescimento biológico podem afetar a eficiência térmica da torre e, conseqüentemente, do *chiller*.

Problemas causados pela deficiência em programas de qualidade da água:

- **Incrustações:** *Depósitos de minerais, como cálcio e magnésio, nas superfícies de troca térmica, reduzem a capacidade do sistema de dissipar calor de forma eficiente. A presença de incrustações pode aumentar o consumo de energia do chiller para cada milímetro de depósito acumulado.*
- **Corrosão:** *A água não tratada adequadamente pode provocar a corrosão dos componentes do sistema, diminuindo a vida útil dos equipamentos e comprometendo o desempenho energético.*

- **Biofilmes:** O crescimento de microrganismos na água pode gerar biofilmes que aumentam a resistência térmica e pioram a troca de calor, levando o sistema a trabalhar mais para alcançar a mesma capacidade de resfriamento, resultando em maior consumo de energia.

Dado o impacto direto que a qualidade da água tem na eficiência energética, o tratamento adequado da água é crucial. Um sistema eficiente de tratamento deve incluir a remoção de sólidos suspensos, controle da alcalinidade e dureza, e inibidores de corrosão e crescimento biológico.

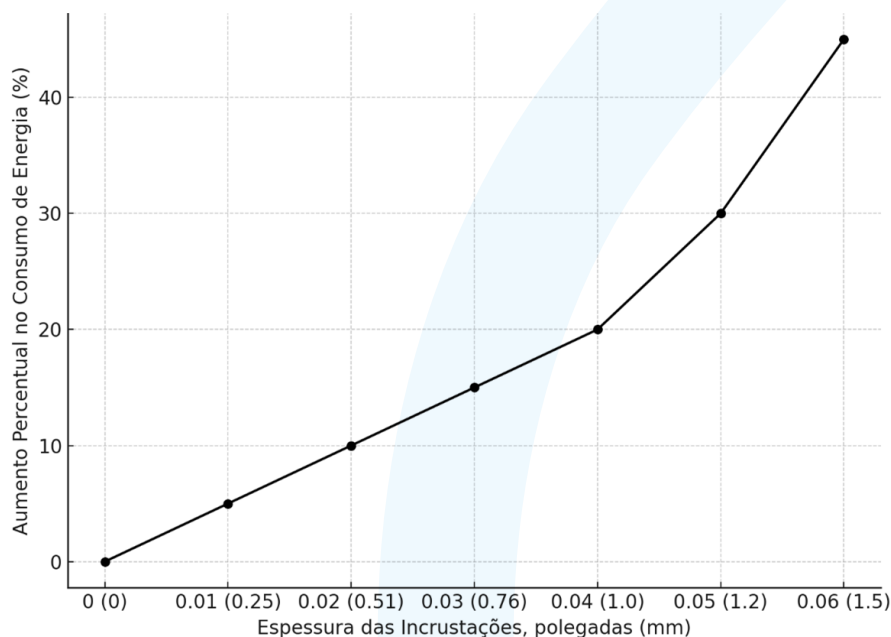
A RELAÇÃO ENTRE O TRATAMENTO DE ÁGUA E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.

A presença de incrustações de minerais, como cálcio, nas superfícies de troca térmica, impede a transferência eficiente de calor, resultando em um aumento do consumo de energia. Segundo estudos, uma camada de 0,03 polegadas (0,76 mm) de incrustação pode aumentar o consumo energético em até 27%.

Esse tipo de depósito forma uma barreira isolante que dificulta a dissipação do calor, forçando o *chiller* a operar em uma capacidade maior do que o necessário.

O gráfico 01 mostra a relação do aumento da camada de incrustação com o aumento do uso de energia:

Gráfico 01 – Aumento percentual no consumo de energia vs espessura das incrustações.



Fonte: Adaptado de MYERS, 2006.

As incrustações afetam diretamente a eficiência de sistemas de refrigeração, como os *chillers* com condensação à água, causando uma série de problemas operacionais que impactam tanto o consumo de energia quanto o desempenho geral do sistema. Abaixo, detalho como essas incrustações afetam o sistema:

REDUÇÃO NA EFICIÊNCIA DA TROCA DE CALOR

As incrustações são depósitos de minerais, como cálcio e magnésio, que se acumulam nas superfícies dos trocadores de calor. Esses depósitos criam uma camada isolante, impedindo que o calor seja transferido de maneira eficaz entre a água e o ar ou entre a água e o refrigerante.

Quando isso acontece, o sistema precisa trabalhar mais para atingir a mesma capacidade de resfriamento.

AUMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA

Para compensar a redução da capacidade de troca térmica causada pelas incrustações, o compressor do *chiller* precisa trabalhar mais, aumentando a demanda por eletricidade. A energia extra necessária para operar o compressor pode ser significativa, dependendo da espessura e extensão da incrustação.

SOBRECARGA E DESGASTE DOS EQUIPAMENTOS

Além do aumento no consumo de energia, a presença de incrustações causa sobrecarga nos componentes mecânicos, como o compressor e as bombas de água. Esses equipamentos operam em condições mais difíceis, levando a um desgaste acelerado.

DIMINUIÇÃO DA CAPACIDADE DE RESFRIAMENTO

Com a redução da eficiência da troca de calor, o sistema não consegue resfriar a água de maneira eficaz. Isso significa que o *chiller* pode não atingir a capacidade de resfriamento desejada, resultando em menor controle sobre as temperaturas internas, o que pode prejudicar a operação de processos industriais ou o conforto em edifícios.

AUMENTO DOS CICLOS DE PURGA

A elevação na concentração de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na água aumenta a probabilidade de formação de incrustações, o que exige ciclos de purga mais frequentes para evitar o agravamento do problema.

Esse aumento na purga resulta em maior consumo de água e, consequentemente, em custos operacionais mais elevados.

EFEITOS DA CORROSÃO E DOS MICROBIOLÓGICOS NA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE TORRES DE RESFRIAMENTO

Além das incrustações, outros dois fatores críticos que afetam a eficiência de sistemas de resfriamento por água são a corrosão e o crescimento microbológico. A corrosão compromete a integridade dos componentes metálicos, enquanto os microrganismos, como bactérias e algas, formam biofilmes

que afetam a troca térmica e aumentam a necessidade de manutenção. Ambos os problemas têm impacto direto no desempenho do sistema e nos custos operacionais.

CORROSÃO

A corrosão é um dos problemas mais comuns em sistemas de resfriamento por água, especialmente em torres de resfriamento. Ela ocorre quando o metal do sistema (tubulações, trocadores de calor, etc.) reage com substâncias presentes na água, como oxigênio, dióxido de carbono ou cloro, resultando na deterioração do material. Existem dois tipos principais de corrosão.

CORROSÃO UNIFORME

A corrosão uniforme ocorre de maneira mais disseminada e previsível em toda a superfície do metal. O processo gera uma perda gradual de material, o que enfraquece os componentes do sistema.

CORROSÃO LOCALIZADA (PITTING)

O *pitting* é um tipo mais agressivo de corrosão, onde pequenas áreas do metal sofrem degradação intensa, formando buracos ou cavidades. Este tipo de corrosão é mais difícil de detectar e pode causar falhas inesperadas.

CRESCIMENTO MICROBIOLÓGICO E BIOFILMES

O crescimento microbiológico ocorre quando microrganismos, como bactérias, algas e fungos, proliferam no sistema de resfriamento. Isso é especialmente comum em torres de resfriamento, onde o ambiente úmido e quente é ideal para o desenvolvimento de biofilmes.

FORMAÇÃO DE BIOFILMES

Os biofilmes são colônias de microrganismos que se aderem às superfícies de tubulações e trocadores de calor, criando uma camada espessa que impede a troca térmica adequada. O biofilme não só atua como um isolante térmico, mas também pode acelerar a corrosão ao criar microambientes ácidos.

PROBLEMAS ASSOCIADOS A BACTÉRIAS *LEGIONELLA*

A *Legionella* é uma bactéria comumente associada a sistemas de resfriamento. Se não controlada, pode proliferar e causar sérios riscos à saúde humana, resultando em surtos da doença dos legionários.

COMO ESTES PROBLEMAS AFETAM A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA?

- *Diminuição da Transferência de Calor: Tanto a corrosão quanto os biofilmes aumentam a resistência ao fluxo de calor, forçando o sistema a trabalhar mais para atingir a mesma capacidade de resfriamento.*

- **Aumento do Consumo de Energia:** O sistema de refrigeração precisa compensar as perdas de eficiência causadas pela corrosão e pelo crescimento microbológico, o que aumenta o consumo de eletricidade.
- **Custo de Manutenção:** A corrosão severa pode resultar na substituição de componentes do sistema, enquanto a presença de biofilmes pode exigir o uso de produtos químicos mais caros e a interrupção das operações para manutenção.

MONITORAMENTO DOS INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Para garantir que a água do sistema de torre de resfriamento esteja em condições ideais, é fundamental monitorar continuamente os principais indicadores da qualidade da água, como pH, condutividade, dureza, e concentração de sólidos dissolvidos. Esses parâmetros estão diretamente ligados à eficiência energética do sistema, pois qualquer desvio pode resultar em perdas de eficiência.

PRINCIPAIS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA A SEREM MONITORADOS TDS (TOTAL DE SÓLIDOS DISSOLVIDOS)

O TDS indica a quantidade de sólidos dissolvidos na água, incluindo sais minerais, metais e outras partículas. Em sistemas de resfriamento, níveis elevados de TDS aumentam o risco de formação de incrustações e entupimento dos trocadores de calor, o que prejudica a eficiência da torre e eleva o consumo energético.

POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

O pH mede a acidez ou alcalinidade da água. Valores de pH fora da faixa ideal podem causar corrosão (se o pH for muito baixo) ou formação de incrustações (se o pH for muito alto). O equilíbrio do pH é essencial para manter as condições ideais de operação e prevenir danos aos equipamentos.

CONDUTIVIDADE

A condutividade mede a capacidade da água de conduzir eletricidade, que está diretamente relacionada à quantidade de íons dissolvidos (como sais minerais). Níveis elevados de condutividade indicam alta concentração de sólidos dissolvidos, o que aumenta a probabilidade de formação de incrustações.

DUREZA DA ÁGUA (Ca^{2+} , Mg^{2+})

A dureza da água é determinada pela concentração de íons de cálcio e magnésio. A presença elevada desses íons leva à formação de incrustações, que reduzem a eficiência do sistema de troca térmica nas torres de resfriamento.

ALCALINIDADE

A alcalinidade é uma medida da capacidade da água de neutralizar ácidos. Ela afeta a estabilidade do pH da água e influencia diretamente o controle da corrosão e formação de incrustações. Monitorar a alcalinidade ajuda a otimizar o tratamento químico da água.

CLORO RESIDUAL

O cloro residual é adicionado à água para evitar o crescimento de bactérias e outros microrganismos. No entanto, níveis excessivos de cloro podem corroer os componentes metálicos da torre de resfriamento. É importante monitorar a dosagem correta.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O MONITORAMENTO CONTÍNUO

Monitorar esses indicadores em tempo real permite que ajustes sejam feitos rapidamente, evitando o acúmulo de problemas que resultariam em aumento do consumo de energia. A manutenção preventiva baseada em dados reduz a necessidade de intervenções corretivas e contribui para manter o sistema operando em sua eficiência ideal.

TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO IoT

Existem várias tecnologias IoT que podem ser utilizadas no monitoramento de sistemas de resfriamento, cada uma com suas vantagens específicas dependendo da aplicação, alcance, consumo de energia e capacidade de transmissão de dados. As três mais utilizadas em sistemas industriais são LoRaWAN, NB-IoT e Sigfox.

LoRaWAN

LoRaWAN é uma tecnologia de comunicação IoT que oferece grande cobertura e baixa potência, o que a torna ideal para instalações industriais distribuídas em grandes áreas. Seu alcance pode chegar a quilômetros de distância, permitindo o monitoramento de sistemas amplos com poucos pontos de acesso. Além disso, a eficiência energética da tecnologia permite que os sensores operem por longos períodos com baterias.

NB-IoT

NB-IoT (Narrowband IoT) é uma tecnologia baseada em redes celulares. Ela utiliza as redes 4G e 5G existentes, permitindo uma cobertura confiável, especialmente em locais onde há boa infraestrutura de telecomunicações. Uma das vantagens do NB-IoT é o seu consumo reduzido de energia, sendo ideal para sensores que transmitem pequenas quantidades de dados.

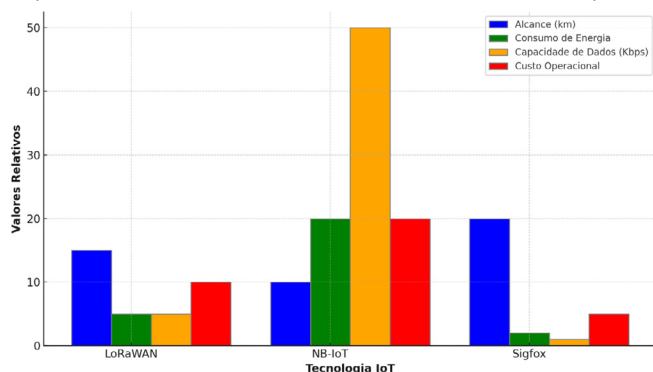
SIGFOX

Sigfox é uma tecnologia de rede que se concentra em comunicações de baixo consumo de energia e transmissão de pequenos pacotes de dados. Embora seu alcance e capacidade de dados sejam

menores em comparação com LoRaWAN e NB-IoT, Sigfox oferece simplicidade e custo-benefício, sendo uma solução popular para instalações onde o tráfego de dados é esporádico e leve.

COMPARATIVO DAS TECNOLOGIAS IoT

O gráfico 02 compara as principais características dessas três tecnologias: alcance, consumo de energia, capacidade de transmissão de dados e custo operacional.



Fonte: Autor

O gráfico 02 mostra o comparativo das tecnologias de comunicação IoT (LoRaWAN, NB-IoT e Sigfox) para monitoramento de sistemas de resfriamento.

- **Alcance (km):** Sigfox tem o maior alcance, sendo ideal para sistemas distribuídos em grandes áreas.
- **Consumo de Energia:** Sigfox se destaca pelo menor consumo de energia, permitindo operações prolongadas em sensores com baterias.
- **Capacidade de Dados (Kbps):** NB-IoT possui a maior capacidade de transmissão de dados, sendo útil para aplicações que demandam maior fluxo de dados.
- **Custo Operacional:** Sigfox é a opção mais econômica, adequada para sistemas que requerem baixo custo e menor tráfego de dados.

Essas comparações podem ajudar a decidir qual tecnologia IoT é mais adequada para o seu sistema de monitoramento de torres de resfriamento.

Para garantir a qualidade da água em sistemas de torres de resfriamento e, conseqüentemente, otimizar a eficiência do sistema de refrigeração, é essencial o monitoramento contínuo de parâmetros críticos que influenciam diretamente a operação do sistema e a durabilidade dos equipamentos.

VANTAGENS DO MONITORAMENTO IOT DA QUALIDADE DA ÁGUA

- **Monitoramento em Tempo Real:** Sensores IoT permitem a coleta de dados de qualidade da água em tempo real, garantindo que qualquer desvio dos parâmetros ideais seja detectado imediatamente. Isso permite ajustes rápidos no tratamento de água, como a adição de produtos químicos ou ajustes na purga.

- **Otimização de Manutenção:** O monitoramento contínuo possibilita a manutenção preventiva. Quando a qualidade da água começa a deteriorar, os operadores podem agir antes que o problema afete a eficiência do sistema.
- **Redução de Custos Operacionais:** A utilização de sensores IoT evita o desperdício de água, ao ajustar automaticamente os ciclos de purga e controlar a reposição de água de forma mais eficiente.
- **Aumento da Vida Útil dos Equipamentos:** Controlar a qualidade da água evita a formação de incrustações e corrosão, prolongando a vida útil dos equipamentos e reduzindo os custos com reparos.

Figura 01 - Fluxograma do processo de monitoramento contínuo.



Fonte: Autor

A figura 01 descreve o processo de monitoramento de qualidade da água em sistemas de resfriamento, utilizando sensores IoT e automação para otimizar o desempenho da torre de resfriamento. Vou detalhar cada etapa do processo representado:

MONITORAMENTO

- Esta etapa inicial envolve o monitoramento contínuo da qualidade da água no sistema de resfriamento, coletando dados essenciais para avaliar a condição da água e a operação da torre.

SENSORES DE QUALIDADE DA ÁGUA: TDS, PH, CONDUTIVIDADE

- São usados sensores IoT para medir parâmetros críticos como:
- TDS (Total de Sólidos Dissolvidos): Indica a quantidade de minerais dissolvidos na água.
- pH: Mede a acidez ou alcalinidade da água.
- Condutividade: Reflete a capacidade da água de conduzir eletricidade, o que está relacionado à quantidade de íons dissolvidos (como sais).

Esses parâmetros são essenciais para evitar problemas como incrustações, corrosão e o crescimento microbiológico:

DADOS TRANSMITIDOS PARA PLATAFORMA IoT

- Os dados coletados pelos sensores são transmitidos em tempo real para uma plataforma IoT, que centraliza a coleta e análise dos dados. Essa plataforma pode ser baseada em tecnologias como LoRaWAN, NB-IoT, ou Sigfox, dependendo da solução adotada.

ANÁLISE DOS DADOS EM TEMPO REAL

- A plataforma IoT processa e analisa os dados em tempo real, comparando os parâmetros coletados com valores ideais ou limites estabelecidos. Se os parâmetros estiverem fora do padrão, a plataforma pode emitir alertas ou tomar ações corretivas.

EMISSÃO DE ALERTA SE PARÂMETROS FORA DO PADRÃO

- Se algum dos parâmetros monitorados (TDS, pH, condutividade) estiver fora da faixa ideal, a plataforma emite um alerta para os operadores ou automaticamente ativa os mecanismos de correção. Isso pode ocorrer quando, por exemplo, os níveis de sólidos dissolvidos estiverem altos, indicando a necessidade de purga.

AJUSTE AUTOMÁTICO DE PRODUTOS QUÍMICOS E PURGA

- Após o alerta, o sistema pode ajustar automaticamente a dosagem de produtos químicos (como inibidores de corrosão ou biocidas) ou realizar uma purga de água. A purga remove água de baixa qualidade, substituindo-a por água de reposição, o que melhora a condição da água no sistema.

OPERAÇÃO OTIMIZADA DA TORRE DE RESFRIAMENTO

- Com os ajustes corretivos implementados, a operação da torre de resfriamento é otimizada, mantendo a eficiência térmica ideal. A qualidade da água é mantida dentro dos parâmetros ideais, prevenindo a formação de incrustações, corrosão, ou crescimento microbológico.

GERAÇÃO DE RELATÓRIOS DE QUALIDADE E CONSUMO DE ÁGUA

- Finalmente, o sistema gera relatórios automáticos sobre a qualidade da água e o consumo de água no sistema de resfriamento. Esses relatórios são úteis para auditorias, análises de eficiência e para garantir que a operação está dentro das conformidades exigidas.

FIM

- O ciclo se encerra, mas o monitoramento contínuo prossegue. O sistema opera de maneira automatizada, garantindo eficiência contínua.

CONTROLE DE CONSUMO DE ÁGUA E EFICIÊNCIA TÉRMICA EM CENTRAIS DE ÁGUA DE CONDENSAÇÃO

Para garantir a eficiência operacional e o uso sustentável da água em uma central de água de condensação, é fundamental monitorar vários pontos de consumo de água. Esses pontos estão diretamente relacionados ao desempenho do sistema de refrigeração e à prevenção de desperdícios.

Abaixo, apresento os principais conceitos que devem ser abordados para o controle eficiente do consumo de água que são influenciados pelo tratamento de água do sistema.

VAZÃO DE ÁGUA DE REPOSIÇÃO

- A água de reposição é a água que entra no sistema para substituir as perdas resultantes da evaporação e da purga. Monitorar a vazão de reposição permite identificar qualquer irregularidade no consumo, como excesso de perda de água, vazamentos, ou ineficiências no processo de resfriamento.

PURGA E CONTROLE DE TDS (SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS)

- A purga é necessária para remover água rica em sólidos dissolvidos (TDS) do sistema e garantir que a qualidade da água seja mantida. O monitoramento frequente da purga ajuda a manter os níveis de TDS controlados, prevenindo a formação de incrustações e otimizando o uso da água.

TDS é um parâmetro importante para medir a concentração de sólidos dissolvidos na água do sistema. Quanto maior o TDS, maior a chance de formação de depósitos minerais nas superfícies de trocadores de calor, o que reduz a eficiência do *chiller*.

PERDAS POR EVAPORAÇÃO

- A evaporação é um processo natural no qual parte da água da torre de resfriamento se transforma em vapor e é perdida para a atmosfera. O volume de água evaporada depende diretamente da carga térmica que está sendo processada. Monitorar essas perdas é importante para identificar desvios no consumo de água e ajustar o sistema conforme necessário.

EFICIÊNCIA DA TORRE DE RESFRIAMENTO

- A eficiência da torre de resfriamento é monitorada pela diferença entre a temperatura da água que entra na torre (água quente) e a temperatura da água que sai (água fria). Esse diferencial, chamado abordagem de temperatura, indica a eficiência da troca de calor. Se a diferença de temperatura for muito pequena, isso pode indicar que a torre não está removendo calor adequadamente, o que exige maior consumo de água.

