



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

ANDREIA ISABELLE BATISTA MADEIRA

**ANÁLISE DA IMPORTÂNCIA DO TRATAMENTO DA ÁGUA QUE CIRCULA EM
SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO DE *SHOPPING CENTERS* E PROPOSTA DE
MODELO DE GESTÃO INTEGRADA DA ÁGUA E DO AR.**

FORTALEZA

2022

ANDREIA ISABELLE BATISTA MADEIRA

ANÁLISE DA IMPORTÂNCIA DO TRATAMENTO DA ÁGUA QUE CIRCULA EM
SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO DE *SHOPPING CENTERS* E PROPOSTA DE MODELO
DE GESTÃO INTEGRADA DA ÁGUA E DO AR.

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia Ambiental da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de Engenheira
Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Cleiton da Silva Silveira

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M153a Madeira, Andreia Isabelle Batista.

Análise da importância do tratamento da água que circula em sistemas de climatização de shopping centers e proposta de modelo de gestão integrada da água e do ar / Andreia Isabelle Batista Madeira. – 2022.

73 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Cleiton da Silva Silveira.

1. Sistemas de climatização. 2. Gestão integrada. 3. Qualidade da água. I. Título.

CDD 628

ANDREIA ISABELLE BATISTA MADEIRA

ANÁLISE DA IMPORTÂNCIA DO TRATAMENTO DA ÁGUA QUE CIRCULA EM
SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO DE *SHOPPING CENTERS* E PROPOSTA DE MODELO
DE GESTÃO INTEGRADA DA ÁGUA E DO AR.

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia Ambiental da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de Engenheira
Ambiental

Aprovada em: xx/xx/xxxx.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Cleiton da Silva Silveira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. Mauro Ricardo Roxo Nóbrega
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Tyhago Aragão Dias
Faculdade 5 de Julho

A Deus.

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

À Deus, em primeiro lugar, por me sustentar até aqui e não me permitir desistir apesar dos pesares.

Aos meus pais, minha fortaleza e o maior motivo de todo meu esforço, por toda educação dada a mim, mesmo com todas as dificuldades da vida.

A minha avó, que tantas vezes acordou cedo para fazer meu café antes de eu sair para a luta e ao chegar em casa cansada estar me esperando com a janta preparada.

Ao meu noivo, que me ajudou e me apoiou em todos os momentos.

Aos meus amigos do ensino médio, pelas inúmeras vezes que sonhamos juntos com a graduação.

Ao professor Cleiton, pela paciência e empenho em sua orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora pelo tempo cedido para avaliar este trabalho.

Aos amigos e colegas da graduação, que ao longo desses mais de seis anos estiveram presentes, jamais teria conseguido chegar até aqui sozinha, foram muitas contribuições, trabalhos, estudos e projetos juntos.

Aos professores do curso por todo ensinamento e contribuição para minha formação.

À empresa maravilhosa em que faço parte e a todos os colegas de trabalho, por tanto auxílio, material para pesquisa e fundamentação teórica, por sanar minhas dúvidas, e acima de tudo, pela empatia e tempo cedido a mim, vocês foram essenciais na construção deste trabalho de conclusão.

A todos aqueles que já destinaram a mim palavras de incentivo e apoio, que acreditaram e cativaram meu potencial e vontade de vencer.

E por fim, a todos aqueles que lutam pela manutenção do ensino público e não desistem de tentar tornar a universidade um ambiente mais acolhedor.

“Inteligência é a habilidade das espécies para viver em harmonia com o meio ambiente.”
(Paul Watson)