MONITORAMENTO DE VAZAMENTOS

- Vazamentos em sistemas de refrigeração resultam em grandes perdas de água e eficiência. Implementar sensores IoT para detectar vazamentos em tempo real permite a correção rápida, evitando desperdícios e otimizando o consumo de água.

CONSUMO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO

- Monitorar o consumo total de água de abastecimento fornece uma visão abrangente de toda a água utilizada no sistema, tanto para reposição quanto para processos internos. Esse controle é fundamental para detectar desvios e verificar se o sistema está consumindo água além do esperado.

CICLOS DE CONCENTRAÇÃO

- Os ciclos de concentração representam a relação entre os sólidos dissolvidos na água de reposição e na água circulante. Um ciclo de concentração mais alto significa que o sistema está reutilizando a água de forma mais eficiente. O monitoramento dos ciclos ajuda a determinar a quantidade ideal de purga necessária, evitando o uso excessivo de água.

CONCLUSÃO

Ao monitorar esses pontos críticos em uma central de água de condensação, as instalações podem otimizar o consumo de água, reduzir o desperdício e melhorar a eficiência operacional dos sistemas de refrigeração. O uso de tecnologias IoT para coletar e analisar dados em tempo real garante um controle mais preciso, permitindo intervenções rápidas quando necessário e ajudando a alcançar uma operação mais sustentável.

REFERÊNCIAS

CHILLER & COOLING BEST PRACTICES. Cooling Best Practices for Water-Cooled Chillers. Disponível em: <https://coolingbestpractices.com/>. Acesso em: 11 out. 2024.

ASHRAE. Guideline on Water-Cooled Systems. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2020.

ECOLIBRIUM. SmartSense Delivers Energy Efficiency by Optimising Chiller Efficiency. Disponível em: <https://www.ecolibrium.io/case-studies/smartsense-delivers-reduction-in-annual-energy-costs-by-optimising-chiller-efficiency>. Acesso em: 11 out. 2024.

COOLING TECHNOLOGY INSTITUTE. Guidelines for Water Management in Cooling Towers. Disponível em: <https://www.cti.org/>. Acesso em: 11 out. 2024.

MYERS, Daniel R. HVAC Energy Conservation through Cooling Water Treatment. CED Engineering, 2006. Disponível em: <https://www.cedengineering.com/userfiles/M05-013%20-%20HVAC%20Energy%20Conservation%20through%20Cooling%20Water%20Treatment%20-%20US.pdf>. Acesso em: 11 out. 2024.

LORA ALLIANCE. LoRaWAN: What is it and How Does it Work?. Disponível em: <https://lora-alliance.org/>. Acesso em: 11 out. 2024.

3GPP. NB-IoT Specifications for Smart Monitoring. Disponível em: <https://www.3gpp.org/>. Acesso em: 11 out. 2024.

Sigfox. Sigfox Technology Overview. Disponível em: <https://www.sigfox.com/>. Acesso em: 11 out. 2024.

ABRAVA. Guia de Boas Práticas em Sistemas de Refrigeração por Água. Disponível em: <https://www.abrava.com.br>. Acesso em: 11 out. 2024.

ABRAVA. Manual de Gestão de Água em Sistemas de Refrigeração. Disponível em: <https://www.abrava.com.br>. Acesso em: 11 out. 2024.

ABRAVA. Diretrizes para Eficiência Energética em Sistemas de HVAC-R. Disponível em: <https://www.abrava.com.br>. Acesso em: 11 out. 2024.

9 - ROI - CHILLER

CASO HISTÓRICO

Por Sérgio Belleza

GUIA PRÁTICO PARA CÁLCULO DE EFICIÊNCIA EM CHILLER

Um sistema de ar-condicionado central corresponde a aproximadamente 40% a 50% da conta de energia elétrica de um condomínio comercial, um shopping center, entre outros locais. Fazer com que esses sistemas operem conforme a capacidade de projeto é fundamental para economia de energia.

O objetivo de um *chiller* é produzir “água gelada”, que é utilizada tanto em Conforto Térmico, quanto em Processos Industriais. A capacidade de um *chiller* é medida em “Tonelada de Refrigeração (TR)”. Uma TR/h equivale a 3.024 kcal/h ou 12.000 BTU/h (*British Temperature Unit*).

A água gelada “é produzida” no evaporador, que é um trocador de calor com fluido refrigerante. O refrigerante é mantido frio, devido à baixa pressão no evaporador. Com a troca de calor nesta seção (água gelada X fluido refrigerante), há uma vaporização de refrigerante, resfriando portanto, a água. Os refrigerantes mais comuns incluem os Freons (R-11, R-12, R-22) e amônia.

Os outros equipamentos de um *chiller* (compressor e condensador), têm por objetivo suprir o evaporador com o líquido refrigerante. O compressor atua aumentando a pressão do refrigerante que vem do evaporador, para que seja possível condensá-lo com água de resfriamento no condensador.

A energia consumida neste processo é usada para comprimir o gás. Como já mencionado, o condensador tem por objetivo remover o calor gerado na compressão, além do calor necessário para fazer a condensação do refrigerante.

Se a superfície de Troca Térmica do condensador não está limpa (condensador sujo, incrustado ou com contaminação microbológica), o fluido refrigerante terá sua temperatura aumentada e consequentemente a pressão de condensação também será elevada. Este aumento de pressão requer um maior Trabalho do Compressor, que é o maior consumidor de energia.

Isso aumenta o consumo de energia elétrica e, consequentemente no custos de operação.

Neste caso, durante o levantamento de dados em um determinado Condomínio Comercial, nosso Representante Técnico determinou que o condensador estava sujo, o que provocava um maior consumo de energia, ou seja, o coeficiente de performance (eficiência) kW/TR estava acima do projeto.

ÁREA POTENCIAL DE ECONOMIA

- Economia de energia.

AÇÃO TOMADA

O nosso Responsável Técnico implementou um programa de tratamento com objetivo principal de prevenir deposição no condensador. Isto resultou em temperaturas/pressões mais baixas no fluido refrigerante.

O programa Bellacqua recomendado utilizou um biodispersante, melhorando o controle microbiológico.

O custo do tratamento foi de R\$ 8.000,00/ano, contra R\$ 4.000,00/ano para o tratamento do concorrente. Com a manutenção da superfície de troca térmica limpa, o programa Bellacqua propiciou ao sistema operar com o valor de projeto para o coeficiente de performance kW/TR.

DADOS REQUERIDOS PARA OS CÁLCULOS

- *E - Eficiência ou Coeficiente de performance (projeto): 0,75 kW/TR .*
- *TE - Temperatura de entrada da água gelada no evaporador: 12,2 °C.*
- *Ts - Temperatura de saída da água gelada no evaporador: 6,7 °C.*
- *Qag - Vazão da água gelada: 57,4 m³/h.*
- *IC - Corrente elétrica média do compressor: 150 Ampéres.*
- *Vc - Tensão elétrica de alimentação do compressor: 380 Volts.*
- *\$ - Custo do kW/h R\$ 0,09/kW fora do horário de ponta.*
- *RT - Regime de Trabalho: 24h/dia – 300 dias/ano.*
- *Y H₂O - Densidade da água: 1000 kg/m³.*
- *CF - Capacidade frigorífica: TR (calcular).*
- *Fc - Fator de conversão de unidades: 1 TR = 3.024 kcal/h .*
- *Pc - Potência consumida: kW (calcular).*
- *Cos Ø - fator de potência: 0,85.*

O dado de projeto da eficiência kW/TR, está disponível normalmente no manual do fabricante da máquina ou no painel de comando. Termômetros instalados na linha de recirculação de água gelada indicarão as temperaturas de entrada e saída da água no evaporador.

A vazão de água pode ser medida, caso exista algum medidor de vazão no sistema. Na ausência de qualquer medidor deve ser assumida a vazão de projeto. Entretanto, tal condição pode não ser precisa, devido aos desgastes dos rotores com o tempo, bem como deposição nas tubulações.

A corrente elétrica média (ampères) é um valor medido no motor trifásico do compressor.

A corrente elétrica medida em um determinado instante, pode ser obtida da seguinte forma: um amperímetro medindo cada fase uma a uma ou um amperímetro com uma chave seletora para as 3 fases.

A tensão elétrica (volts) pode ser obtida através do voltímetro ou placa indicativa situada no painel de comando ou elétrico do *chiller*. O custo do kilowatt/hora é obtido na fatura de energia elétrica e o regime de trabalho com o CLIENTE.

CÁLCULOS PARA DETERMINAR A ECONOMIA EM R\$

$$\Delta T \text{ água gelada} = T_e - T_s = 12,2 - 6,7 = 5,5^\circ\text{C}$$

$$C_f = \frac{Q_{ag} \times Y_{H_2O} \times \Delta T}{\text{Kcal/h}} = \frac{54,7 \text{ m}^3/\text{h} \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 5,5^\circ\text{C}}{3024 \text{ Kcal/h}} = 104$$

$$C_f = 104 \text{ TR}$$

• PROGRAMA DO CONCORRENTE

- $T_e - 12,2^\circ\text{C}$
- $T_s - 6,7^\circ\text{C}$
- $Q_{ag} - 57,4 \text{ m}^3/\text{h}$
- $I_c - 175 \text{ A}$
- $V_c - 380 \text{ V}$

$$P_c = \frac{\sqrt{3} \times V_c \times I_c \times \cos \theta}{1000} = \frac{1,732 \times 380 \times 175 \times 0,85}{1000} = 97,9 \text{ kW}$$

• EFICIÊNCIA DE KW/TR

$$\text{Eficiência de kW/TR} = \frac{97,9 \text{ kW}}{104 \text{ TR}} = 0,94 \text{ kW/TR}$$

Foi considerada a capacidade de 104 TR conforme projeto para cálculo, porém, sabe-se que, a temperatura de condensação aumenta e reduz a capacidade do *chiller*.

• PROGRAMA BELLACQUA

- $T_e - 12,2\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_s - 6,7\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $Q_{ag} - 57,4\text{ m}^3/\text{h}$
- $I_c - 150\text{ A}$
- $V_c - 380\text{ V}$

$$P_c = \frac{\sqrt{3} \times V_c \times I_c \times \cos \theta}{1000} = \frac{1,732 \times 380 \times 150 \times 0,85}{1000} = 83,9\text{ kW}$$

O programa Bellacqua permitiu trabalhar em melhores condições, bem próximo do projeto.

• EFICIÊNCIA DE KW/TR

$$\text{Eficiência de kW/TR} = \frac{83,9\text{ kW}}{104\text{ TR}} = 0,80\text{ kW/TR}$$

• ECONOMIA DE (KW/TR)

Eficiência do concorrente - Eficiência Bellacqua = $0,94 - 0,80 = 0,14\text{ kW/TR}$

A economia anual em R\$ = econom. KW/TR x Cf x custo kW/h x RT.

Economia anual = $0,14 \times 104 \times 0,09 \times 24\text{ h} \times 300\text{ dias} = \text{R\$ } 9.434,88$.

• CÁLCULO PARA DETERMINAÇÃO DO INVESTIMENTO EM R\$

Investimento em R\$ = (custo Bellacqua - custo concorrente) + custo do start up + depreciação do capital

Investimento em R\$ = $8.000,00 - 4.000,00 + 0 + 0 = 4.000,00$.

• CÁLCULO ROI (%)

$$\text{ROI} = \frac{\text{Economia em R\$} - \text{Investimento R\$}}{\text{Investimento}} \times 100$$

$$\text{ROI} = \frac{9.434,88 - 4.000,00}{4.000,00} \times 100$$

ROI = 135,9%

10 - LEGIONELOSE, O QUE É?

Por Sérgio Belleza

INTRODUÇÃO

A Legionelose é uma doença relativamente nova comparada com outras, cujo conhecimento se deu em 1976 devido a uma série de casos de pneumonia em um hotel da Filadélfia, Estados Unidos, que infectou alguns membros da legião americana que celebravam sua convenção anual. Houve um total de 182 casos, com 34 falecimentos. A descoberta foi feita por pesquisadores do Center for Disease Control (CDC) de Atlanta, que identificaram o agente *Legionella pneumophila*. Pesquisas posteriores detectaram lotes anteriores desde o ano de 1957.

A dificuldade de crescimento da *Legionella* nos cultivos convencionais fez com que seu diagnóstico fosse pouco frequente, tendo sido catalogada como pneumonias atípicas, consideradas em relação com as outras amostras e casos hospitalares. Em 1990, foi lançado no mercado um novo teste de diagnóstico a partir de amostras de urina, o que fez aumentar a detecção e, portanto, a comprovação de incidência da doença, passando a dominar os casos isolados e convertendo este agente na terceira maior causa de pneumonia bacteriana. De lá para cá, houve uma grande evolução nos métodos analíticos, sendo possível até detectar a presença da *Legionella pneumophila* em 25 minutos em testes de campo. Evidentemente, um teste de campo é para um diagnóstico rápido e não substitui as análises laboratoriais detalhadas.

A Legionelose é uma doença de declaração obrigatória na Espanha desde 1997 e os esforços para seu controle se baseiam na adoção de medidas higiênico-sanitárias recomendadas em normas e na legislação: Normas UNE, Libro de recomendaciones para la prevención de la Legionelosis (Ministerio de Sanidad y Consumo, 1999).

A Inglaterra também possui legislação específica para controle e prevenção da doença. A Comissão de Saúde e Segurança inglesa calcula que há de 200 a 300 casos de Legionelose por ano.

A análise de risco de Legionelose na Inglaterra é exigida pela Saúde e Segurança no Trabalho e pelo Controle de Substâncias Perigosas para Regulamentação da Saúde de 1994. O Reino Unido tem um rigoroso controle sobre a prevenção da doença: "Legionnaires' disease: The Control of *Legionella* Bacteria in Water Systems". Health and Safety Commission, Approved Code of Practice & Guidance L8, United Kingdom (ACOP).

Somente agora, em 2 de junho de 2020, que o Brasil entrou para o clube de países com uma norma específica para o controle e prevenção da bactéria *Legionella*, em sistemas de água.

ECOLOGIA E BIOLOGIA DA BACTÉRIA

Legionella é uma bactéria ambiental e seu habitat natural são as águas superficiais de lagos, rios e reservatórios, formando parte de sua flora bacteriana. Nestes reservatórios naturais, a bactéria pode colonizar os sistemas de abastecimento das cidades, e através da rede de distribuição de água, infectar os sistemas de água potável (frio e quente) ou os outros sistemas que requerem água para seu funcionamento, tais como torres de resfriamento, condensadores evaporativos, fontes ornamentais etc.

Uma das características da *Legionella* é ser uma bactéria capaz de sobreviver em um amplo intervalo de condições físico-químicas, multiplicando-se entre 20°C e 45°C, destruindo-se a 70°C, sendo sua temperatura ótima de crescimento de 35°C a 37°C. Pertence à família das *Legionellaceae*, gênero *Legionella*, e delas existem 48 espécies descritas (*pneumophilla micdadei*, *anisa* etc.), com mais de 70 subgrupos, sendo que os que mais frequentemente causam doenças são os subgrupos 1, 4 e 6 de *Legionella pneumophilla* e *Legionella micdadei*. Sendo o subgrupo 1 responsável por 90% dos casos.

É uma bactéria em forma geralmente de bacilo, e se move pela presença de um ou mais flagelos polares ou subpolares. A *Legionella* é um microrganismo aeróbico, necessita de oxigênio para sua sobrevivência (concentração maior que 2,2 mg/L) e em geral é pouco ativo.

Uma das características biológicas desta bactéria é sua capacidade de crescer intracelularmente nos protozoários e em macrófagos humanos. A presença de amebas em determinados ambientes e instalações é um mecanismo de sobrevivência da *Legionella* em condições ambientais desfavoráveis, que torna mais difícil sua eliminação. Esta particularidade lhe confere uma grande resistência em seu habitat natural, se multiplica no interior de diversos protozoários de vida livre (5 gêneros de amebas) e no meio livre se encontra formando parte de completos biofilmes. Vale sempre lembrar que os biofilmes em sistemas de resfriamento são isolantes térmicos e prejudicam o rendimento do sistema como um todo e aumentam o consumo de energia nos “chillers”.

A possibilidade de multiplicação intracelular a protege contra a ação dos microbicidas e desinfetantes, de forma que só é atingida a microbicidas capazes de penetrar nas células e nos biofilmes. Sua proliferação massiva aumenta o risco de infecção, resistência e propagação.

No corpo humano, a *Legionella*, em vez de ser destruída pelos macrófagos, se reproduz neles, no interior dos vacúolos fagocíticos, onde crescem até romper os macrófagos e se liberar para o exterior para repetir o ciclo.

Em geral, em seu meio natural, a bactéria se encontra em baixas concentrações, porém, em número suficiente para contaminar circuitos de águas artificiais, nos quais encontra condições favoráveis para sua multiplicação e disseminação.

Estes circuitos de águas ou instalações favorecem o estancamento de água e o acúmulo de produtos que servem de nutrientes para a bactéria, como lodos, matéria orgânica, material de corrosão e amebas, formando biofilme. A presença de biofilme, junto com a temperatura propícia, explica a multiplicação da *Legionella* até concentrações infectantes para o ser humano.

Se houver no sistema ou nas instalações um mecanismo gerador de aerossol, a bactéria pode se dispersar no ar. As gotas de água contendo a bactéria podem permanecer suspensas no ar e penetrar por inalação no aparelho respiratório. Em resumo, as condições que favorecem a proliferação da *Legionella* se detalham na Tabela 1.

Tabela 1 : Condições favoráveis a proliferação da *Legionella*.

Temperatura	Range de 25°C a 45°C Ideal: entre 35° e 37°C
Estancamento de água	Existência de zonas mortas, baixa velocidade de circulação.
Qualidade da água	Presença de nutrientes, depósito de sólidos em suspensão, condutividade, turbidez, etc.
Tipo de superfície em contato com a água	Tipo de material (celulose, madeira, aço carbono, etc), rugosidade, depósitos cálcio, corrosão
Depósitos biológicos (biofilme)	Protozoos, algas, bactérias

INSTALAÇÕES AMPLIFICADORAS

As instalações colonizadas possuem elementos que amplificam e favorecem seu crescimento pelo acúmulo de nutrientes e sedimentos, e que mais frequentemente se contaminam com *Legionella*, são identificadas como fontes de infecção. Em geral, estes sistemas são de distribuição de água potável e os equipamentos de resfriamento por dispersão de água em um fluxo de ar (torres de resfriamento).

A Tabela 2 mostra as instalações segundo a probabilidade de proliferação e dispersão da bactéria, segundo o Artigo 2 (parágrafos 2.1 e 2.2) da legislação espanhola (Real Decreto 865/2003). Acredita-se que no Brasil a situação possa ser similar, com a implementação da NBR 16824 em 2020, conseguiremos juntar informações para identificar a nossa própria realidade. Uma NBR muito importante para a saúde pública.

1. Instalações com maior probabilidade de proliferação e dispersão de <i>Legionella</i>	2. Instalações com menor probabilidade de proliferação e dispersão de <i>Legionella</i>
a) Torres de resfriamento e condensadores evaporativos; b) Sistemas de água quente potável com acumulador e circuito fechado; c) Centrais umidificadoras industriais	a) Sistemas de água potável para consumo humano, caixas d'água; b) Sistemas de água contra incêndio; c) Fontes ornamentais; d) Outros equipamentos que acumulam água e que possam gerar aerossol
3. Equipamentos de risco em terapias respiratórias a) Inaladores b) Nebulizadores c) outros	

Tabela 2 : Âmbito de aplicação do Real Decreto (865/2003).

MECANISMO DE TRANSMISSÃO

A transmissão da doença se realiza por via aérea mediante a inalação de aerossóis ou gotículas de água (menores que 5 µm) que contêm *Legionella* e, também por microaspiração de água contaminada. A permanência do aerossol no ar é curta. Os aerossóis não alcançam grandes distâncias – uns 200 metros, mas há registro de até 3 km. O aerossol gerado por uma torre de resfriamento no alto de um prédio de 20 andares é um exemplo típico e acredita-se que pode passar dos 3 km já destacados.

A Legionelose não se transmite ao beber água, ingerir alimentos, de pessoa a pessoa, nem de animais a pessoas.

Podemos dizer que a Legionelose é uma doença oportunista, dado que excepcionalmente se apresenta em pessoas saudáveis e nelas podem produzir infecção assintomática.

Para que haja a transmissão, é necessário:

- *Que o microrganismo tenha uma via de entrada para as instalações e/ou sistemas;*
- *Que se multiplique na água até conseguir um número de microrganismos suficientes para pôr em risco pessoas suscetíveis;*
- *Que se disperse no ar em forma de aerossol a partir do sistema;*
- *Que haja a inalação de partículas contaminadas;*
- *Que indivíduos suscetíveis sejam expostos a aerossol com uma quantidade suficiente de *Legionella* viável.*

A doença não se produz quando o inóculo é muito baixo e a defesa celular está intacta; quando há uma baixa resistência dos mecanismos de defesa, a ação da bactéria é mais provável.