RESUMO

A temática sustentabilidade está transformando a indústria de investimentos por todo mundo e há tempos a comunidade científica tem alertado sobre os impactos da degradação ao meio ambiente, que atinge a todos. Os grandes empreendimentos, que detêm expressivo poder econômico e político tem sentido a crescente pressão social por parte de seus consumidores. Trazendo esta temática para *Shopping Centers*, é sabido que existem muitas vertentes ambientais a serem tratadas, visto que são empreendimentos extensos com grande movimentação de pessoas. O presente trabalho abordará uma das principais, talvez até a mais importante. Estes grandes centros logísticos são, em sua maioria, ambientes fechados onde não há circulação natural de ar, portanto, toda a climatização acontece por meios de equipamentos de ar-condicionado. O principal intuito desse estudo é demonstrar a outra face dos Sistemas de climatização, que é o funcionamento interno, antes do ambiente receber o ar propriamente dito, e entender a importância do tratamento da água que circula nestes sistemas, e como aplicar um modelo eficiente, que possa trazer maior estabilidade em todas as etapas do processo, promovendo a qualidade da água de circulação e qualidade do ar interior, reduzindo danos ambientais e problemas socioeconômicos. A metodologia da pesquisa é do tipo exploratória aplicada, com utilização de dados qualitativos e quantitativos, obtidos através de revisão bibliográfica e documental, além de vivências em campo sendo classificado também como estudo de caso. O método proposto é apresentação dos parâmetros indicativos de qualidade da água a serem analisados, sugestão de um modelo de Gestão integrada da água e do ar, estruturando ações necessárias de modo a obter a máxima eficiência e apresentação de resultados reais obtidos em dois *Shopping Centers* que possuem o modelo sugerido aplicado no Sistema de climatização. É imprescindível agregar valor ao modelo proposto e convencer aos tomadores de decisões destes empreendimentos apresentando as vantagens econômicas da implantação de tais medidas. Sobretudo, o modelo proposto pode ser considerado eficiente, visto que os resultados de sua aplicação são positivos. Pôde-se observar que a Gestão Integrada é, de fato, benéfica no quesito ambiental e socioeconômico, pois as melhorias apresentadas envolvem a redução de consumo de água e energia elétrica, e por consequência a redução de custos com os mesmos, além de deixar os processos e o ambiente mais seguros à saúde humana.

Palavras-chave: Sistema de climatização; Gestão Integrada; Qualidade da água; Sistema de resfriamento.

ABSTRACT

The sustainability theme is transforming the investment industry around the world and the scientific community has been warning about the impacts of degradation on the environment, which affects everyone. Large enterprises, which hold significant economic and political power, have felt the growing social pressure from their consumers. Bringing this theme to *Shopping Centers*, it is known that there are many environmental aspects to be addressed, since they are extensive projects with great movement of people. The present work will address one of the main, perhaps even the most important. These large logistics centers are, for the most part, closed environments where there is no natural air circulation, therefore, all air conditioning takes place by means of air conditioning equipment. The main purpose of this study is to demonstrate the other side of air conditioning systems, which is the internal functioning, before the environment receives the air itself, and to understand the importance of treating the water that circulates in these systems, and how to apply an efficient model, that can bring greater stability at all stages of the process, promoting the quality of circulation water and indoor air quality, reducing environmental damage and socioeconomic problems. The research methodology is of the applied exploratory type, using qualitative and quantitative data, obtained through bibliographic and documental review, in addition to field experiences, being also classified as a case study. The proposed method is the presentation of indicative parameters of water quality to be analyzed, suggestion of an integrated water and air management model, structuring necessary actions in order to obtain maximum efficiency and presentation of real results obtained in two *Shopping Centers* that have the suggested model applied to the air conditioning system. It is essential to add value to the proposed model and convince decision makers of these projects by presenting the economic advantages of implementing such measures. Above all, the proposed model can be considered efficient, since the results of its application are positive. It could be observed that the Integrated Management is, in fact, beneficial in the environmental and socioeconomic aspect, since the improvements presented involve the reduction of water and electric energy consumption, and consequently the reduction of costs with them, in addition to leaving the safer processes and environment for human health.