Em casos em que a saúde está comprometida, a suscetibilidade aumenta.

São fatores de maior risco de contrair a doença.

- *Tratamento imunodepressor (tratamento anti-rejeição em pacientes transplantados, pacientes em tratamento de doenças autoimunes), uso crônico de corticosteroide.*
- *Apresentar patologias de base, como neoplasias, diabetes, quimioterapia, insuficiência renal terminal.*
- *Baixa imunidade ou baixa imunidade generalizada provocada pelo HIV.*

QUADRO CLÍNICO

O quadro clínico é muito variável, desde forma assintomática, até uma pneumonia grave, classicamente se distingue em duas formas clínicas, a infecção pulmonar por *Legionella* e a febre Pontiac.

A FEBRE PONTIAC se apresenta com um quadro febril com dores articulares e musculares (artromialgias) e comprometimento do estado geral, acompanhado de febre, tosse, dor torácica, diarreia e delírios. Em geral, é uma doença autolimitada com um tratamento leve que melhora os sintomas. Seu período de incubação é de 1 a 3 dias, mas habitualmente oscila entre 24-48 horas. Sua incidência é de 95%.

PNEUMONIA POR *LEGIONELLA* (Doença dos Legionários). Apresenta-se com uma incidência entre 1%-5%, sua gravidade e tratamento são muito variáveis. Seu período de incubação pode oscilar entre 2 e 15 dias com uma média de 5 a 6 dias.

Os sintomas clínicos podem variar desde uma pneumonia atípica a uma forma clássica. É frequente o comprometimento de outros órgãos como rim, fígado, sistema gastrointestinal e sistema nervoso. Os sintomas mais frequentes são febre elevada, tosse, dor muscular, calafrios, cefaleia, dores torácicas, catarro, diarreia, confusão ou alteração do estado de consciência. A letalidade média é de 12%, porém este índice está caindo com o avanço da medicina e dos tratamentos precoces com antibióticos.

DIAGNÓSTICO E TRATAMENTO DA DOENÇA

DIAGNÓSTICO O diagnóstico das infecções humanas causadas pela *Legionella* pode ser feito pelos seguintes métodos

ISOLAMENTO DA BACTÉRIA POR CULTIVO. A partir de amostras respiratórias, tais como catarro, amostras obtidas mediante broncoscopia ou tecido pulmonar, utilizando os meios de cultivo adequados, é a técnica de escolha. Se as amostras são coletadas adequadamente, se obtêm uma sensibilidade de 70% e uma especificidade de 100%. O crescimento se faz entre 3 e 10 dias.

SOROLOGIA MEDIANTE IMUNOFLUORESCENCIA INDIRETA (IFI). Demonstrando a presença de anticorpos específicos no soro, tomados na fase aguda da doença. Sua sensibilidade oscila entre 78-91% e a especificidade de 99%. A soroconversão se faz em dois meses.

DETECÇÃO DE ANTÍGENO ESPECÍFICO DE *LEGIONELLA PNEUMOPHILA* SOROGRUPO 1 EM URINA. É uma técnica rápida que está sendo usada de forma crescente no mundo, principalmente na Espanha, devido à adoção da determinação por enzimoimunoanálises e de imunocromatografia de membrana se pode detectar os antígenos em 2-3 horas e em 15 minutos, respectivamente. O antígeno da *Legionella* é detectável desde o começo dos sintomas até meses depois. Possui uma sensibilidade próxima aos 70% e uma especificidade em cerca de 100%.

IMUNOFLUORESCENCIA DIRETA (IFD). Visualização de microrganismos em líquidos ou tecidos patológicos. Esta técnica é muito rápida, porém apresenta certa dificuldade na interpretação dos resultados obtidos, e há que descartar falso-positivos, visto que há reações cruzadas com outros microrganismos, desta forma, um resultado negativo não exclui a presença da doença.

TRATAMENTO. Está condicionado pela natureza intracelular do patógeno. Antibióticos, como amoxicilina e eritromicina são considerados desde sempre como tratamento efetivo frente à *Legionella*. Nos últimos anos, houve a aparição de novos antibióticos com menores efeitos colaterais. Esses novos medicamentos (azitromicina, claritromicina) são mais ativos. Também tem sido utilizada a rifampicina associada com eritromicina para evitar possíveis resistências.

Atualmente, as fluorquinolonas (ciprofloxacino, ofloxacino, levofloxacino) têm demonstrado maior atividade frente à *Legionella* em estudos experimentais e têm sido utilizadas com êxito no tratamento da doença. O tratamento deve ser iniciado o mais rápido possível, visto que o atraso em sua administração se associa com um pior diagnóstico.

INCIDÊNCIA DA LEGIONELOSE

No Brasil não há estudos, tão pouco estatísticas dos casos de Legionelose, portanto, todo estudo da gravidade da doença se baseia nos levantamentos realizados pelos países europeus que possuem legislação específica, como Espanha e Inglaterra.

Este ano de 2020 está sendo marcado como o grande avanço do país neste assunto, conforme mencionado, em 2 de junho foi lançada a ABNT NBR 18624 - Sistema de distribuição de águas em edificações - Prevenção de Legionelose - Princípios gerais e orientações.

Foi um trabalho que durou seis anos para ser concluído e elaborado por especialistas no assunto. Acredita-se que a partir de agora teremos mais atenção dos usuários dos sistemas de águas para este tema.

Para se ter uma ideia, a vigilância epidemiológica vem sendo realizada na Espanha desde 1996, quando foi criada no país a Rede Nacional de Vigilância Epidemiológica, que engloba tanto os sistemas básicos de vigilância (notificação de doenças obrigatória). A Legionelose

foi incluída como doença de declaração obrigatória em 1997. A declaração deve ser feita por médicos tanto do setor público quanto do privado, e os dados relativos aos casos precisam ser acompanhados semanalmente (identificação, local, epidemiológico e microbiológico etc.).

Na Europa foi criado o Grupo de Trabalho Europeu para o Estudo da Legionelose (EWGLI – European Work Group for Legionella Infection), que tem como objetivos:

- *Intensificar a capacidade da União Europeia para detectar fontes comuns de colônias;*
- *Aplicar medidas de prevenção;*
- *Informar sobre focos de contaminação e comunicar a comunidade sobre a importância da saúde pública internacional;*
- *Reduzir a incidência da Legionelose;*
- *Melhorar os métodos de comunicação e informação.*

A Legionelose é uma doença que se distribui globalmente com casos em todos os países do mundo. Ela é considerada uma doença da era tecnológica por sua relação com instalações que utilizam água em seu funcionamento e produzem aerossol.

COMO MINIMIZAR RISCOS

A estratégia a ser usada contra a disseminação da bactéria é a minimização dos riscos provocados pela *Legionella*. Devem ser desenvolvidos um programa de gerenciamento de risco e um processo para avaliar e minimizar os riscos relativos à saúde. O programa divide-se em três etapas principais.

ANÁLISE DE RISCO

Levantamento em campo das instalações, dos fatores operacionais, dos fatores de risco de proliferação e disseminação da bactéria e da população suscetível ao risco. A extensiva documentação gerada cobre os riscos gerais da unidade, mas também de cada sistema individual, apresentando recomendações e planos de ação que permitem o desenvolvimento de um plano de gerenciamento do risco.

IMPLEMENTAÇÃO das recomendações fornecidas na análise de risco.

MONITORAMENTO E CONTROLE

Para assegurar a eficácia das recomendações e ações que tenham sido implantadas para minimizar os riscos relativos à *Legionella*. É parte de uma estratégia contínua de gerenciamento de risco, que permite que você se concentre em suas principais competências.

SEGUIR NBR 16824

A nova norma brasileira traz todos os procedimentos e cuidados para mitigar os riscos de Legionelose, bem como boas práticas para gerenciar os riscos e prevenir a doença em edificações industriais e comerciais.

A ausência da *Legionella* não significa a ausência de risco. Todos os fatores de risco necessitam ser levados em consideração na análise. É na análise de risco que são verificados e indicados o programa de tratamento correto, quais produtos deverão ser utilizados, qual o melhor programa de tratamento e manutenção para cada sistema (ex.: uso de cloração, biodispersantes, higienização periódica etc.).

O ACOP (Approved Code of Practice for the prevention or control of Legionellosis) recomenda análise de Legionella para sistemas de água quente e fria sob as seguintes circunstâncias:

a) Sistemas tratados com biocidas (ex.: ionização ou dióxido de cloro) onde a temperatura da água quente esteja abaixo da temperatura recomendada como ideal, ex.: temperatura de armazenagem menor que 60°C, temperatura de saída menor que 50°C.

b) Sistemas onde os parâmetros de controle do tratamento físico ou químico não têm sido constantemente realizados. Executar uma perfeita revisão do sistema e do regime de tratamento, amostragem frequentes devem ser tomadas para trazer de volta o sistema sob controle.

c) Águas servidas em hospital com o compromisso imunológico para pacientes.

Quando a análise para identificação de *Legionella* é realizada devido à suspeita de caso de Legionelose positiva para todas amostras, uma desinfecção deve ser realizada. O resultado dessas análises deve estar disponível para toda equipe investigar a causa dos casos de Legionelose.

A Tabela 3 mostra as ações a serem tomadas de acordo com a NBR 16824 para os diferentes níveis de *Legionella* são detectados em análise laboratorial.

Tabela 3 : Níveis de ação para Legionella.

Bactéria <i>Legionella</i> UFC/Litro	Recomendações
Menos que 100	Sistema sob controle
100 a 1000	“recomenda-se que seja realizada uma revisão das medidas de controle e da avaliação de riscos, a fim de identificar quaisquer medidas corretivas necessárias”;
Mais que 1000	“recomenda-se que seja realizada uma revisão das medidas de controle e da avaliação de risco, podendo ser solicitada nova amostragem. A desinfecção do sistema pode ser considerada.”

CONCLUSÃO

A Legionelose é uma doença grave e com alta taxa de mortalidade. É necessário estar atento aos fatores de risco, e uma análise de risco detalhada é uma ferramenta fundamental para minimizar os riscos e informar quais são os procedimentos adequados de manutenção e higienização das instalações com circuitos de água. Recomenda-se análise de risco nas indústrias, condomínios comerciais, hospitais, hotéis, shoppings, residências, spas e qualquer instalação que possa gerar aerossol e contaminar pessoas.

Infelizmente, no Brasil ainda não existem estudos, tão pouco uma conscientização das autoridades para que se possa quantificar e identificar os focos epidemiológicos da Legionelose, em nosso território, porém algumas empresas já estão preocupadas em minimizar seus riscos e vêm estabelecendo políticas de prevenção da Legionelose, o que ajuda a divulgar o assunto, bem como a ABNT NBR 16824, que veio para colaborar e incentivar os empreendedores a tomar os cuidados necessários à saúde dos ocupantes, transeuntes e usuários de sistemas de água.

Os testes de campo ajudam na prevenção e na liberação de áreas para que os trabalhadores possam exercer sua função em segurança. Ainda não se sabe sobre epidemias, visto que não é um procedimento clínico obrigatório determinar qual a bactéria causadora da pneumonia. Apenas há o diagnóstico como pneumonia simplesmente, e mudar esta conduta se faz urgentemente necessário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Guía técnica para la Prevención y Control de la Legionelosis en Instalaciones - Editado por Ministerio de Sanidad y Consumo - Espanha 2007

"Legionnaires' disease, The Control of Legionella bacteria in water systems" Health and Safety Commission, Approved Code of Practice & Guidance L8, United Kingdom

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc) handbook, HVAC Applications 1999

ASHRAE- Guideline 12-2000, "Minimizing the Risk of Legionellosis Associated with Building Water

BSRIA Aplication Guide, Guide to Legionellosis Operation and maintenance - Brown,Reginal and Roper, Mark - 2000

Procedures for the Recovery of Legionella from the Environment", Centers for Disease Control and Prevention (1994)

Centro Nacional de Epidemiologia. Instituto de Salud Carlos III. Vigilancia Epidemiológica de la legionelosis en España. <http://cne.isciii.es>.

ABNT NBR 16824: Sistemas de distribuição de águas em edificações - Prevenção de Legionelose - Princípios Gerais e Orientações. (02/06/2020)

Entrevista com Dra Cleide Belleza – Reumatologista e Clínica Geral - CRM -SP 76130

www.ewgli.org

[www.legionella.info](http://www legionella.info)

11 - OS PERIGOS ASSOCIADOS À BACTÉRIA *LEGIONELLA* EM SISTEMAS DE CONDENSAÇÃO DE ÁGUA

Por Solange Costa Lima

RESUMO

Este trabalho retrata os riscos eminentes que podem ocorrer através da inalação de aerossóis contaminados pela bactéria *Legionella*, caso não ocorra uma avaliação de risco adequada das edificações conforme preconiza a ABNT NBR 16824 - Sistemas de distribuição de água em edificações - Prevenção de Legionelose - Princípios gerais e orientações. Em tempos de pandemia da Covid-19, muitas empresas fecharam durante o surto, assim, ocorreu o desligamento temporário ou a redução da operação de muitas edificações e reduções no uso normal da água, criando assim, um ambiente propício para aumentar os riscos para o retorno dos ocupantes, pois a água estagnada ou parada em um sistema e em suas tubulações pode amplificar o risco de crescimento e propagação de *Legionella*. Apresentam-se e discutem-se neste artigo as diferentes técnicas de análises para detecção da *Legionella*, bem como as vantagens e desvantagens de cada técnica.

INTRODUÇÃO

A *Legionella* é uma bactéria Gram-negativa, aeróbica, não esporulada e tem a forma de bacilo, e existem mais de 61 espécies diferentes. São bactérias heterotróficas encontradas em vários ambientes aquáticos, como por exemplo: água de reservatórios, chuveiros, piscinas, sistemas de refrigeração e ar condicionado, entre outros.

A contaminação ocorre através da inalação de gotículas de água contaminada pela bactéria *Legionella*, podendo causar pneumonia grave. Dentre as espécies mais patogênicas encontram-se a *Legionella pneumophila* do sorogrupo 1, sendo essa espécie responsável por causar cerca de 90% dos casos da doença. Inclusive, foi essa espécie que causou o surto na Filadélfia em 1976, quando vários casos de pneumonia atípica de causa desconhecida foram detectados em pessoas que estavam em uma conferência de legionários (veteranos de guerra), que ficou conhecida como a Doença dos Legionários, daí que surgiu o nome "*Legionella*" em homenagem aos mortos (ISO 11731:2017)!

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o número de pessoas que se infectam a cada ano com a *Legionella*, não representa a realidade, pois os números são desconhecidos.

Uma projeção realizada pela mesma OMS tomando por base a Dinamarca - reconhecida como o país que mais faz testes em pacientes com pneumonia para detecção da *Legionella* chegou o valor de cerca de 10 mil casos anuais apenas nos 36 países que participam da EWGLI (sigla em inglês para Grupo Europeu de Estudos sobre Infecções causadas pela *Legionella*).

Neste trabalho será abordado o aumento dos riscos de contaminação por *Legionella* durante a crise da Covid-19. Será fomentada a importância de identificar fontes ambientais que podem representar um risco de Legionellose, e também serão discutidos a utilização dos diferentes métodos, bem como as vantagens e limitações de cada um deles e o que esses resultados nos auxiliam na interpretação dos sistemas. Além disso, serão abordados os resultados positivos encontrados em diferentes fontes de água de regiões brasileiras.

CARACTERÍSTICAS DO GÊNERO *LEGIONELLA*

O gênero *Legionella* pertence à ordem taxonômica Legionellales, que inclui as famílias Coxiellaceae e Legionellaceae. Três gêneros diferentes foram propostos para as Legionellaceae: *Legionella*, *Fluoribacter* e *Tatlockia*. Entretanto, os dois últimos nomes genéricos nunca foram amplamente usados ou aceitos e o gênero único *Legionella* é usado quase universalmente para descrever todas as espécies. A *Legionella* é uma bactéria Gram-negativa, aeróbica, não esporulada e tem a forma de bacilo, é estreita, tendo de 0,3 a 0,9 µm de largura e o comprimento varia de 1,5 a 2,0 µm nos microrganismos de forma curta até formas filamentosas, maiores. São móveis, possuindo flagelo polar, subpolar e/ou lateral.

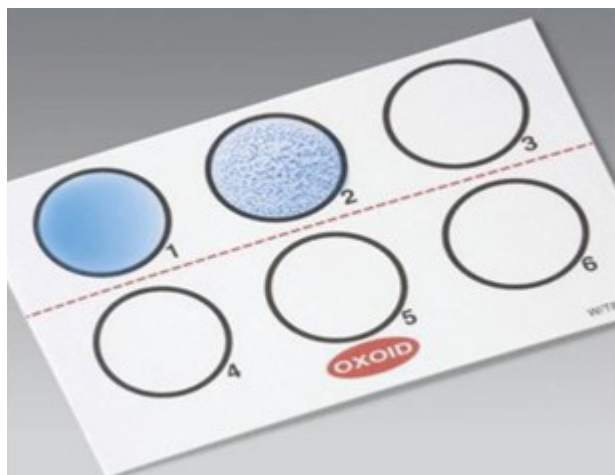
O gênero *Legionella* possui pelo menos 61 espécies diferentes, e mais de 70 sorogrupos, sendo a *Legionella pneumophila* sorogrupo 01 a mais importante como agente de doenças em humanos relacionadas com o ambiente aquático e com a água de modo geral (ISO 11731:2017).

O QUE SÃO SOROGRUPOS

Sorogrupo é um conjunto de sorotipos que apresentam um antígeno comum. Sorotipo tange a variabilidade distintas dentro de uma mesma espécie de bactéria que são identificados como um antígeno único, mas que se distinguem por diferirem na resposta a diferentes anticorpos. Dessa forma, podemos ter, por exemplo, a espécie *Legionella pneumophila* que já teve identificados 15 sorogrupos diferentes, ou seja, sorogrupos de 1 à 15, dentre este sorogrupo, o sorotipo 1 é a variante causadora da doença mais prevalente e é espécie responsável por causar cerca de 90% dos casos da doença. O teste confirmatório para identificação de bactérias do gênero *Legionella*, geralmente é realizado pelo teste de aglutinação, pois essas bactérias são relativamente inertes a muitos testes bioquímicos.

Desse modo, após o resultado presuntivo de colônias típicas de *Legionella*, provenientes de amostras de água e decorrentes do método de cultura, o teste é feito por aglutinação em látex para a identificação dos sorotipos mais frequentes de *Legionella*. O teste utiliza o reagente látex, que de acordo a presença de antígenos da parede celular da *Legionella*, irá ocorrer a aglutinação e assim, identificar a qual sorotipo pertence (Etto, 2009), conforme Figura 01.

Figura 1: Ilustração do teste da cartela com a aglutinação em látex.



Vide referência bibliográfica no link 1

MODO DE TRANSMISSÃO

A transmissão ocorre através da inalação de gotículas de água em forma de aerossóis de tamanho respirável oriundas de um sistema de água contaminado pela bactéria *Legionella*.

Esses aerossóis quando transportados aos pulmões, desencadeiam um processo infeccioso:

Vide referência bibliográfica link 2

HABITAT NATURAL

Seu habitat natural são reservas de água encontradas em todo planeta, sob as mais adversas condições naturais, como águas doces (rios e lagos), salobras (ambiente estuarino) e salgadas (mares e oceanos), águas subterrâneas (lençóis freáticos), águas residuárias, solos úmidos, além de gotículas de água dispersas na atmosfera na forma de aerossóis, inclusive em água polar na Antártica. A presença da *Legionella* na Antártica, significa que essas bactérias podem se adaptar a condições extremas e abrir novas possibilidades para o entendimento das estratégias de sobrevivência de *Legionellaceae mesofílicas* que vivem em ambientes antárticos, mas na natureza a concentração dessas bactérias é muito baixa, muitas vezes são até indetectáveis por métodos convencionais, e não são consideradas um risco à saúde humana. Entretanto, ao alcançar um sistema artificial de água ela pode encontrar ambientes e condições para um desenvolvimento extremamente rápido e em grandes concentrações, havendo populações dispersas na água bastante variadas de algumas dezenas para dezenas de milhares de UFC/L (Carvalho et al, 2008).

HABITAT ARTIFICIAL

Vários equipamentos podem produzir e dispersar gotículas de água no ar: torres de resfriamento, piscinas, banheiras quentes de hidromassagem, fontes decorativas, chuveiros, processos industriais, sistemas de umidificação, ventiladores com aspersão de água, sistemas de combate a incêndio, entre outros. A *Legionella* possui vida livre na água ou, mais frequentemente, vive em biofilmes que lhe fornecem proteção e nutriente. Além da natureza da água, temperatura e tipo de materiais utilizados na canalização também desempenham um papel importante no seu desenvolvimento. Além disso, protozoários (incluindo as amebas) são os hospedeiros naturais da *Legionella*. O mecanismo utilizado pela *Legionella* ao infectar uma ameba é apontado pelos pesquisadores como sendo o mesmo utilizado para infectar glóbulos brancos humanos e é entendido como a chave para o entendimento da virulência dessa bactéria (Van der Kooij e col. 2005).

OS RISCOS DE CONTAMINAÇÃO POR *LEGIONELLA* DURANTE A PANDEMIA DA COVID-19

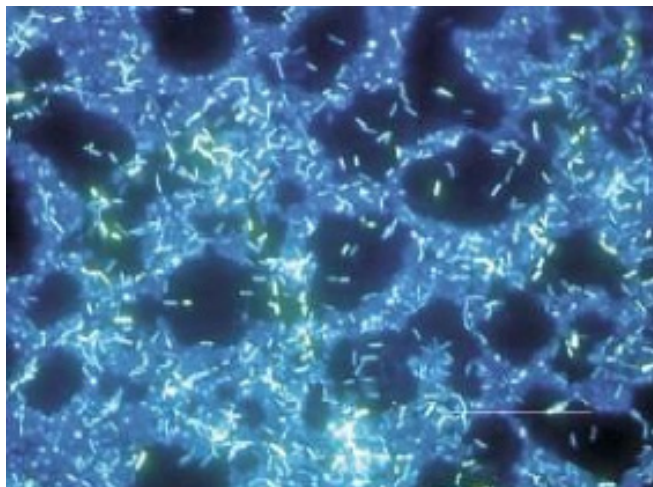
O monitoramento da *Legionella* é importante por razões de saúde pública para identificar fontes ambientais que podem representar um risco de Legionelose, a bactéria pode estar presente nas redes prediais de água quente ou fria dos grandes edifícios, como em hotéis, escritórios, centros comerciais, shoppings, hospitais, entre outros. O monitoramento é importante também para validação de medidas de controle e verificação contínua de que os controles permanecem efetivos (ISO 11731:2017).

Com a pandemia da Covid-19, muitas empresas fecharam durante o surto, como resultado dessa situação, ocorreu o desligamento temporário ou redução da operação de muitas edificações e reduções no uso normal da água, criando assim, um aumento de riscos para o retorno dos ocupantes, pois a água estagnada ou parada em um sistema de encanamento pode aumentar o risco de crescimento e propagação de *Legionella* e outras bactérias associadas ao biofilme. O biofilme pode ser formado por qualquer microrganismo, como por exemplo, bactérias, fungos, algas, protozoários, entre outros.

Vide referência bibliográfica link 3

As populações de *Legionella pneumophila* que crescem em biofilme são mais resistentes a biocidas do que as bactérias da mesma espécie que crescem por si só dentro de um sistema de água. Na ecologia natural desses microrganismos eles se desenvolvem e se reproduzem livremente na água, mas tendem a se depositar de uma forma estável em superfícies. Toda superfície está sujeita à formação de biofilme, principalmente em superfícies mais rugosas ou porosas (Baker, 1992).

Figura 2: Ilustração do teste da cartela com a aglutinação em látex.



Vide referência bibliográfica link 4

GERENCIAMENTO DE RISCOS

A ABNT NBR 16824 - Sistemas de distribuição de água em edificações - Prevenção de Legionelose - Princípios gerais e orientações, estabelece que sistemas de água prediais de edificações industriais, comerciais, de serviços, públicas e residenciais, devem ter um gerenciamento de risco que contemple o APPCC - Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle). Os elementos que devem se incluídos no APPCC, são:

- *Listar as pessoas que irão compor a equipe responsável pelo APPCC;*
- *Descrever o fluxograma do sistema de água e identificar suas partes;*
- *Analisar os riscos;*
- *Identificar os pontos críticos e estabelecer mecanismos de controle;*
- *Estabelecer limites críticos (valores máximos e/ou mínimos de controle de qualidade da água);*
- *Estabelecer planos de ações corretivas.*

SURTOS DE *LEGIONELLA* NO MUNDO

Os principais surtos ocorridos no mundo estão relacionados com a colonização da bactéria *Legionella* em sistemas de ar-condicionado, sobretudo em torres de resfriamento de ar, pois favorecem sua disseminação, principalmente pela formação de aerossóis. Seguem alguns casos:

1976: O primeiro surto catalogado relacionado com a bactéria *Legionella*, foi em uma convenção na Filadélfia, que ficou conhecida como doença dos Legionários. Houve um total de 182 casos, com 34 falecidos. A bactéria foi isolada na torre de resfriamento do hotel, que então se espalhou pelo edifício.

2001: O 2º maior surto registrado em números de casos, ocorreu em Múrcia, na Espanha. Foram notificados um total de 449 pessoas infectadas. O fato foi atribuído a uma torre de resfriamento instalada no telhado de um hospital.

2002: Um dos maiores surtos já registrado na história, disponível no site do ECDC (Centro Europeu de Prevenção e Controlo de Doenças) foi o caso de Barrow, no Reino Unido, que atingiu 494 pessoas, tendo como foco um sistema de ar condicionado.

2004: O caso ocorreu a partir de uma torre de resfriamento contaminada, em uma refinaria na França. Pesquisadores franceses detectaram a *Legionella* em um raio de até 6 quilômetros da refinaria. Esse surto matou 21 das 86 pessoas que tiveram uma infecção e confirmaram em laboratório.

2014: Foram infectadas 375 pessoas em Portugal, com 12 mortos. O surto por *Legionella* foi relacionado à contaminação das torres de refrigeração de uma empresa Adubos.

2015: Foram infectadas 108 pessoas em New York, com 10 mortos. A bactéria foi encontrada em dez edifícios. E segundo as autoridades de saúde local, as pessoas que adoeceram foram expostas à torres de refrigeração presentes nas coberturas dos prédios.

2017: Na Califórnia, onde está localizado o famoso parque da Walt Disney. No total, foram 22 casos de contágio pela bactéria.

Em 2018 nos Estados Unidos os departamentos de saúde relataram quase 10.000 casos da doença do legionário, porém, como a doença do Legionário é provavelmente subdiagnosticada, esse número pode subestimar a verdadeira incidência. Um estudo recente estimou que o número real de casos de doença do legionário pode ser 1,8 - 2,7 vezes maior do que o relatado.

Vide referência bibliográfica link 5

Estudos ecológicos e epidemiológicos realizados por alguns autores nos Estados Unidos, relacionaram o aumento do número de casos de Legionelose diagnosticados ao aumento do índice pluviométrico, sugerindo uma maior transmissibilidade da bactéria ao homem durante as estações climáticas de períodos chuvosos. (Brooks et al., 2004; Fields, 2002).

No Brasil, foi feita uma estimativa pela Vigilância Municipal de São Paulo, que ocorreram mais de 5.000 mortes por Legionelose no ano de 2013. Dados esses obtidos através de percentual estatístico relacionados a causas de internações por pneumonia no SUS.

CAUSA DA DOENÇA

A infecção pela *Legionella* pode apresentar-se em duas formas distintas:

- ***O mal dos Legionários: Pneumonia grave, distúrbios digestivos, insuficiência renal e requer tratamento com antibióticos (fatal em até 15% dos casos adquiridos na comunidade e até 50% quando em hospitais);***
- ***Febre Pontiac: Similar à gripe com febre muito alta e sintomas similares aos da gripe (Larry, 2020).***

TÉCNICAS LABORATORIAIS

Em razão de poucos estudos publicados, a incidência deste microrganismo no Brasil pode estar sendo subestimada, uma vez que a literatura tem demonstrado que microrganismos do gênero *Legionella* ocorrem em nível global em diferentes ambientes. Diversos aspectos limitantes estão relacionados à dificuldade do estudo da incidência da bactéria. Um destes motivos é devido aos sintomas clínicos da infecção por *Legionella* spp. serem indistinguíveis dos sintomas provocados por outras causas de pneumonia. Outro fator limitante existente é a dificuldade na detecção da bactéria.

MÉTODO EM CULTURA Considerado referência para detecção de espécies de *Legionella*, esse método é dito como o padrão ouro, sendo ainda, uma técnica que apresenta maior especificidade para o diagnóstico (Fields et al., 2002).

VANTAGEM

- *É possível avaliar um volume maior da amostra e analisar todo conteúdo presente pelo processo de filtração;*
- *Permite isolar e quantificar as diferentes espécies e estirpes de *Legionella*, possibilitando uma comparação de estirpes clínicas com estirpes ambientais;*
- *Possui uma sensibilidade próxima de 60% e a especificidade de 100% (Ferreira, 2019).*

DESVANTAGEM

- *Demora cerca de 12 dias para ter um resultado, e em casos de surtos, demora-se muito para tomar uma ação;*
- *Se a amostra não for analisada dentro do prazo preconizado pelas normas, pode ocorrer falta de nutrientes e perda de viabilidade de bactérias;*
- *Apenas são recuperadas as bactérias viáveis e cultiváveis;*
- *É um método complexo e exigente em tempo, meios de cultura, reagentes e experiência técnica (Ferreira, 2019).*

KIT RÁPIDO - TÉCNICA DO NÚMERO MAIS PROVÁVEL (MPN) - LEGIOLERT

Legiolert é um método de cultura alternativo, que utiliza uma tecnologia de detecção de enzimas que identifica apenas a *Legionella pneumophila* em amostras de água, que quando presentes, muda a coloração da água para um tom acastanhado. Neste substrato as células bacterianas crescem rapidamente e reproduzem-se através de suplementos ricos em aminoácidos, vitaminas e outros nutrientes (Rech et al. (2018).

VANTAGEM

- *O uso do kit permite a redução do fluxo de trabalho do laboratório;*
- *Resultado em até 7 dias de incubação e não requer outros passos de confirmação;*
- *Apresenta-se como um ensaio robusto à interferência de outros microrganismos.*

DESVANTAGEM

- *O teste precisa ser realizado em cartelas, pois tem a necessidade de uma área superficial grande para troca com oxigênio, o que pode encarecer o teste;*
- *Identifica apenas Legionella pneumophila.*

TÉCNICA DE DISPOSITIVO MÓVEL DE PCR EM TEMPO REAL Seu princípio se baseia na duplicação de cadeias de DNA “*in vitro*” que pode ser repetida diversas vezes, gerando quantidade de DNA suficiente para realizar diversas análises.

VANTAGEM

- *Detecta as bactérias viáveis não cultiváveis;*
- *Capacidade de resposta em poucas horas;*
- *Por quantificar DNA bacteriano presente na amostra, pode ser útil nas investigações de potenciais fontes de infecção, permitindo rapidamente efetuar ações corretivas.*

DESVANTAGEM

- *Incapacidade de diferenciar Legionella viável de não viável;*
- *Não é possível enumeração de células viáveis por unidade de volume de amostra;*
- *Elevado custo inicial do equipamento e reagentes necessários para a amplificação;*
- *Em amostras coletadas após desinfecção pode haver dificuldade na amplificação do DNA;*
- *Não existência de correlação entre UG (Unidades Genômicas) e UFC (Unidades Formadoras de Colônias), dificultando assim a interpretação dos resultados obtidos (Rodrigues, R. 2017 e Vital, 2019).*

DIAGNÓSTICO

Depois de um período prolongado de inatividade de um edifício, deve-se verificar se há riscos para o desenvolvimento de *Legionella*. Um “período prolongado” pode ser de semanas ou meses, dependendo de fatores específicos do encanamento, resíduos de desinfetantes, pontos de ajuste de temperatura do aquecedor de água, padrões de uso de água e colonização preexistente de *Legionella*.

No Brasil, a Legionelose não é uma doença notificada. As análises clínicas são realizadas em poucos hospitais e seus resultados não são oficiais. Além disso, existe uma dificuldade no correto diagnóstico da doença, pois infelizmente a carência de profissionais treinados para realização dos testes. Desta forma, o levantamento estatístico da doença, na maioria das vezes, o doente é diagnosticado como se estivesse com pneumonia comum, já que os sintomas das duas doenças são bem parecidos. Esse fato, é uma realidade até mesmo para países que possuem tradição e pioneirismo no diagnóstico da doença dos Legionários como por exemplo, os EUA e a Inglaterra. Assim sendo, o paciente diagnosticado erroneamente, não raro, pode vir a óbito, somando-se às estatísticas das mortes causadas pela pneumonia

comum. Quanto à Febre Pontiac, a situação é ainda mais complicada, pois como os sintomas são bem semelhantes a uma forte gripe, praticamente todos os casos passam despercebidos.

Desta forma, é preciso ter cautela na análise de dados estatísticos que propõem retratar as infecções causadas pela *Legionella*, pois, normalmente qualquer número apresentado está sempre abaixo dos valores reais. A própria Organização Mundial da Saúde (OMS) adverte que é desconhecido o número de pessoas que se infectam a cada ano com a *Legionella*.

RESULTADOS POSITIVOS ENCONTRADOS EM DIFERENTES FONTES DE ÁGUA DE REGIÕES BRASILEIRAS

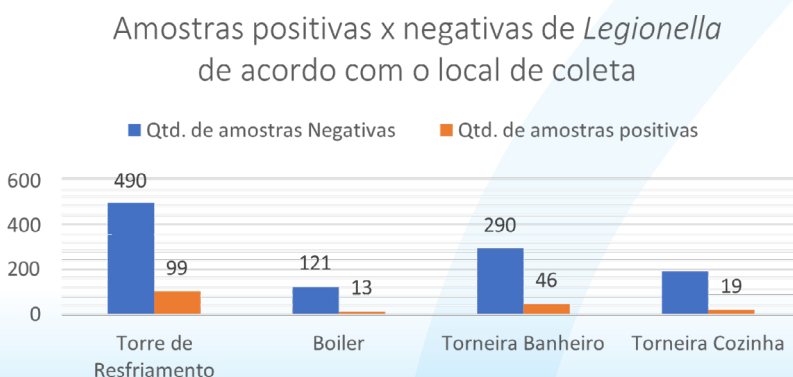
As amostras de água foram retiradas das fontes de água indicadas na Tabela 1, entre janeiro de 2021 e maio de 2021. As amostras foram coletadas em frascos de polipropileno estéreis com tiosulfato de sódio 0,1 M para neutralizar o cloro livre residual nas amostras, com volume de 500 mL. As amostras foram analisadas pelo método de cultura conforme preconiza a norma ISO 11731 - Water quality - Enumeration of *Legionella* Second edition.

Tabela 1: Presença da bactéria *Legionella* em diferentes sistemas.

Bactéria	Coefficiente de morte (K) ^a
S. aureus ATCC 6738	1,115 ± 0,124
E. coli ATCC 11229	1,123 ± 0,133
UV	0,917 ± 0,181

Das 611 amostras de água coletadas de sistemas de ar-condicionado (Torre de resfriamento e Boiler), 20,20% apresentaram resultados positivos para a presença de *Legionella* spp., as demais amostras foram coletadas em torneiras de banheiro e cozinha (480 amostras água potável), resultando em 25,86% das amostras positivas. A figura 02 ilustra os resultados obtidos na análise das amostras de água obtidas, segundo o ponto de coleta.

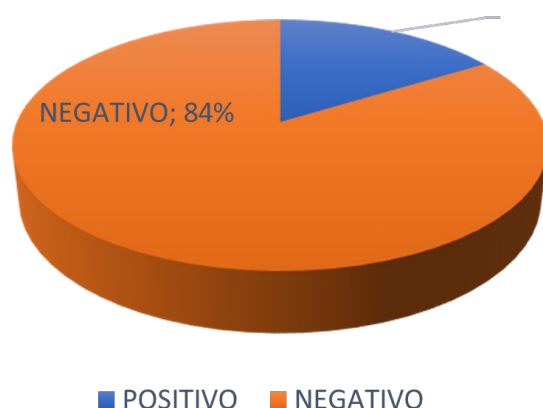
Tabela 2: Amostras Negativas x Positivas de *Legionella*.



No total, foram analisadas 1091 amostras de água, e cento e setenta e sete (16%) das amostras foram positivas para a bactéria *Legionella*, conforme ilustrado na figura 3.

Figura 3: Porcentagem de amostras positivas para *Legionella* spp.

Total de amostras Positivas x Negativa para *Legionella*



CONCLUSÃO

O desenvolvimento contínuo de sistemas e equipamentos de água, geradores de aerossóis, provoca o crescimento de infecções causadas pelas bactérias patogênicas do gênero *Legionella*, que, se inaladas, podem causar a chamada “Doença dos Legionários”, estabelecendo, assim, um problema de saúde pública. As evidências dos riscos da contaminação por *Legionella* em sistemas com água parada, em função do reflexo da pandemia da Covid-19, devido à boa parte das edificações terem ficado por longos períodos com seus sistemas de ar-condicionado desligados e com água estagnada, é de suma importância fazer um bom plano de segurança da água conforme previsto na norma **ABNT NBR 16824 - Sistemas de distribuição de água em edificações - Prevenção de Legionelose - Princípios gerais e orientações**, somente assim, os ocupantes dessas edificações terão maior tranquilidade em retornar às suas atividades com segurança. Dentro da avaliação de risco é muito importante selecionar o método que mais se adequa às necessidades do plano. No entanto, estudos comparativos relacionados ao uso de diferentes métodos de isolamento e identificação, realizados por distintos grupos de pesquisa em todo mundo, têm convergido para a mesma opinião: que as metodologias se complementam. Assim, a utilização de técnicas presuntivas e confirmativas está diretamente relacionada à maior sensibilidade e especificidade na detecção de microrganismos do gênero *Legionella*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 16824 - **Sistemas de distribuição de água em edificações - Prevenção de legionelose - Princípios gerais e orientações**, 2020

Barker Jet al. **Relationship between Legionella pneumophila and Acanthamoeba polyphaga: physiological status and susceptibility to chemical inactivation**. Applied and Environmental Microbiology; 58: 2420-2425, 1992.

Brooks T; Osicki RA; Springthorpe VS; Sattar SA; Filion L; Abrial D; Riffard S. **Detection and identification of Legionella species from groundwater**. J. Toxicol. Environ. Health 67, 2004.

Carvalho, FRS et al. **Occurrence and diversity of Legionellaceae in polar lakes of the Antarctic península**, 2008-06.

Centro Europeu de Prevenção e Controlo de Doenças – **ECDC**, Acesso em: 01 de julho de 2021.

Centers for Disease Control and Prevention – CDC,. **Fast Facts**. Disponível em: <https://www.cdc.gov/legionella/fast-facts.html>. Acesso em: 26 de maio de 2021.

Centers for Disease Control and Prevention – CDC,. **Guidance for Reopening Buildings After Prolonged Shutdown or Reduced Operation**. Disponível em: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/php/building-water-system.html>. Acesso em: 20 de maio de 2021.

Etto, Y, H. **Deteção de bactérias do gênero Legionella em amostras de água provenientes de sistemas de ar condicionado**. Tese de mestrado na Faculdade de Saúde Pública-USP, 2009.

Ferreira, F., C. **Amostragem e Análises laboratoriais de Legionella em sistemas de água-Métodos disponíveis, vantagens e inconvenientes**. Workshop: Prevenção e 40 Controlo de Legionella nos Sistemas de Água. Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge, IPQ. Acedido a Maio 10, 2019.

Fields, B., S., Benson, R., F., Besser, R., E. (2002). **Legionella and Legionnaires' disease: 25 years of investigation**. Clinical microbiology reviews, 15(3):506-26, 2002.

ISO 11731 - Water quality - Larry M. Bush , MD, FACP, Charles E. Schmidt College of Medicine, Legionnaires' Disease. Florida Atlantic University - Última revisão/alteração completa fev 2020| Última modificação do conteúdo fev 2020

Rech, M. M., Swalla, B. M., & Dobranic, J. K. Evaluation of Legiolert for Quantification of Legionella pneumophila from Non-potable Water. Current microbiology, 75(10), 1282- 1289, 2018.

Rodrigues, R. Análises laboratoriais de água: métodos disponíveis, vantagens e inconvenientes. In Workshop "Prevenção e Controlo de Legionella nos Sistemas de Água", Comissão Setorial para a Água/Instituto Português da Qualidade, 11 maio 2017.

Van Der Kooji D., Harm R. Veenendaal. H. Scheffer. Biofilm Formation and multiplication of Legionella in a model warn water system with pipers of copper, stainless steel and cross-linked polyethylene. Water Res. 2005

Vital, I, F, D. Deteção, identificação e quantificação de Legionella spp. em amostras de comparação da técnica de PCR-RT com o Método Cultural, Coimbra, 2019.

Artigo do XVII CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR

São Paulo Expo – 23 à 25 de novembro de 2021

Link 1: TaFonte: <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/DR0800M#/DR0800M>

Link 2: <https://www.cdc.gov/legionella/about/causes-transmission-sp.html>

Link 3: (<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/php/building-water-system.html>)

Link 4: Fonte: <https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/8/9/02-0063-f3>

Link 5: (<https://www.cdc.gov/legionella/fastfacts.html>).

12 - USO DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA EM TORRES DE RESFRIAMENTO

Por Catarina Sandor de Castro Costa Moraes

RESUMO

O controle microbiano mostra-se fundamental para a boa operação dos sistemas de torres de resfriamento, com operação segura e eficiente. Este controle pode ser feito tanto por agentes químicos como por agentes físicos. O uso de radiação ultravioleta como agente físico torna-se uma alternativa interessante para a redução de agentes químicos.

Este artigo tem como objetivo a apresentação de estudos realizados com diferentes métodos e tempos de exposição à radiação ultravioleta, demonstrando que é possível manter a qualidade microbiológica com severa redução do uso de produtos químicos.

PALAVRAS- CHAVE - Torre de resfriamento, Ultravioleta, Controle microbiológico.

INTRODUÇÃO

Torres de resfriamento são componentes centrais de diversos sistemas de ar-condicionado e refrigeração, que operam para remover calor através da evaporação da água. Além dos sistemas de ar-condicionado de grandes edificações, as torres de resfriamento também são utilizadas em processos industriais como refino de petróleo, processamento químico, usinas de energia e muitos processos de fabricação industrial. (PUB, 2017).

A água é um excelente fluido de resfriamento: ela pode absorver grandes quantidades de calor por unidade de volume, apresenta variações dimensionais desprezíveis na faixa de uso, baixa viscosidade, condutividade térmica elevada, é neutra, inodora, geralmente atóxica, apresenta grande estabilidade química, entre outras características atrativas.

Todavia, apesar de cristalina e transparente, a água contém sólidos dissolvidos e, à medida que ocorre a evaporação devido à troca de calor, essas substâncias permanecem no sistema e se concentram mais enquanto os equipamentos de resfriamento estão operando.

Além disso, a água também sofre contaminação por impurezas presentes no ar que podem ser tanto sólidos dissolvidos como microrganismos; devido a essa contaminação a água necessita de tratamento para garantir a baixa corrosividade e impedir o crescimento desordenado de microrganismos.

A utilização de aparelhos com lâmpadas ultravioleta no controle microbiológico em sistemas de torres de resfriamento surgiu como uma alternativa ao controle microbiológico tradicional, comumente realizado com adição de biocidas à água.

Uma das vantagens da utilização de radiação ultravioleta em água de recirculação é que com ela não se faz necessária a adição contínua de produtos químicos. Além disso, a desinfecção UV não produz residuais tóxicos como os produtos halogenados orgânicos que cloretos ou brometos podem produzir. Por outro lado, a desinfecção por UV tem um custo mais elevado (GILPIN et al, 1985).

CONTROLE MICROBIANO

O desenvolvimento de técnicas de controle microbiano foi indispensável para o avanço do estudo da microbiologia. Robert Koch, em 1871 realizou os primeiros estudos datados de controle microbiano, realizando desinfecções de culturas puras.

Somente após vinte e seis anos, em 1897, Krönig e Paul mostraram que desinfetantes reduzem o número de células viáveis de uma cultura gradualmente e não abruptamente (DAVIS, 1968).

O controle microbiano é fundamental para a boa operação dos sistemas de torres de resfriamento, aliado aos controles de formação de incrustação e de processos corrosivos.

Este controle pode ser realizado tanto por agentes químicos como por agentes físicos.

PADRÃO DE MORTE EM UMA POPULAÇÃO MICROBIANA

A morte de um organismo, definida por Schmidt em 1954, é a falha do organismo em reproduzir-se, pois ele não pode ser baseado em alterações fisiológicas, porque algumas atividades biológicas podem ficar suspensas por longos períodos, sem a ocorrência de morte. (ROMANA, 2023)

A referida perda da capacidade de reprodução acontece de modo constante em um dado período, ou seja, de forma exponencial. Desta forma, se o microrganismo é exposto a algum agente de controle microbiológico, como biocidas, radiações ionizantes ou não ionizantes, uma curva de sobrevivência pode ser estabelecida.

O modo de morte exponencial pode ser explicado da seguinte forma: se inicialmente há 1 milhão de bactérias e após um minuto de ação se elimina 90 % delas (900.000), restam somente 100.000, ou seja, um décimo de alvos em relação ao início. Após mais um minuto, 90% das 100.000 são mortas, restando 10.000, este padrão continua descrevendo uma curva de mortalidade. (COSTA, 2007).

Talvez uma das variáveis mais importantes no processo de mortalidade de bactérias seja o tempo de contato. Harriet Chick observou, no início do século XX, que para uma dada concentração de desinfetante, quanto maior o tempo de contato, maior a influência na inativação dos microrganismos (KUZUHARA, 2005).

Com base nesta observação, postulou-se a Lei de Chick:

$$\frac{dN_t}{dt} = -k \cdot N_t \quad (1)$$

Onde:

- dN_t/dt = velocidade de mudança de concentração de organismos com o tempo
- k = constante de velocidade de inativação, T^{-1}
- N_t = número de organismos, no tempo t
- t = tempo:
- Se N_0 é o número de organismos quando t é igual a zero, a equação acima pode ser integrada em:

$$\frac{N_t}{N_0} = e^{-k_t} \text{ ou } \ln \frac{N_t}{N_0} = -k_t \quad (2)$$

O valor da constante de velocidade de inativação N pode ser obtido construindo-se o gráfico de $\ln (N_t / N_0)$ em função do tempo de contato t (KUZUHARA, 2005).

Apesar do modelo matemático descrever uma equação de primeira ordem, na prática se observa que nem todas as cinéticas de destruição de microrganismos se comportam desta forma. Normalmente, um “ombro” é observado na curva, dependendo do número de unidades celulares que foram inativadas com a dose de radiação (SOMMER HW et al, 2001; BOYD, 1988; KRUEGER HW et al, 1973).

As teorias que explicam este fenômeno incluem a teoria dos alvos múltiplos, que sustenta que existe mais de um alvo na célula e cada um que é atingido produz um efeito. A segunda teoria, a teoria dos acertos, sustenta que existe apenas um alvo na célula, mas um certo número de acertos no alvo é necessário para produzir o efeito desejado (BOYD, 1988).

Além do “ombro”, é usual observar uma cauda no final da curva; a cauda normalmente aparece depois da inativação de pelo menos 99% dos microrganismos viáveis iniciais.

A causa do aparecimento da cauda ainda não tem uma conclusão final. Muitas hipóteses são levantadas, como indução experimental, agrupamento de microrganismos ou subpopulação resistente, mas nenhuma das hipóteses conseguiu alguma evidência conclusiva (HIJNEN, 2006).

FONTES DE MICRORGANISMOS

Fontes potenciais de microrganismos em água de resfriamento incluem os microrganismos que são carregados pelo ar ambiente em sistemas de recirculação de água, bem como os que possam estar presentes na água de reposição. Os tipos mais comuns de microrganismos que habitam águas de resfriamento são algas, fungos, protozoários e bactérias.

O rápido crescimento microbiano na água de recirculação pode resultar na formação de biofilme e lodo, que englobam partículas incrustantes e podem no limite gerar incrustações microbianas no sistema de resfriamento. Outros fatores que favorecem o crescimento microbiano são a presença de luz solar, altas concentrações de nutrientes em águas de resfriamento com alto ciclo de concentração, elevada concentração de oxigênio dissolvido e contaminações de fluidos de processo na água de resfriamento. (PUB, 2017)

Por esta razão, o ambiente em que a torre de resfriamento está inserida é um fator bastante importante e influencia a operação e condução do tratamento de água e forma a minimizar o crescimento microbiano. Não obstante, a realização de testes periodicamente é fundamental para a obtenção de dados que auxiliem na tomada de decisões. (SÖRENSEN, 2017).

CONTROLE POR AGENTES QUÍMICOS

Os agentes químicos são usados para controlar o crescimento microbiano em tecidos vivos e objetos inanimados. Porém, poucos deles obtêm a esterilidade; a maioria deles só reduz as populações microbianas em níveis seguros ou removem as formas vegetativas dos patógenos (TORTORA et al, 2005).

Esses agentes químicos dividem-se em agentes oxidantes e não oxidantes.

Os agentes tóxicos oxidantes compreendem o ozônio e os compostos liberadores de cloro, como o hipoclorito.

O ozônio reage combinando-se com as proteínas e inativando as enzimas redutoras essenciais à respiração celular. Bactérias examinadas depois da ozonização parecem ter sido rompidas, com perda do citoplasma, essencial para a vida celular.

Os compostos liberadores de cloro ionizam-se na água formando o ácido hipocloroso (HOCl), que é um agente oxidante que se difunde com facilidade através das paredes celulares dos microrganismos e reage com as proteínas celulares do citoplasma, formando ligações estáveis nitrogênio-cloro. O cloro age então de modo a oxidar coenzimas que atuam na etapa intermediária de produção de trifosfato de adenosina, essencial à respiração celular (BUCHARD, 1979).

Os agentes tóxicos não oxidantes inibem os microrganismos de diferentes formas. Alguns alteram a permeabilidade das paredes celulares, como os agentes à base de metais pesados, que atravessam a parede celular e penetram no citoplasma bacteriano, destruindo os grupos proteicos essenciais à vida; os compostos quaternários de amônio são adsorvidos pela membrana celular, reduzindo sua permeabilidade, dissolvendo-a; os compostos organossulfurosos, como os feitos de isotiazolinona, inibem as reações de substrato enzimático metabólico, reagindo competitivamente com uma enzima, impedindo a reação enzimática normal que sustenta a vida microbiana (BUCHARD, 1979).

CONTROLE POR AGENTES FÍSICOS

Para selecionar o método de controle microbiano mais apropriado por agentes físicos, deve-se considerar outros fatores além dos microrganismos, a saber: se o material pode ser deformado pelo calor, se ele pode reagir de forma negativa com algum componente químico etc. Deve-se considerar também os fatores econômicos e ocupacionais, pois estes fatores também são de extrema importância no processo de seleção do método de controle microbiano.

Desta forma, o controle microbiológico por agentes físicos (como o uso de radiação ultravioleta), torna-se uma alternativa viável aos agentes químicos degradadores do meio ambiente, uma vez que os microrganismos são suscetíveis a mudanças no seu meio físico, onde mudanças radicais de condições físicas resultam em sua inibição ou destruição (PELCZAR & REID, 1965).

RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE

A maior vantagem em se usar a radiação ultravioleta para água de resfriamento ao invés de biocidas é justamente porque não é necessária a adição de repetidas doses de produtos químicos. Além disso, a radiação ultravioleta não produz compostos residuais tóxicos, como os compostos orgânicos halogenados produzidos por cloretos e brometos podem produzir se utilizados em excesso (GILPIN et al, 1985).

A radiação ultravioleta é classificada como radiação não ionizante e possui um comprimento de onda acima de 1 nm.

A luz ultravioleta consiste na luz com comprimentos de onda compreendidos entre 40 e 390 nm, sendo a região de 220 a 300 nm a de maior interesse de estudo, a chamada região abiótica.

As aplicações mais importantes de radiação ultravioleta são a destruição de microrganismos transportados pelo ar, inativação de microrganismos presentes em superfícies ou suspensos em líquidos e proteção e desinfecção de produtos de composição instável que não podem ser tratados pelos métodos convencionais de esterilização.

A luz ultravioleta é absorvida por muitos compostos intracelulares, mas o DNA é quem sofre maior avaria. As bactérias são particularmente vulneráveis aos danos da radiação ultravioleta devido ao seu tamanho e estrutura unicelular (QIU et al, 2004).

Os danos na estrutura do DNA causados pela radiação ultravioleta são determinados por sua flexibilidade. A natureza das bases é a regra mais importante na distribuição dos produtos, uma vez que os dímeros dependem das bases de pirimidina envolvidas (SINHA & HÄDER, 2002).

Nem todos os dímeros formados durante a irradiação são letais, pois eles podem ser removidos por dois mecanismos presentes em muitos tipos de células, a fotorreativação e a reativação

no escuro.

A recuperação pós irradiação será tanto menor quanto maior for a dose de radiação recebida. Em doses elevadas, a quantidade de dímeros é maior que a capacidade de recuperação do microrganismo, não havendo tempo para reverter todas as alterações antes que inicie a duplicação da célula (CHERNICARO, 2001).

Os microrganismos resistem mais à luz ultravioleta na água do que no ar seco. A transmissão da luz ultravioleta na água é uma função inversa dos componentes minerais e orgânicos nela contidos. Na prática, a variação do grau de absorção é devida quase que totalmente à concentração de sais dissolvidos na água. Além disso, a intensidade da radiação da lâmpada ultravioleta também dependerá da voltagem primária, temperatura da água e horas de funcionamento da lâmpada (SHECHMEISTER, 1991).

TIPOS DE MICRORGANISMOS

ALGAS

Algas são seres vivos fotossintéticos, unicelulares ou pluricelulares, geralmente aquáticos ou crescendo em locais úmidos. Tal como outros microrganismos, são introduzidos em águas dos sistemas junto à poeira trazida pelos ventos.

Existem três requisitos básicos para o crescimento de algas: ar, água e luz solar. A eliminação de qualquer um destes fatores inibirá o crescimento. As plataformas e as laterais de uma torre de resfriamento fornecem os três requisitos, representando um excelente ambiente para o crescimento de algas (BUCHARD, 1979).

A temperatura e o pH são considerações importantes para os sistemas básicos de água de resfriamento; desta forma, ambos são frequentemente responsáveis pelo desenvolvimento de algas.

Os principais problemas ocasionados pelo crescimento de algas são a deposição nas bacias de distribuição de água, bloqueando os tubos que dão sua passagem ao enchimento interno, formação de cortinas de algas filamentosas sobre as venezianas laterais da torre de resfriamento, restringindo o fluxo de ar para o seu interior, a deposição nos enchimentos, com o impedimento da subdivisão sucessiva de gotículas de água e bloqueio total dos enchimentos, devido à aglutinação das algas capsuladas e da poeira ambiental; a consequência destes problemas será o menor contato entre as gotículas e o ar, refletindo sobre o calor latente e o sensível desprendido, que resultará em menor refrigeração da água.

As algas mais encontradas em sistemas de refrigeração são as cianofíceas, as clorofíceas as diatomáceas (DANTAS, 1988).

FUNGOS

Fungos são talófitos sem clorofila, que se reproduzem por esporos. Eles vivem na água, nos solos e nos substratos sólidos, tais como madeira, couro, plástico etc.

Eles são imóveis, porém seus esporos são levados com o vento a locais distantes, contaminando muitos sistemas utilizando torres de resfriamento.

Os fungos normalmente presentes em sistemas de torres são das seguintes classes: Ascomicetos e basidiomicetos (DANTAS, 1988) e, assim como para as algas, o pH e a temperatura são fatores de extrema importância para o crescimento dos fungos (BUCHARD, 1979).

Os principais problemas relacionados ao desenvolvimento de fungos nos sistemas de resfriamento são o ataque da madeira da torre de resfriamento, que acaba por abalar a estrutura das torres constituídas desse material e a formação de lodo, que pode ocasionar o bloqueio de trocadores de calor e demais equipamentos do circuito de refrigeração (DANTAS, 1988).

BACTÉRIAS

As bactérias são organismos microscópicos, procariotas, que não possuem membrana celular. Elas se reproduzem por divisão binária, elaboram seus alimentos por sínteses químicas e, em alguns casos, por fotossíntese.

Muitas espécies distintas de bactérias podem aparecer em sistemas de água de resfriamento. Em consequência, o controle torna-se extremamente difícil, porque os agentes tóxicos para uma espécie podem fazer pouco efeito em outra (BUCHARD, 1979).

As bactérias em água de resfriamento são classificadas como sésseis e planctônicas.

Todas as bactérias sésseis são envolvidas por uma cápsula gelatinosa, basicamente formada por polissacarídeos e glicocálix. Este material por elas elaborado tem alta adesividade a diferentes substratos, tais como metais, madeira, plástico, concreto e vidro, formando o limo bacteriano.

As bactérias sésseis estão sempre fixas, não se movendo na água. As bactérias planctônicas têm elevada mobilidade e permanecem sempre flutuando nas águas dos sistemas, e por não serem envolvidas por cápsula gelatinosa, não formam limo bacteriano.

As bactérias mais comumente encontradas em sistemas de resfriamento são as sésseis, aeróbicas encapsuladas, como as do gênero *Aerobacter* e *Pseudomonas*, que juntamente com as bactérias aeróbicas esporuladas do gênero *Bacillus* causam severa formação de lodo na água; as bactérias precipitadoras de ferro como as dos gêneros *Crenothrix*, *Leptothrix* e *Galionella*, que são bactérias que precipitam hidróxido férrico formando depósitos lodosos

(BUCHARD, 1979) e em menor quantidade, as Legionellas, cuja cepa mais nociva é a *Legionella pneumophilla*, que causa a chamada “doença dos Legionários”, uma pneumonia atípica severa que pode ser fatal (GRACE et al, 1981).

As *Pseudomonas* obtêm sua energia para crescimento, oxidando compostos orgânicos para dióxido de carbono. Elas se desenvolvem de preferência em águas frias e com valor de pH neutro ou ligeiramente alcalino. As bactérias *Aerobacter* são microrganismos não esporulados, do tipo bastonete reto, contendo pigmentos laranja ou amarelo.

O limo bacteriano está fortemente associado às bactérias *Pseudomonas*, não só porque elas são do tipo encapsuladas, mas também por serem predominantes em águas de refrigeração (DANTAS, 1988).

Uma das maneiras de classificar as bactérias é pelo seu tingimento com corantes, desenvolvido por Gram. As bactérias que retêm o corante são gram-positivas, enquanto as que não retêm são gram-negativas. Quase todas as bactérias encontradas em água de refrigeração são gram-negativas.

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE BACTÉRIAS À RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

O estudo realizado para verificação da resistência de bactérias presentes em torres de resfriamento à radiação ultravioleta foi inicialmente apresentado como tema de dissertação de mestrado para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo em 2007.

O objeto de estudo foi uma população homogênea de colônias de uma torre de resfriamento, cujo questionamento principal foi o padrão de resistência das colônias à radiação ultravioleta.

Como forma de investigar o fenômeno, iniciou-se o experimento com duas etapas: a etapa laboratorial acerca da resistência microbiana à radiação ultravioleta e a etapa utilizando um protótipo de torre de resfriamento de bancada.

Porque as colônias isoladas eram semelhantes, foram denominadas para estudo como “colônias UV”.

ETAPA LABORATORIAL DO EXPERIMENTO

Assim, a partir de um dos laminocultivos foi isolada uma colônia em agar nutriente (peptona 5 g/L, extrato de carne 3 g/L e agar 15 g/L). A colônia isolada, denominada UV, foi avaliada comparativamente a uma colônia de bactérias Gram-negativa (*Escherichia coli* ATCC 11229) e a uma colônia de bactérias Gram-positiva (*Staphylococcus aureus* ATCC 6538) com relação à resistência a radiação ultravioleta.

Colônias isoladas de cada uma das linhagens bacterianas sendo avaliadas com relação à resistência a radiação ultravioleta foram cultivadas em caldo nutriente (peptona 5 g/L e extrato de carne 3 g/L) por 24 horas (30°C, 150 rpm). Diferentes diluições decimais de cada uma das culturas foi inoculada (100 mL) em agar nutriente e rapidamente submetidas a diferentes tempos de exposição em uma caixa com uma lâmpada ultravioleta (560mW/cm²). Após a irradiação, as placas foram incubadas no escuro (para evitar a fotorreativação) por 24 a 48 horas, sendo então contadas as colônias sobreviventes. Os gráficos para avaliar a resistência foram construídos plotando-se os dados de fluência de radiação UV (mJ/cm²) em função do número de células sobreviventes (UFC/mL).

ETAPA EXPERIMENTAL COM PROTÓTIPO DE TORRE DE RESFRIAMENTO

Como continuidade ao estudo da resistência microbiana à radiação ultravioleta, iniciou-se a execução do experimento piloto com um protótipo de torre de resfriamento para teste em pequena escala, como forma de aprimorar o estudo do comportamento microbiano em torres de resfriamento, porém diferentemente de uma torre de resfriamento padrão, onde a água de alimentação não tem contaminação e é contaminada ao longo do período de trabalho, o protótipo inicialmente possuía uma água contaminada e esperava-se que esta contaminação diminuísse com o passar do tempo.

As caixas do protótipo que servem de enchimento e bacia da torre são de polietileno e as tubulações de PVC. A bacia abriga um volume de 30 litros de água e a bomba possui uma vazão máxima de 1 m³/h.

Foram avaliadas duas vazões diferentes (250 e 500 L/h) passando pela lâmpada ultravioleta, de modo a medir as variações nas curvas de morte em comparação com a quantidade de água exposta à radiação.

Para início do controle populacional, o protótipo foi esterilizado com aplicação de uma solução de formol e circulação da solução por 30 minutos; em seguida, ele foi lavado e seco para a total retirada da solução desinfetante. Em seguida, a bacia do protótipo foi alimentada com 30 litros de água desmineralizada e 25 mL de uma cultura de 24 horas (30 °C, 150 rpm) de *E. coli* ATCC 11229 em caldo nutriente. Em seguida foi acionada a bomba d'água por 15 minutos para homogeneização da cultura no sistema do protótipo da torre de resfriamento.

Após decorrido esse tempo de homogeneização, foi ligada a lâmpada ultravioleta do sistema e iniciou-se a contagem do tempo de inativação com a retirada de amostras periodicamente.

A amostra inicial foi coletada imediatamente antes de ser ligada a lâmpada ultravioleta.

As coletas de amostras foram realizadas sempre na bacia do protótipo. As amostras coletadas foram submetidas a diluições decimais em solução fisiológica (NaCl 0,85%), inoculadas em meio de cultura ágar nutriente e incubadas (30°C, 24 horas). As colônias foram contadas e estimada a concentração de células sobreviventes (UFC/mL).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS BACTÉRIAS À RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

Para a verificação do padrão de resistência dos microrganismos, foram avaliadas a sobrevivência de cada uma das bactérias a diferentes tempos de exposição à radiação ultravioleta em condições padronizadas. Os resultados desses experimentos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Sobrevivência de linhagens bacterianas à radiação ultravioleta.

Tempo (s)	Fluência (mJ/cm ²)	Viabilidade (UFC/mL)		
		<i>E.coli</i>	<i>S.aureus</i>	UV
0	0	3,41E+10	1,13E+10	1,56E+10
1	0,6	4,44E+10	2,24E+10	1,41E+10
5	2,8	4,99E+09	7,40E+09	1,29E+10
10	5,6	3,53E+09	4,34E+09	2,71E+09
15	8,4	3,53E+08	1,25E+09	1,37E+09
20	11,2	4,52E+07	1,05E+07	2,04E+08
30	16,8	1,30E+04	3,00E+04	1,32E+05
60	33,6	1,00E+03	1,43E+03	2,17E+03

O perfil de morte observado para todas as bactérias avaliadas foi semelhante. Observa-se inicialmente uma pequena redução na quantidade de células vivas com o tempo de exposição, em seguida a redução da população apresenta um perfil de queda exponencial, representado por uma reta no gráfico monologarítmico. O último ponto de cada uma das curvas de exposição indica ainda a existência de uma cauda na curva de morte, ou seja, depois de algum tempo de exposição a velocidade de morte deve ocorrer a uma taxa menor que aquela esperada caso o padrão de morte prosseguisse exponencialmente.

O ombro que foi observado em todas as curvas de morte apresentadas, também foi observado em alguns trabalhos publicados, sobre a resistência de *Pseudomonas aeruginosa* (GILPIN et al, 1985), *Legionella* sp (GILPIN et al, 1985; KNUDSON, 1985) e *Shewanella* sp (QIU et al,

2004). Segundo KRUEGER e colaboradores (1973), um padrão de morte representado por um ombro inicial seguido de uma morte exponencial pode ser explicado considerando-se que para ocorrer a morte, mais que uma unidade do organismo tem que ser afetada pela ação da radiação, ou seja, inativada. Esses autores ainda mencionam que quanto maior for o número de unidades que devem ser inativadas para ocorrer a morte, maior será a extensão do ombro.

Figura 1: Curva de morte do *S. aureus* x fluência.

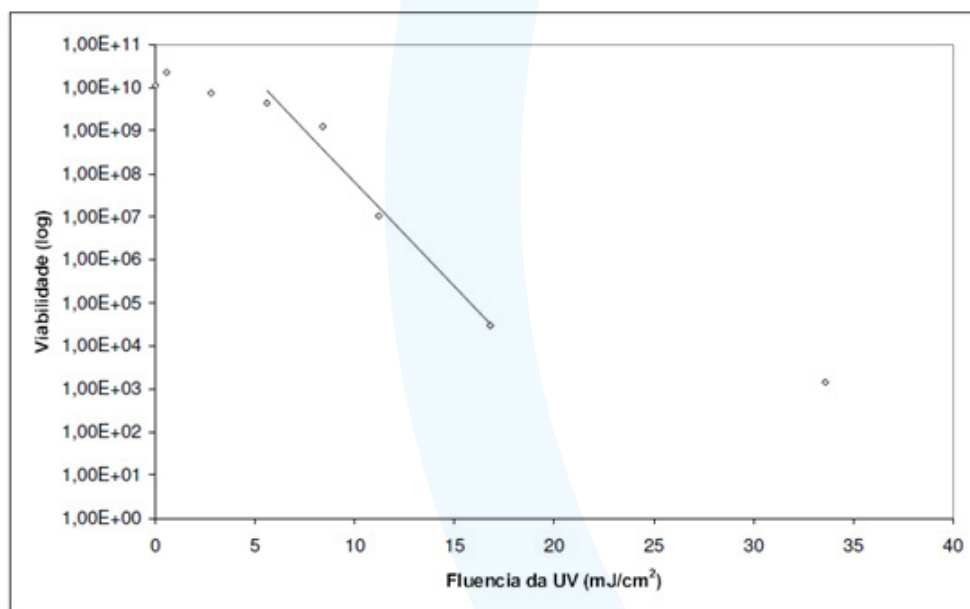


Figura 2: Curva de morte da *E. coli* x fluência.

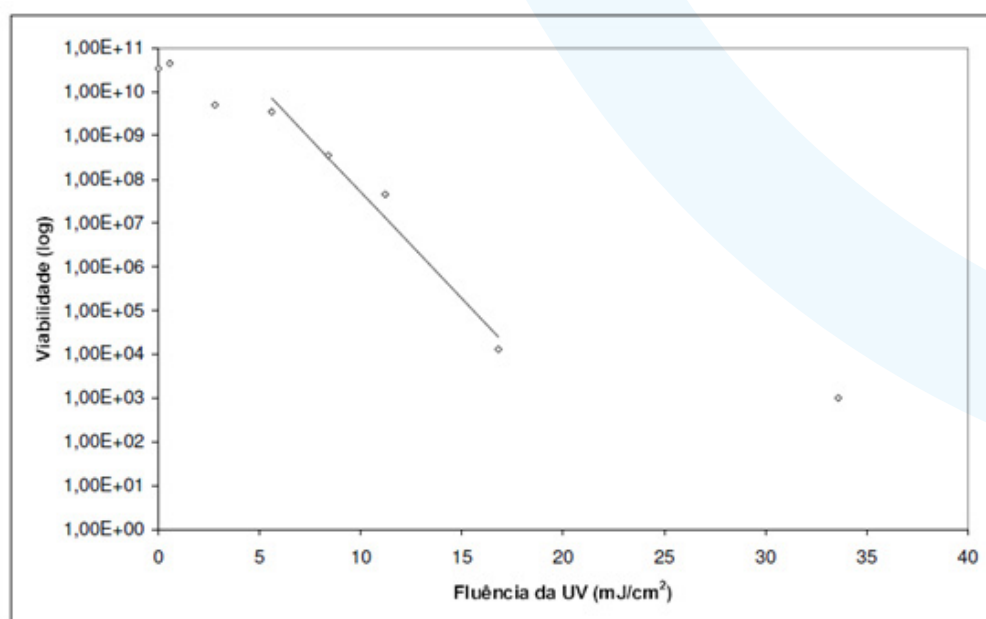
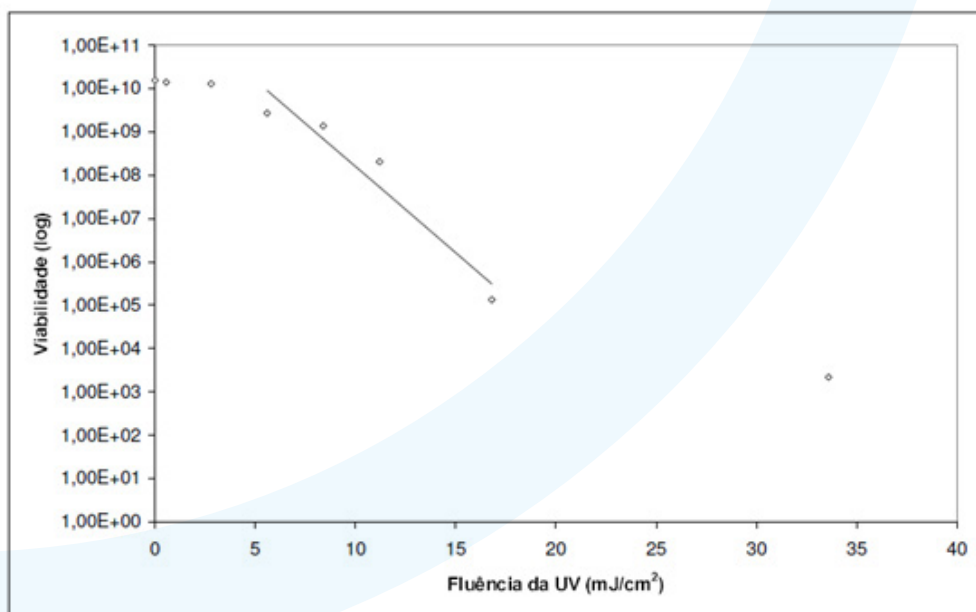


Figura 3: Curva de morte da colônia UV x fluência.



Utilizando os dados obtidos nas curvas de sobrevivências para as diferentes bactérias foi calculado o coeficiente de morte observado. Para tanto, considerou-se a equação 2 e calculou-se o valor de K (coeficiente de morte obtido para cada uma das bactérias (Tabela 2)).

Tabela 2: Coeficientes de morte observados para cada uma das bactérias.

Bactéria	Coeficiente de morte (K) ^a
<i>S. aureus</i> ATCC 6738	1,115 ± 0,124
<i>E. coli</i> ATCC 11229	1,123 ± 0,133
UV	0,917 ± 0,181

a. Valores médios e desvios para P = 0,05.

Os resultados apresentados na Tabela 2 demonstram que os coeficientes de morte das três bactérias analisadas são estatisticamente iguais ($P < 0,05$). Ou seja, a bactéria isolada da bacia da torre de resfriamento não apresentou maior resistência a radiação ultravioleta do que as bactérias *E. coli* e *S. aureus*, respectivamente, representando uma bactéria Gram-negativa e uma bactéria Gram-positiva.

HIJNEN e colaboradores (2006) revisaram diferentes trabalhos nos quais foram avaliados os coeficientes de morte de diferentes bactérias submetidas a radiação ultravioleta.

Os valores de K obtidos para várias bactérias variaram entre 0,059 e 1,341. Dessa forma, os valores obtidos neste trabalho estão compatíveis com outros da literatura e corroboram a afirmação que a bactéria isolada da bacia da torre de resfriamento não apresentou perfil de resistência maior a radiação ultravioleta quando comparada a outras bactérias Gram-negativas ou positivas.

AVALIAÇÃO DO PADRÃO DE MORTE BACTERIANA EM PROTÓTIPO DE TORRE DE RESFRIAMENTO

Ao contrário do que se observa no experimento descrito no item anterior, neste procedimento experimental, os microrganismos estão presentes na bacia da torre de resfriamento e são transportados com uma determinada vazão pela tubulação que contém a lâmpada germicida. Assim, o efeito de morte dos microrganismos é resultado de duas variáveis que agem de maneira antagônica em relação a esse efeito: (i) quanto menor a vazão, mais tempo as células ficam expostas à radiação ultravioleta, podendo ser mortas mais rapidamente e (ii) quanto menor a vazão, mais tempo leva para que toda a água da bacia passe pela lâmpada, demorando um tempo maior para redução da população microbiana presente na bacia.

Dessa forma, a comparação da morte microbiana em função do tempo não pode considerar somente a fluência, ou seja, a energia da radiação ultravioleta aplicada na superfície da lâmpada em função do tempo. Deve-se considerar também o volume de líquido que foi exposto a essa energia que pode causar a morte das células. Assim, definiu-se neste trabalho o termo “exposição” como representativo da razão da fluência pela vazão de passagem da água pela tubulação contendo a lâmpada germicida. Os resultados destes experimentos estão apresentados na Figura 4 e Tabela 3.

Observa-se inicialmente uma queda exponencial na concentração de bactérias vivas presentes em função da exposição. Entretanto, após um determinado tempo de tratamento, a concentração de células vivas se estabiliza. Observa-se uma taxa de morte exponencial em função da exposição maior para a maior vazão de passagem da água pela tubulação contendo a lâmpada germicida.

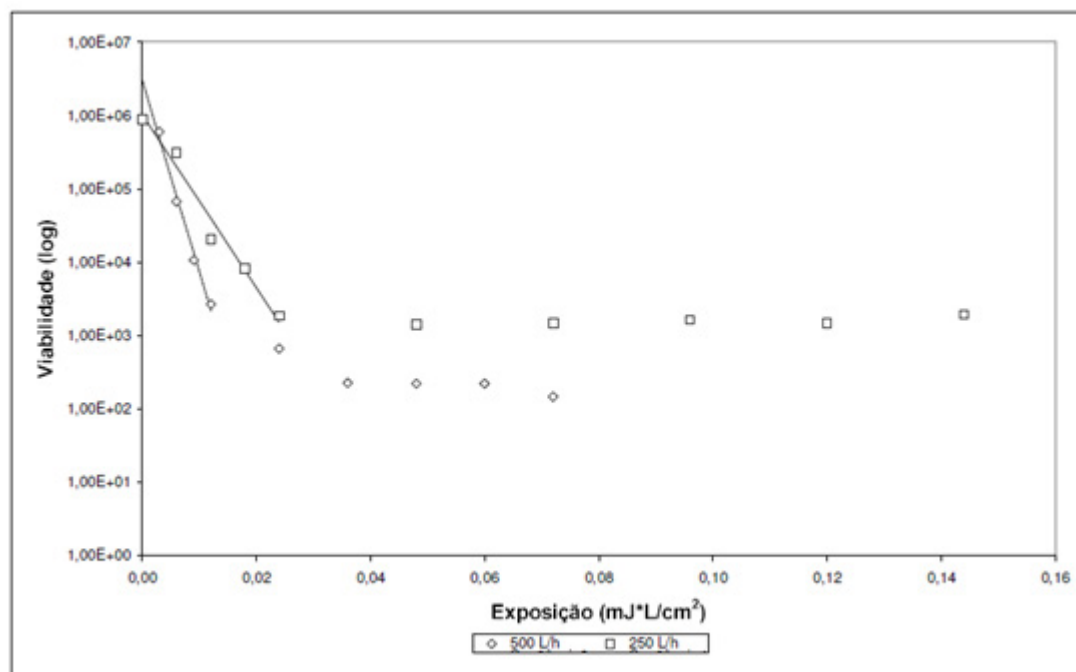
Esse resultado demonstra que mesmo nessa vazão na qual as células passam mais rapidamente pela lâmpada, o tempo de exposição é suficiente para promover a morte bacteriana e dessa forma a capacidade de passar um volume maior de água através da tubulação contendo a lâmpada germicida assume um papel preponderante para promover a redução da população bacteriana presente na bacia da torre.

É interessante notar que o valor de concentração de células vivas em que a população bacteriana estabiliza em cada uma das situações analisadas é diferente. Isto sugere que outros fatores podem contrabalancear o efeito germicida da passagem pela tubulação contendo a lâmpada UV (ver discussão a seguir). Quanto maior a vazão de passagem da água da bacia da torre de resfriamento pela tubulação contendo a lâmpada germicida, menor é a concentração de células vivas encontradas na bacia nesta fase de concentração estável. Este resultado sugere que o efeito contrabalanceador da morte bacteriana é menos eficiente quanto mais efetivo for o sistema em promover a morte bacteriana pela passagem através da tubulação contendo a lâmpada germicida.

Tabela 3: Concentração de bactérias sobreviventes em função da exposição à lâmpada germicida no experimento piloto

Tempo (s)	Vazão (L/h)			
	500		250	
	Exposição (mJL/cm ²)	Viabilidade (UFC/mL)	Exposição (mJL/cm ²)	Viabilidade (UFC/mL)
0	0,00 E+ 00	8,67 E+ 07	0,00 E+ 00	8,60 E+ 05
15	3,00 E- 03	6,00 E+ 05	3,00 E- 03	3,07 E+ 05
30	6,00 E- 03	6,67 E+ 04	6,00 E- 03	2,03 E+ 04
45	9,00 E- 03	1,07 E+ 04	9,00 E- 03	8,07 E+ 03
60	1,20 E- 02	2,67 E+ 03	1,20 E- 02	1,84 E+ 03
120	2,4 E- 02	6,67 E+ 02	2,4 E- 02	1,43 E+ 03
180	3,6 E- 02	2,27 E+ 02	3,6 E- 02	1,47 E+ 03
240	4,8 E- 02	2,20 E+ 02	4,8 E- 02	1,62 E+ 03
300	6,00 E- 02	2,20 E+ 02	6,00 E- 02	1,47 E+ 03
360	7,20 E- 02	1,47 E+ 02	7,20 E- 02	1,91 E+ 03

Figura 4: Morte de *E.coli* em função da exposição



No experimento laboratorial, não existe somente a cinética de reação de inativação bacteriana, pois somente parte da água é exposta à radiação por um período. Desta forma, deve-se também ater ao tempo de retenção hidráulica da água na bacia do protótipo, a fim de analisar a cinética da reação de inativação da *E. coli*.

Os tempos de retenção hidráulica foram diferentes em função das vazões estabelecidas como parte do experimento. Para a vazão de 500 L/h, o tempo de retenção hidráulica foi de 3,6 minutos, para 250 L/h, o tempo foi de 7,2 minutos.

A razão da curva de morte com a vazão de 500 L/h se estabilizar em uma concentração menor do que a de 250 L/h de vazão pode ser explicada considerando os múltiplos fatores que contribuem para a manutenção de uma determinada população sobrevivente na bacia da torre de resfriamento: De um lado quanto maior a vazão de passagem pela tubulação contendo a lâmpada germicida maior a taxa de morte e do outro lado quanto maior essa vazão menor é o tempo para crescimento bacteriano (menor tempo de retenção hidráulica) ou mesmo para ocorrer a fotorreativação.

Estes resultados sugerem que, com uma melhor compreensão de como cada um dos fatores contribuem para a estabilização da população microbiana em uma torre de resfriamento, seria possível estabelecer sistemas mais efetivos de controle dessa população microbiana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOYD, R.F., General Microbiology, Second edition, Times Mirror/ Mosby College Publishing, USA, 1988.

BUCHARD, T.J. "Princípios de tratamento de águas industriais". Drew Produtos Químicos Ltda, São Paulo, 1979.

CHERNICARO, C.A. (Coordenador). Pós-tratamentos de efluentes de reatores anaeróbios, Primeira edição, Projeto PROSAB, Rio de Janeiro, 2001.

COSTA, C. "O uso de radiação ultravioleta no controle microbiológico em torres de resfriamento", Dissertação (Mestrado em tecnologia ambiental) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2007.

DANTAS, E. Tratamento de água de refrigeração e caldeiras, José Olympio Editora, Rio de Janeiro, 1988.

DAVIS, B.D. et al., "Microbiology", Harper & Row Publishers, New York, 1968.

GILPIN, R.W. et al., "Disinfection of circulating water systems by ultraviolet light and halogenation", Water Resource, Great Britain, n.7, p.839-848, 1985.

GRACE, R.D. et al., Susceptibility of Legionella pneumophila to three cooling tower microbiocides. Applied and environmental microbiology, USA, vol. 41, n.1, p.233-236, Jan 1981.

HIJNEN, W.A.M. et al. Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review. Water research, Great Britain, vol. 40, n.3, p.3-22, 2006.

KNUDSON, G.B. Photoreactivation of UV-irradiated Legionella pneumophila and other Legionella species. Applied and environmental microbiology, USA, vol. 49, n.4, p.975-980, Apr. 1985.

KRUEGER, R.G., et al., Introduction to Microbiology, The Macmillan Company, New York, 1973.

KUZUHARA, F. "Desinfecção de esgoto sanitário tratado em sistema de lagoas de estabilização por meio de radiação ultravioleta. 2005. 188f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Saúde Pública - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

PELCZAR Jr, M. J., REID, R.D. Microbiology. Second Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 1965.

PUB, "Technical Reference for Water Conservation in Cooling Towers, Singapore's National Water Agency, 1st Edition, Singapore, Nov 2017.

QIU, X. et al. Survival of *Shewanella oneidensis* MR-1 after UV radiation Exposure. Applied and environmental microbiology, USA, vol. 70, n.11, p. 6435-6443, Nov. 2004.

ROMANA, J.C. "Microrganismos e Morte Microbiana", Hospital Virtual Brasileiro, 2023, Disponível em: <<http://hospvirt.org.br/enfermagem/port/microrg.htm>>. Acesso em: 21, abril 2023.

SHECHMEISTER, I.L. Sterilization by ultraviolet irradiation. IN. Disinfection, Sterilization and Preservation, Seymour S. Block, Lippincott, Williams & Wilkins. p.553-565, 1991.

SINHA, R.P., HÄDER, D.P. UV- induced DNA damage and repair: a review. Photochemistry and photobiology, Great Britain, vol. 1, p. 225-236, 2002.

SOMMER, R., et al. Inactivation of bacteriophages in water by means of non-ionizing (UV-253.7 nm) and ionizing (gamma) radiation: a comparative approach. Water research, Great Britain, vol. 35, n. 13, p. 3109-3116, 2001.

SÖRENSEN, M., GURRATH, C., UV-Disinfection of cooling towers, Waste Water, Water Solutions Info, Germany, 2017.

TORTORA, G. et al., Microbiologia, 8ª ed. Artmed Editora, Porto Alegre, 2005.

13 - ATENDIMENTO TÉCNICO NO TRATAMENTO DE ÁGUA EM SISTEMAS DE RESFRIAMENTO

Por Carlos Ronaldo Brito Alves, Leonardo Cozac e Marcos Karas

RESUMO

Quando pensamos em um programa de tratamento de água, sempre vem à cabeça produtos químicos, equipamentos, bombas de dosagem, sensores, filtros, árvores de teste, entre outros aspectos fundamentais para o sucesso do tratamento químico preventivo.

Neste texto, abordamos o que consideramos ser um dos fatores de maior sucesso na gestão de um programa de tratamento de água, que é o atendimento técnico.

O ATENDIMENTO TÉCNICO

No mercado de prestação de serviços de tratamento de água, principalmente no denominado institucional, composto por shoppings, prédios comerciais, hospitais, hotéis, escolas, entre outros locais, onde não há pessoas designadas para cuidar da água que circula nos empreendimentos, o atendimento técnico precisa ser muito bem executado.

Sim, se faz necessário trabalhar com produtos químicos, bem como formulações de primeira linha, além do auxílio de sistemas de automação com dosagem e sensoriamento, que irão garantir o tratamento contínuo do sistema. Ocorre que esse programa de tratamento é montado de acordo com as características técnicas e operacionais das instalações, como vazão, volume estático, regime operacional previsto, qualidade da água de reposição, entre outros fatores.

Mas, no dia a dia, essas características iniciais previstas e condições operacionais mudam, como ocorre em épocas muito chuvosas, no verão e inverno etc., invariavelmente necessitando de ajustes no programa de tratamento.

Somente um atendimento técnico atento, presente e contínuo irá observar muitas dessas alterações. Mesmo sensores, limitados a suas funções, não identificarão mudanças importantes no tempo necessário de uma correção mais simples.

CASOS REAIS

Em geral, passamos por algumas experiências de campo, a exemplo da convivência com pombas, problema muito comum em regiões urbanas. Essas aves vão beber água na bacia da torre de resfriamento e acabam morrendo dentro desse recipiente, gerando um grande foco de contaminação e prejudicando a qualidade da água.

Outros episódios triviais se dão com as obras civis realizadas no entorno de edificações e próximas a torres de resfriamento. Raros são os gestores prediais que avisam ao profissional que trata da água ou protegem o sistema para evitar contaminação.

Lembro ainda do caso da instalação de um sistema de exaustão de cozinha em um restaurante localizado ao lado de uma torre de resfriamento – uma condição crítica para a qualidade da água.

Esses acontecimentos poderiam ser evitados se o programa de tratamento de água possuísse um atendimento técnico responsável, presente e qualificado, que proporcionaria maior chance de correção imediata, reduzindo custos operacionais e energéticos.

Esse atendimento deve ser feito por uma equipe, iniciando sempre pelo profissional responsável técnico legalmente habilitado, no caso de tratamento de água - químicos ou engenheiros químicos, com a devida anotação da responsabilidade técnica em seu conselho de classe, nos casos respectivos, CRQ e CREA.

O programa de tratamento de água deve ser desenvolvido por esse profissional, ou estar de acordo com o proposto pelo contratante, por meio de um escopo definido por consultores. Mas, geralmente, isso ocorre conforme seu conhecimento técnico e expertise e segundo as características das instalações. Ele definirá também a equipe técnica que irá operar o sistema, bem como as frequências de atendimento.

Esse atendimento pode ser feito pelo próprio responsável técnico, por supervisor ou por assistente técnico. Todos os profissionais envolvidos devem estar capacitados e desempenhar suas atividades sob a responsabilidade técnica do químico ou do engenheiro químico. As frequências das visitas técnicas de cada um dos profissionais definidas no programa também são fundamentais para um tratamento adequado. Recomenda-se, no início de um programa, que as visitas sejam mais frequentes até o responsável técnico estar seguro de que o escopo proposto está funcionando de acordo com o planejado, e inclua a possibilidade de realizar ajustes caso necessário, como mudança de produtos químicos, regimes de purgas ou outra alteração.

O acompanhamento dos profissionais ao longo do programa é importante para o conhecimento das características de cada instalação e sistema. Novamente, compartilhamos experiências próprias retiradas de um atendimento contínuo. Para começar, sabemos que há épocas do ano em que o sistema opera mais, ou menos, e assim é possível ajustar o tratamento com maior assertividade.

Alguns exemplos vêm de hotéis em períodos de férias e de verão, onde há maior uso do sistema de climatização e, portanto, mais evaporação e consumo de produtos. Em sistemas instalados em hospitais, um bom atendimento técnico pode ser realizado com acesso à informação sobre a ocupação de leitos, possibilitando o ajuste do processo de tratamento dentro dessa realidade.

Fazendo uma analogia à área clínica, a importância do atendimento técnico para sistemas de tratamento de água pode ser comparada ao atendimento médico ao ser humano. É consenso, na sociedade, que o “médico de família” é importante para o acompanhamento da saúde das pessoas ao longo da vida. Ele já conhece o histórico, as características e os hábitos de seus pacientes, tornando muito mais fáceis e assertivas as suas ações preventivas e corretivas. O mesmo raciocínio se aplica para o maior sucesso no tratamento de água de sistemas de climatização. Quanto mais a equipe conhecer as instalações e suas características operacionais, melhor será conduzido o programa.

Outra característica importante nesse atendimento, que se assemelha também à área clínica, é ouvir o cliente. Quando a equipe técnica está presente constantemente perto do contratante, mais rápidas as informações pertinentes chegam com qualidade e podem ajudar no programa de tratamento. Caso não tenha essas informações disponíveis, o planejamento inicial pode ser muito prejudicado.

Mais um exemplo ocorre quando a edificação precisa mudar a origem da água de alimentação, algo que ocorre em muitos locais, utilizando caminhão-pipa e sem comunicar o responsável pelo tratamento da água. Todo o programa planejado perderá seu efeito, pois foi idealizado para uma qualidade de água de reposição, a qual muito provavelmente será alterada. Quando se tem uma equipe técnica atenta, essa informação chega previamente, realizando os ajustes necessários previamente à mudança do regime operacional.

Outro caso recorrente acontece quando há inspeção interna dos trocadores de calor. Para isso, é fundamental convocar o responsável técnico pelo tratamento da água para acompanhar esse processo. É um local de acesso restrito e de grande importância para avaliar a eficácia do tratamento utilizado. De acordo com o observado na inspeção, o responsável pode ajustar, ou manter, o programa vigente.

ATENDIMENTO DE QUALIDADE

Saindo da parte técnica, mas ainda sobre a importância de um atendimento adequado, sistemas de tratamento de água são assuntos de desconhecimento de leigos e de muitos gestores prediais. Ter uma equipe próxima ao cliente para o esclarecimento de resultados analíticos, dúvidas técnicas, informações cotidianas, entre outras situações corriqueiras, faz parte de um serviço de qualidade. Afinal, tranquilidade e segurança são tudo o que o cliente espera

quando contrata uma empresa prestadora de serviço. A maior parte dos contratantes deseja que seus fornecedores estejam próximos quando necessário.

É comum que contratantes recebam relatórios analíticos com resultados microbiológicos e físico-químicos das amostras de água, e muitas vezes, não sabem interpretar nem planejar ações de melhorias necessárias. Em um cenário onde o atendimento técnico é eficaz, esse apoio no entendimento das informações é importante para o sucesso do tratamento da água e para a redução dos riscos de prejuízos.

Um atendimento de qualidade também ocorre quando o prestador de serviço assume a responsabilidade pela operação e qualidade da água. Isso significa que o escopo técnico definido coloca a empresa contratada como responsável por todo o serviço necessário. Isso engloba desde o fornecimento de produtos, visitas periódicas, coletas e análise de amostras, equipamentos de automação, como dosagem e sensoramento.

Dessa forma, acontece com escopos mais simples, mas igualmente importantes, contendo sistema de contenção de produtos, retirada de reservatórios vazios, limpeza das torres de resfriamento, inspeção dos sistemas, fornecimento de documentação dos colaboradores e produtos, tais como FISPQ, autorizações e licenças legais, anotação de responsabilidade técnica, entre outras. Ou seja, assumir sua responsabilidade, de acordo com o escopo contratado e acertado previamente, para garantir o sucesso do tratamento.

Por isso, quando for propor ou contratar um serviço, é fundamental entender a estrutura de atendimento disponível para aquela instalação. É comum empresas de prestação de serviços terem equipes muito bem qualificadas em um tipo de instalação, ou até mesmo em algumas regiões do país. Mas outras não têm a mesma estrutura. Prestação de serviços depende muito de mão de obra qualificada e bem treinada. E sabemos que esse é um desafio grande em nossa sociedade em diversos setores da economia.

Mão de obra mais qualificada tem valor de contratação mais elevado, aumentando o custo final na prestação de serviços de tratamento de água. E como custo sempre é um dos fatores mais críticos em uma contratação, esse entendimento deve ser considerado. Muitas instalações existentes em edifícios novos e modernos, certificados com muita tecnologia embarcada, com as instalações mais avançadas, também demandam profissionais qualificados na sua operação. Contratantes, portanto, devem exigir nos escopos de contratação, a formação técnica dos profissionais que irão atendê-los, tendo maior confiabilidade na entrega desejada.

A prestação de serviços por uma empresa de tratamento de água para sistemas de resfriamento envolve uma abordagem abrangente para garantir a qualidade da água, a eficiência do sistema e a conformidade com regulamentações legais e ambientais.

O PROCESSO

Aqui estão algumas etapas importantes para serem consideradas desde o início do processo:

AVALIAÇÃO INICIAL

Realizar uma avaliação completa do sistema de resfriamento para entender suas necessidades específicas e identificar problemas existentes. Isso inclui analisar a qualidade da água de alimentação, as condições do sistema e os requisitos de resfriamento.

DESENVOLVIMENTO DE ESTRATÉGIA

com base na avaliação inicial, desenvolver uma estratégia personalizada para o tratamento de água. Isso pode incluir métodos de controle de corrosão, prevenção de incrustações, desinfecção e gerenciamento de sólidos suspensos.

SISTEMAS DE TRATAMENTO

Implementar sistemas de tratamento de água adequados, como dosagem de produtos químicos, filtros, dispositivos de controle de pH e condutividade, sistemas de dosagem automática, entre outros. Escolher sistemas que atendam às necessidades específicas do sistema de resfriamento.

MONITORAMENTO CONTÍNUO

Estabelecer um programa de monitoramento contínuo para acompanhar a qualidade da água, a eficácia dos tratamentos e a performance geral do sistema. Isso demanda envolver análises regulares da água, medição de parâmetros-chave e ajustes conforme necessário.

MANUTENÇÃO REGULAR

Realizar manutenções preventivas regulares nos sistemas de tratamento de água e no sistema de resfriamento em si, pela equipe designada. Isso inclui a limpeza de equipamentos, a substituição de filtros, a calibração de dispositivos de dosagem e a medição e inspeção geral do sistema.

TREINAMENTO E EDUCAÇÃO

Fornecer treinamento adequado para a equipe do contratante responsável pelo sistema de resfriamento, como interpretação de laudos. Isso garantirá que eles compreendam a importância do tratamento de água, saibam como operar os sistemas e possam identificar problemas potenciais.

GESTÃO DE REGULAMENTAÇÕES

Manter-se atualizado com as regulamentações locais e ambientais relacionadas ao tratamento de água e aos sistemas de resfriamento, assegurando-se de que todas as práticas estejam em conformidade com essas regulamentações.

COMUNICAÇÃO TRANSPARENTE

Manter uma comunicação aberta e transparente com a equipe do contratante. Informar sobre o progresso, os resultados das análises, os ajustes realizados e quaisquer recomendações para otimização do sistema.

RESPOSTA A EMERGÊNCIAS

Tenha um plano de ação para lidar com situações de emergência, como surtos de *Legionella*, ou problemas graves no sistema. Isso inclui procedimentos para desinfecção rápida e resolução de problemas críticos.

APRIMORAMENTO CONTÍNUO

Sempre busque maneiras de melhorar a eficiência do sistema, reduzir custos operacionais e otimizar os processos de tratamento de água. Isso pode envolver a implementação de novas tecnologias ou métodos mais eficazes.

CONCLUSÃO

Lembramos que a melhor abordagem pode variar com base nas necessidades específicas da edificação, nos regulamentos locais e nas características do sistema de resfriamento. Portanto, é recomendável envolver especialistas em tratamento de água e profissionais capacitados para desenvolver a estratégia mais adequada.

Finalizando, essas orientações descritas neste texto podem parecer simples e básicas nos conceitos de atendimento ao cliente, e, realmente, são, porém nem sempre são observadas nos serviços prestados em tratamento de água, resultando em muitos insucessos nos programas propostos.

Mesmo em tempos de inteligência artificial – o que é muito bom e natural no desenvolvimento da sociedade moderna, ainda dependemos do elemento humano em nossas atividades, desde as mais simples até as mais complexas

14 - OS BENEFÍCIOS DO AR CONDICIONADO CONTRA SURTO EPIDÊMICO

Por Arnaldo L. Parra

O ar condicionado é o ar submetido a certas condições, a saber: temperatura, umidade, pureza e velocidade. Ou seja, se conseguimos controlar estas grandezas, significa que podemos ter ambientes com pureza e conforto melhores do que diretamente na atmosfera. Dentro desta perspectiva, podemos entender que ao controlarmos a pureza do ar destes ambientes, significa que estaremos removendo poluentes indesejáveis, tais como pó, excesso de umidade e até odores.

Nas instalações de ar condicionado mais comuns, existem filtros de ar cuja função é reter partículas sólidas e líquidas e filtros de mediana eficiência, que retêm essas partículas. Os vírus, quando existentes no ar, são transportados por essas partículas. Neste sentido, impedindo a passagem dessas partículas, impede-se a chegada de vírus e bactérias ao ambiente.

Entretanto, para que este cenário ocorra, são necessárias intervenções preventivas para que o uso de espaços climatizados possa estar dentro dos parâmetros de aceitabilidade, e assim favorecer a saúde, segurança e o bem-estar das pessoas.

Uma das ações de suma importância é prover a correta e imprescindível renovação de ar, permitindo a tomada de ar externo na sua maior vazão possível, observando-se sempre as condições exteriores para evitar contaminações indesejadas, *ou seja, diluindo e removendo poluentes dos ambientes climatizados, cujo resultado obtido será a redução do risco de contaminação para uma série de doenças transmissíveis pelo ar, inclusive as virais.*

Uma excelente forma de controle é a avaliação semestral da qualidade do ar interno, ajustando e corrigindo eventuais desvios.

Se possível, manter os sistemas de renovação de ar de forma constante, 24 horas/dia, a fim de assegurar sempre a diluição de eventuais contaminantes dos ambientes internos.

Locais fechados com alta concentração de pessoas, como shopping centers, agências bancárias, salas de telemarketing (call center) e escolas devem ter especial atenção à renovação do ar, inclusive com monitoramento constante do nível de CO₂, com o objetivo de manter uma eficiente renovação do ar.

Outra ação importantíssima é manter atualizado o Plano de Manutenção, Operação e Controle PMOC do Ar Condicionado. Manter todo o sistema de climatização limpo e higienizado, incluindo bandejas, sifões, serpentinas, ventiladores e dutos de distribuição de ar.

Diante desta ótica, percebe-se que os serviços de manutenção e a restrita observação das rotinas do PMOC podem obter, além de conforto, também algum grau de segurança para as pessoas. Os serviços especializados de manutenção nos sistemas de climatização assumem papel importante na vida das pessoas em geral, determinado pelo tempo em que as mesmas ficam expostas a ambientes artificialmente climatizados.

Todas as aplicações da manutenção e substituição dos filtros de ar dos sistemas de climatização devem ser feitas de forma rigorosa, somente por empresas legalmente habilitadas, com profissionais amplamente capacitados e especializados, como forma de trazer o máximo de segurança para as operações, como também o devido conforto e preservação da saúde dos ocupantes dos ambientes climatizados.

15 - A IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO DO AR-CONDICIONADO SOB A ÓTICA DO PMOC PLANO DE MANUTENÇÃO, OPERAÇÃO E CONTROLE DE CLIMATIZAÇÃO

Por Arnaldo L. Parra

Quando falamos em Qualidade do Ar que respiramos em ambientes internos, estamos nos referindo diretamente também à Qualidade da Manutenção aplicada aos sistemas de climatização. Não há como assegurar uma boa qualidade do ar sem os serviços de manutenção adequados.

Em especial em ambientes de grande fluxo de pessoas, de diversas regiões e costumes, o correto controle de poluentes pode significar maior segurança, bem-estar e conforto. Para períodos de pandemia e mesmo pós-pandemia, estabelecimentos que prestam maior atenção para estes detalhes se diferenciam dos demais pela oferta de ambientes e habitações também mais seguras, agindo a favor de seus hóspedes e criando um ambiente positivo e valorizado.

Chamamos de Boas Práticas de Manutenção para Sistemas de Ar-Condicionado o conjunto de atividades que estejam de acordo com as normas e leis que regem o setor.

AS NORMAS ABNT APLICÁVEIS PARA TAL SÃO:

- **NBR 16401 (Sistemas de ar-condicionado);**
- **NBR 13971 (Manutenção programada);**
- **NBR 15848 (Inspeção interna de dutos de ar);**
- **NBR 14679 (Limpeza de dutos);**
- **NBR 5410 (Instalações elétricas de baixa tensão);**
- **NBR 16655 (Instalação de AC residencial – Mini Split e ACJ);**
- **NBR 17037 (Qualidade do ar de interiores);**

PARA AMBIENTES DIFERENCIADOS, ADOTAM-SE TAMBÉM AS NORMAS ESPECÍFICAS, TAIS COMO:

- ***NBR 14518 (Ventilação e controle de poluição para cozinhas profissionais);***
- ***NBR 7256 (Ambientes de EAS – Estabelecimentos de Assistência à Saúde);***

Os padrões de qualidade do ar de interiores devem atender à regulamentação existente. A Resolução RE-09 da ANVISA, revogada em 2024, estabelecia os parâmetros de aceitabilidade da qualidade do ar, indicando os valores máximos de contaminantes permitidos. A Norma ABNT 16401, em sua parte 3, apresenta também quadro com os principais poluentes e seus níveis máximos de concentração. Desde 2023, já está em vigor a NBR 17037, que substituiu a RE-09 ANVISA, atualizando os parâmetros de aceitabilidade da qualidade do ar de interiores.

A boa manutenção do sistema de ar-condicionado proporciona uma relação de mútuo benefício entre os diversos agentes envolvidos, tais como o *proprietário ou investidor do imóvel, os usuários dos ambientes climatizados, os prestadores de serviços de manutenção e, finalmente, o Poder Público em suas diversas esferas:*

- Assim, o proprietário do imóvel ou investidor é beneficiado, pois a boa manutenção assegura a longevidade e performance de seus equipamentos, economizando energia, água e protegendo seu investimento, além de propiciar ambientes agradáveis, minimizando possibilidades de contágio de diversas enfermidades, inclusive as virais, incrementando a produtividade e combatendo o absenteísmo, criando assim uma atmosfera de respeito e segurança aos ocupantes.
- O usuário do ambiente climatizado também é beneficiado, visto que além de aumentar sua performance, preserva sua saúde e bem-estar, elevando seu padrão de vida e percepção de experiência no uso da habitação e dos demais ambientes.
- O prestador de serviços de manutenção beneficia-se ao ter seu mercado de trabalho valorizado e prestigiado;
- Finalmente, o Poder Público recebe benefícios, pois com a manutenção eficiente poderá fornecer menos água e energia, ajuizará menos reclamações trabalhistas, menos afastamentos do trabalho, menos atendimentos no Sistema de Saúde pelo melhor controle de poluentes, além do ciclo virtuoso de geração de empregos e impostos.

Vários fatores contribuem a favor ou em desfavor da qualidade do ar que respiramos, e isto acaba se tornando uma preocupação do Estado de maneira mais ampla, devido aos desdobramentos decorrentes de sistemas de ar-condicionado com má manutenção podem ocasionar. O assunto toma tal importância a partir da constatação de que múltiplos micro-organismos podem ser transmitidos e/ou propagados por sistemas de climatização sem a devida manutenção preventiva periódica.

Dentro desta perspectiva, tanto o Governo Federal quanto a sociedade civil já buscavam formas de regulamentar essas atividades.

AS LEIS ATUAIS QUE REGULAMENTAM E INFLUENCIAM O PMOC SÃO:

- *Art. 225 da Constituição Federal, que define o “meio ambiente”;*
- *Lei Federal 6.437/77, que estabelece multas para infrações sanitárias;*
- *Lei Federal 6.938/81, que define “poluição”;*
- *Resolução 491 – CONAMA, que define “poluente atmosférico”;*
- *Normativa 14 do MMA, que proíbe liberação para a atmosfera de refrigerantes agressivos à camada de ozônio;*
- *Lei Federal 9.605/98, que estipula pena de até 4 anos de reclusão para crimes de poluição;*
- *Decreto Federal 6.514/08, que estipula multa de até R\$ 50.000,00 para crimes de poluição;*
- *Lei Federal 13.589/18, que exige PMOC para todas as edificações de uso público e coletivo;*
- *Portaria 3.523/98 (regulamento técnico do PMOC), que exige manutenção para sistemas de climatização;*

Nota: Apesar de as Normas da ABNT não terem força de lei, a Lei Federal 13.589/18 exige o cumprimento destas Normas.

HISTÓRICO

A preocupação com o meio ambiente e eventuais contaminações por meio de poluentes do ar já é antiga.

Em dezembro de 1992, profissionais do setor se reuniram na Sede da ABRAVA, para elaboração da Norma de Manutenção Programada de Refrigeração e Ar Condicionado, que em 1997 seria publicada como a NBR 13971. Esta Norma é muito importante, pois formou a base do PMOC.

A suspeita de que a qualidade do ar no gabinete do então Ministro das Comunicações, Sérgio Motta, agravou as condições que levaram à sua morte em abril de 1998, incentivou a criação de uma lei específica.

Assim, em 28 de agosto de 1998, o Ministro de Estado da Saúde, José Serra, decretou a Portaria 3.523, a qual exige a manutenção dos aparelhos de ar-condicionado, determina procedimentos de limpeza e manutenção da integridade e eficiência de seus componentes como forma de garantir a qualidade do ar dos ocupantes dos edifícios que possuem estes sistemas de condicionamento.

Esta Portaria criou o PMOC – Plano de Manutenção, Operação e Controle para sistemas de climatização, e estabeleceu que todos os edifícios de uso coletivo e que tenham sistemas de condicionamento de ar necessitam seguir certas diretrizes para garantir a qualidade do ar interior, da qual destacamos os seguintes parágrafos e itens:

Art. 6º: Os proprietários, locatários e prepostos, responsáveis por sistemas de climatização com capacidade acima de 5 TR (60.000 BTU/h), deverão manter um **responsável técnico habilitado**, com as seguintes atribuições:

a. implantar e manter disponível no imóvel um Plano de Manutenção, Operação e Controle – PMOC, adotado para o sistema de climatização. Este Plano deve conter a identificação do estabelecimento que possui ambientes climatizados, a descrição das atividades a serem desenvolvidas, a periodicidade das mesmas, as recomendações a serem adotadas em situações de falha do equipamento e de emergência, para garantia de segurança do sistema de climatização e outras de interesse, conforme especificações do Anexo I deste Regulamento e NBR 13971/97.

Art. 8º: Os órgãos competentes de **Vigilância Sanitária farão cumprir este Regulamento Técnico**, mediante a realização de inspeções e de outras ações pertinentes, com o apoio de órgãos governamentais, organismos representativos da comunidade e ocupantes dos ambientes climatizados.

Art. 9º: O não cumprimento deste Regulamento Técnico configura **infração sanitária**, sujeitando o proprietário ou locatário do imóvel ou preposto, bem como o responsável técnico, quando exigido, às penalidades previstas na **Lei nº 6.437**, de 20 de agosto de 1977, sem prejuízo de outras penalidades previstas em legislação específica.

REFLEXOS LEGAIS DO PMOC

Considerando a **Lei Federal 13.589/18** e a **Portaria 3.523/98**, o descumprimento total ou parcial do PMOC expõe o proprietário do estabelecimento às penalidades previstas na **Lei 6.437/77** com **multa de R\$ 2.000,00 até R\$ 1.500.000,00**, com base na gravidade e no porte do estabelecimento, sendo dobrado na reincidência, além de sanções civis.

O descumprimento do PMOC, que ocasione níveis de poluição para os ambientes climatizados acima dos estabelecidos na NBR 17037/23, infringe também a **Lei Federal 6.938/81** e a **Resolução 491 (CONAMA)**, gerando um crime de poluição, passível de punição conforme estabelece a **Lei Federal 9.605/98, de 1 a 4 anos de detenção, e o Decreto Federal 6.514/08, com multa de R\$ 5.000,00 a R\$ 50.000,00**, além de outras sanções.

A falta do PMOC, ou mesmo expor classe laboral a níveis de poluentes acima do estabelecido na Norma NBR 17037/23, pode ensejar demanda trabalhista por trabalho em ambientes insalubres de grau médio a máximo, de acordo com as NRs da **CLT** (Consolidação das Leis Trabalhistas).

**1 - PMOC ELABORADO DE ACORDO COM A PORTARIA 3.523/98,
COM AS SEGUINTE INFORMAÇÕES:**

- A - Cadastro completo do locatário ou proprietário do imóvel*
- B - Identificação do prestador de serviços;*
- C - Identificação do responsável técnico legalmente habilitado pelos serviços;*
- D - Quadro de ambientes;*
- E - Quadro de equipamentos;*
- F - Laudos de qualidade do ar semestrais;*
- G - Projeto ou as-built das instalações da climatização;*

2- SERVIÇOS PRESTADOS POR EQUIPE OU EMPRESA ESPECIALIZADA;

3 - RELATÓRIOS MENSIS CONTENDO APROVAÇÃO DO ENG. ESPECIALIZADO;

VALE LEMBRAR QUE EXISTEM 3 FASES PARA A RESPONSABILIDADE TÉCNICA PELO PMOC:

- A - Responsabilidade pela elaboração do PMOC;*
- B - Responsabilidade pela supervisão das atividades do PMOC;*
- C - Responsabilidade pela execução das atividades do PMOC;*

É importante destacar a devida legalidade para cada atividade acima, a fim de evitar multas ou outras infrações.

16 - O USO DO AR-CONDICIONADO E O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Novas tecnologias, sensação térmica adequada e manutenção periódica são fatores que contribuem para o equilíbrio no consumo de energia em tempos de bandeira tarifária vermelha

Por Arnaldo L. Parra

Dependendo das condições climáticas e dos níveis dos reservatórios das represas de hidrelétricas, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) decreta bandeira tarifária vermelha patamar 2, o nível mais alto, mas com alguns cuidados, é possível fazer o uso do equipamento de climatização sem aumentar o consumo da energia.

A indústria já oferece uma sensível evolução tecnológica do ponto de vista da eficiência energética, o que permite que os sistemas de climatização apresentem níveis de consumo de eletricidade até 40% menores com relação a sistemas produzidos na década de 1990. Isto favorece tanto os ocupantes de ambientes corporativos quanto a população em geral, que assim podem continuar a usufruir do conforto térmico sem ter que desligar seus equipamentos de climatização por conta de tarifas sobretaxadas, visto que equipamentos modernos são extremamente eficientes e econômicos.

O uso do ar-condicionado ao longo dos anos deixou de ser um item de luxo, por estar ligado diretamente à qualidade de vida, pois o conforto térmico se faz necessário no dia a dia do ser humano, visto que cada indivíduo respira cerca de 450 litros de ar por hora e 10 mil litros por dia, e passa cerca de 80% do seu dia em ambientes fechados. Sistemas de climatização são vitais para o bem-estar dos seres humanos, em usos que vão desde a fabricação e conservação de remédios, alimentos, hospitais, *datacenters*, *shoppings centers*, indústrias, aeroportos, residências, entre tantos outros tipos de ambientes de circulação de massa humana.

Na prática, um sistema de ar-condicionado bem projetado e dimensionado, corretamente instalado, com a operação e manutenção realizadas periodicamente, significa um consumo

de energia adequado e um ambiente climatizado com controle de temperatura, umidade, filtragem, renovação de ar, controle da velocidade e distribuição uniforme do ar no ambiente, fatores que aumentam a produtividade, purificam o ar respirado e apresentam sensação de bem-estar, o que propicia melhores condições de trabalho, incrementando a produtividade e, ao mesmo tempo, uma melhor qualidade de vida, além de um ambiente silencioso e sem ruídos externos.

Hoje em dia, existem no mercado diversos modelos de condicionadores de ar, e alguns requisitos devem ser observados para que o custo-benefício seja interessante para o comprador, como: a capacidade térmica do equipamento – geralmente utilizado o BTU/h (Unidade Térmica Britânica), que define qual carga térmica deverá ser removida do ambiente.

Entretanto, para o cálculo certo da necessidade de refrigeração, vários fatores devem ser observados, tais como área (m²) local, circulação de pessoas e insolação, que se não observados sobrecarregam o equipamento, e, desta forma, consomem mais energia.

Recomendo, assim, sempre consultar um especialista na hora da compra e preferencialmente a contratação de um projetista para definição destes parâmetros.

No quesito de consumo de energia em edifícios comerciais, estima-se que o uso do ar-condicionado represente de 30% a 40% do consumo total de energia. Desta forma, a indústria tem trabalhado para produzir produtos cada vez mais eficientes, pois os esforços tecnológicos de conservação de energia se justificam do ponto de vista econômico, social e ambiental.

Algumas dicas para o melhor desempenho do ar-condicionado e melhor eficiência energética:

- ***Manter a temperatura em 24°C (conforme indicado pela OMS – Organização Mundial da Saúde), em conformidade com a Portaria 3.523/98 e a ABNT NBR 17037/23, evitando temperaturas muito abaixo ou mesmo muito acima, como forma de ampliar a vantagem do ar condicionado como fator de aumento da produtividade e bem-estar dos ocupantes dos recintos climatizados.***

- ***Limpeza dos componentes: filtros de ar, trocadores de calor, ventiladores, gabinetes e acessórios. A boa manutenção assegura uma operação do sistema livre de problemas, com máxima eficiência e mínimo consumo de energia, e desta forma garantindo a longevidade dos equipamentos, excelente qualidade do ar de interiores e podendo economizar até 50% de energia se comparado com sistemas sem a devida atenção de manutenção preventiva.***

- ***Estudos indicam que, se todos os equipamentos de climatização com mais de 25 anos de funcionamento existentes no Brasil fossem substituídos por equipamentos de última geração, a economia resultante com eletricidade seria da ordem de uma usina hidrelétrica da dimensão de Itaipu.***

SOBRE A MANUTENÇÃO DE SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO

Os procedimentos de Manutenção para os sistemas de climatização podem ser divididos em três categorias, tais como Preventiva, Corretiva e Preditiva. Cada uma das fases acontece em um momento:

PREVENTIVA

Momento em que os procedimentos são previamente planejados e ações técnicas necessárias à garantia de desempenho e de durabilidade dos equipamentos, que evitem ou minimizem a possibilidade de interrupção da solução, garantindo a substituição de peças, ajustes e reparos previstos nos manuais e nas normas técnicas especificadas pelo fabricante.

CORRETIVA

Procedimentos não agendados e sob demanda, destinados a recolocar os equipamentos em seu perfeito estado de uso.

PREDITIVA

Procedimentos de análise de parâmetros dos sistemas, tais como temperaturas, pressões, vibrações, correntes que, uma vez combinados, levem a uma interpretação do funcionamento e previsão de quebra ou vida útil de máquinas e componentes, permitindo aprimoramento da manutenção preventiva.

No item **qualidade do ar interno**, o primeiro conjunto de regras voltadas a garantir a qualidade do ar em ambientes climatizados foi a Portaria 3.523/98, do Ministério da Saúde, que estabelece regulamento de procedimentos de limpeza em sistemas de climatização para edifícios de uso coletivo, denominado PMOC (Plano de Manutenção, Operação e Controle).

Mais recentemente, a Lei 13.589/18 foi sancionada com os mesmos objetivos. A orientação é que as empresas que possuam ambientes climatizados, observem que, de acordo com as leis vigentes, é necessário manter um responsável técnico devidamente habilitado, para responder pelos serviços de manutenção previstos nas normas técnicas e leis, tais como a NBR 13971, NBR 16401, NBR 17037, dentre outras, que dispõem de informações sobre o uso e a manutenção de sistemas de ar-condicionado.

Os padrões referenciais adotados complementam as medidas básicas definidas na Portaria GM/MS nº 3.523/98, de 28 de agosto de 1998, para efeito de reconhecimento, avaliação e controle da qualidade do ar interior nos ambientes climatizados. É fundamental observar a necessidade do Laudo de Qualidade do Ar, a ser emitido semestralmente por laboratório

independente e especializado, para a devida avaliação da qualidade do ar de interiores.

Este documento poderá subsidiar as decisões do responsável técnico pelo gerenciamento do sistema de climatização quanto à definição de periodicidade dos procedimentos de limpeza e manutenção dos componentes do sistema.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

A gestão eficiente de sistemas industriais, como os de refrigeração e torres de resfriamento, desempenha um papel essencial na busca por sustentabilidade, economia de energia e segurança operacional. Este e-book reúne *insights* e práticas inovadoras, abordando desde o monitoramento contínuo da qualidade da água até a prevenção de riscos e a otimização de sistemas de climatização industrial.

Os sistemas de refrigeração com centrais de condensação à água são amplamente reconhecidos por sua eficiência energética, especialmente em aplicações de grande escala, como edifícios comerciais e indústrias. Porém, para que essa eficiência seja maximizada, o tratamento adequado da água é crucial. Ao controlar indicadores microbiológicos e eliminar incrustações nos condensadores, não apenas se prolonga a vida útil dos equipamentos, como também se minimizam os custos energéticos. Nesse contexto, o monitoramento contínuo, aliado ao uso de tecnologias como IoT, possibilita ajustes em tempo real, garantindo que os sistemas operem em sua capacidade de projeto.

O controle microbiano também é um aspecto indispensável. Tradicionalmente realizado com agentes químicos, ele pode ser complementado pelo uso de radiação ultravioleta, uma alternativa sustentável que reduz o impacto ambiental e melhora a segurança operacional.

Outro ponto fundamental abordado no e-book é a prevenção da Legionelose, um risco presente em águas de resfriamento. Técnicas avançadas de análise para detecção da bactéria *Legionella*, aliadas à adoção das diretrizes da ABNT NBR 16824, são fundamentais para mitigar esses riscos e assegurar a saúde dos ocupantes.

Por fim, a eficiência de sistemas de ar-condicionado central, especialmente os *chillers*, é outro fator decisivo. Esses equipamentos, que muitas vezes representam entre 40% e 50% do consumo de energia elétrica de edificações comerciais, têm seu desempenho diretamente influenciado pelas condições dos condensadores. Superfícies contaminadas aumentam a pressão de condensação e, conseqüentemente, o consumo de energia. A manutenção preventiva e a limpeza regular são práticas indispensáveis para restaurar o coeficiente de performance e promover a operação eficiente.

CATARINA SANDOR - VP do DN Tratamento de Águas ABRAVA

REALIZAÇÃO



PATROCÍNIO



APOIO



DEPOIMENTOS

Promover a atividade plena da Química, com vistas a contribuir para o desenvolvimento sustentável do país, é um compromisso do Sistema CFQ/CRQs. Nesse sentido, participa de debates nas mais variadas áreas da Química. A cada parceria firmada com as entidades relacionadas à área, como a ABRAVA, e com a participação nos eventos de relevância, como o CONBRAVA e o CONATRAT, o Sistema CFQ/CRQs tem reforçado a importância dos Profissionais da Química para a nação.

No setor de AVAC-R, é inegável a importância da água. Sua qualidade influencia nos parâmetros de segurança, na eficiência energética, nos custos operacionais e no consumo. Por ser um bem finito e valioso, a água deve ser manejada de forma sustentável por profissionais capacitados e, especialmente no que tange a garantia da qualidade, por Profissionais da Química legalmente habilitados, os quais são responsáveis por realizar o tratamento adequado.

Os circuitos que utilizam água como trocador de calor devem ser monitorados constantemente por meio de análises químicas, físico-químicas e microbiológicas. Esse monitoramento é fundamental para evitar problemas como:

- Desenvolvimento de processos corrosivos, que abreviam a vida útil das peças;
- Processos de incrustação, que dificultam trocas térmicas, além de obstruir tubulações, interferindo diretamente no consumo de energia e no desgaste precoce de equipamentos;
- Proliferação microbiológica de fungos e bactérias, que favorecem a corrosão sob biofilme, reduzem a eficiência energética e representam risco à saúde, como o contágio por bactérias do gênero *Legionella*.

Os Profissionais da Química são fundamentais para o tratamento e controle de qualidade da água. Assim, o Sistema CFQ/CRQs, com o objetivo de contribuir com as discussões sobre o uso da água no setor de AVAC-R, se prontificou a participar e apoiar as ações do DNTA/ABRAVA, exaltando e valorizando a publicação de materiais técnicos e científicos de qualidade, como o presente livro, e reconhecendo a importância de associações como a ABRAVA para a Química no Brasil.

JOSÉ DE RIBAMAR OLIVEIRA FILHO - *Presidente Conselho Federal de Química*

DEPOIMENTOS

Um livro que compila artigos sobre tratamento de água em sistemas de climatização e refrigeração é uma ferramenta valiosa para profissionais e estudantes desses setores. A importância desse tipo de publicação reside na disseminação de conhecimento técnico especializado, que é frequentemente escasso e disperso. Em um setor onde a eficiência e a segurança são cruciais, a disponibilidade de informações de qualidade pode significar a diferença entre um sistema bem projetado e outro que falha em atender às necessidades operacionais.

O tratamento de água é essencial para garantir a eficiência e a longevidade dos sistemas de climatização e refrigeração. A presença de impurezas na água pode causar corrosão, incrustações e reduzir a eficiência energética, resultando em custos adicionais e impactos ambientais negativos. Portanto, a compilação de artigos sobre técnicas de tratamento de água, como a remoção de minerais, o controle de pH e a prevenção da *Legionella*, é fundamental para melhorar a performance desses sistemas.

Além disso, a disseminação de conhecimento em um setor carente de informações pertinentes ajuda a promover a inovação e a colaboração entre especialistas. Em resumo, um livro que reúne artigos sobre tratamento de água em sistemas de climatização e refrigeração não apenas atende a uma necessidade imediata de informação, mas também impulsiona o progresso técnico e ambiental no setor.

PROF. ALBERTO HERNANDEZ NETO - *Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*

O tratamento de águas é fundamental para a vida em sociedade e para os processos industriais. A água pode atuar como matéria-prima ou insumo, e sua qualidade é essencial para a finalidade a que se destina. Disseminar informações sobre a importância do “Tratamento de Águas para o setor AVACR e sociedade” é uma das missões da ABRAVA, especialmente por meio do CNTA um fórum que reúne especialistas de áreas multidisciplinares, focado na integração entre sustentabilidade e eficiência no setor, promovendo práticas que beneficiam tanto a indústria quanto a sociedade.

A iniciativa de lançamento deste eBook, pelo DNTA ABRAVA, cumpre um papel essencial: ampliar o conhecimento sobre um tema de grande relevância. É importante compreender que existem diferentes tipos de água - para consumo, tratamento e uso industrial - e que, para cada aplicação, há exigências específicas quanto à qualidade e às características da água empregada.

CHARLES DOMINGUES - *Presidente do Comitê Nacional de Tratamento de Águas da ABRAVA*

SOBRE A ABRAVA

A ABRAVA - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento é a associação que representa os quatro setores correlatos, e compreende toda a cadeia da indústria, comércio e serviço. Gera mais de 250.000 empregos diretos e indiretos. Baseada no desenvolvimento tecnológico e nas Boas Práticas da Engenharia, entre os temas pautados estão: Eficiência Energética, Meio Ambiente, Sustentabilidade, Qualidade do Ar, Normalização, Capacitação, entre outros.

A Associação conta com 14 Departamentos Nacionais que atuam em diferentes frentes de trabalho, dedicadas ao desenvolvimento de cada uma das áreas específicas de mercado. Além de, uma estrutura administrativa e operacional focada na busca de benefícios para os setores representados, como jurídico, exportação, capacitação, entre outros.

A ABRAVA tem um papel relevante junto à sociedade, está presente em quase todas as iniciativas governamentais ligadas aos setores representados. Mantém diversos convênios, como o CB-55 (ABNT), Programa ABRAVA Exporta (APEX Brasil), além de, outras parcerias de acordos e iniciativas, nacionais e Internacionais, com entidades de classes, instituições acadêmicas e Órgãos Governamentais.

Fundada em 1962 a entidade tem a missão de: incentivar o desenvolvimento tecnológico e competitivo dos setores representados no país; promoção do uso correto de equipamentos, componentes, fluidos refrigerantes e insumos; divulgação das boas práticas brasileiras e internacionais de engenharia; desenvolvimento tecnológico e de Normas e procedimentos para garantir o bem-estar e a qualidade de vida nos ambientes internos e meio ambiente.

Saiba mais www.abrava.com.br

SOBRE O DNTA

Fundado em 2019, o DNTA tem atuado para difundir informações técnicas e orientativas à cadeia produtiva do frio e seus clientes diante das melhores práticas de tratamento de águas.

Tem por objetivo fortalecer o debate em torno do tratamento de águas no AVACR, focado em disseminar a importância do tema e o impacto nos negócios de uma empresa.

No plano de ação do DNTA consta uma série temas em pauta, como: ser o porta-voz do setor, disseminar informações técnicas e orientativas; buscar normalizações para padronização; elevar a capacidade de qualificação de mão de obra; e, em especial, manter-se em sintonia com o Conselho Nacional de Tratamento de Águas (CNTA) da entidade.

O grupo de empresas associadas da ABRAVA se reúne mensalmente, sempre atento às movimentações e necessidades do setor representado.

O mercado de tratadores de água industrial está diante de uma oportunidade singular de liderar essa transformação. Ao adotar práticas modernas de tratamento de água, integrando tecnologias avançadas e soluções sustentáveis, é possível atender às exigências ambientais, promover economia e reforçar a responsabilidade social corporativa.

O Departamento Nacional de Tratamento de Águas da ABRAVA reforça o compromisso com a inovação e a eficiência, convidando profissionais do setor a se posicionarem como protagonistas nessa nova era da gestão hídrica industrial.

Realização



Patrocínio



Apoio