Keywords: Climatization System; Integrated management; Water quality; Cooling system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Esquema de um sistema de resfriamento aberto.....	21
Figura 2	– Esquema de um sistema semiaberto com torres de resfriamento.....	21
Figura 3	– Esquema de um sistema de conforto térmico com <i>chiller</i>	22
Figura 4	– Esquema de trocador de calor casco tubo “água no casco”	24
Figura 5	– Esquema de trocador de calor casco tubo “água no tubo”	24
Figura 6	– Torres de Resfriamento de um <i>Shopping Center</i>	25
Figura 7	– Esquema de um <i>chiller</i>	26
Figura 8	– Tanque de termoacumulação.....	28
Figura 9	– Esquema simplificado CAG – Central de água gelada.....	29
Figura 10	– Fluxograma agentes causadores de alto consumo de energia elétrica.....	31
Figura 11	– Equipamento de dosagem automática e “árvore de corrosão”	50
Figura 12	– Parte interna do equipamento de um dreno automático acoplado a um hidrômetro.....	51
Figura 13	– Equipamento de campo que mede multiparâmetros.....	51
Figura 14	– Equipamentos “colorímetros de bolso” utilizados em análises da água.....	52
Figura 15	– Cupons de corrosão (corpos de prova)	54
Figura 16	– <i>Aquacults</i> para análise microbiológica.....	54
Figura 17	– Painel de um “ <i>chiller</i> ” com informações pertinentes.....	57
Figura 18	– Laudos de análises de parâmetros da água antes vs depois da Gestão Integrada – Bloco A.....	64
Figura 19	– Esquema do cálculo do índice de Ryznar antes da Gestão Integrada – Bloco A.....	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Representação do índice de Ryznar após a Gestão integrada.....	65
Gráfico 2 – Consumo de água na CAG em m ³ e percentual de economia: recorte temporal 2011 à 2017.....	67
Gráfico 3 – Consumo de energia elétrica na CAG em KW: recorte temporal 2011 à 2017.....	67
Gráfico 4 – Soma dos custos evitados com água e energia elétrica no <i>Shopping Center B</i>	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplos de tratamentos a serem realizados na água.....	30
Tabela 2 – Tipos de possíveis deposições em Sistemas de climatização.....	33
Tabela 3 – Tipos e formas de corrosão possíveis em Sistemas de Climatização.....	34
Tabela 4 – Modelo de Gestão Integrada e tratamento da água de Sistemas de Climatização.....	43
Tabela 5 – Dados obtidos através de estudo do sistema.....	45
Tabela 6 – Cálculos e fórmulas para Balanço de massa do sistema.....	46
Tabela 7 – Limites recomendados água de alimentação e condensação.....	47
Tabela 8 – Produtos químicos a serem dosados no tratamento da água.....	48
Tabela 9 – Índice de Ryznar (RSI) para Sistema de resfriamento.....	56
Tabela 10 – Quantidade de pontos a serem analisados por m ² de área construída.....	60
Tabela 11 – Dados de consumo e custos com energia elétrica na CAG – <i>Shopping Center B</i>	68
Tabela 12 – Dados de consumo hídrico e custos com água na CAG – <i>Shopping Center B</i>	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
PMOC	Plano de Manutenção Operação e Controle
MIC	Corrosão microbiologicamente induzida
CAG	Central de água gelada
PCU	Unidade de cobalto de platina
ppm	Parte por milhão
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
IGPM	Índice geral de preços de Mercado
STD	Sólidos totais dissolvidos
ppt	Parte por trilhão
QAI	Qualidade do Ar interno
UFC	Unidade formadora de colônia
NACE	Associação Nacional de Engenheiros de Corrosão
ASTM	Sociedade americana de testes e materiais
RSI	Índice de Ryznar
RE	Resolução
TR	Capacidade frigorífica

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
μS	Microsiemens
cm	Centímetro
R\$	Reais
Fe^{2+}	Íon ferroso
H^{+}	Íons hidrogênio
OH^{-}	Íons hidroxila
CaCO_3	Carbonato de cálcio
Cl_1	Ânion cloreto
Fe	Ferro
H_4SiO_4	Ácido Silícico
NH_3	Amoníaco
O_2	Oxigênio
m^3	Metros cúbicos
TTC	Cloreto de trifenil-tetrazólio
CO_2	Gás carbônico
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Objetivo geral	17
1.2	Objetivos específicos	18
1.3	Estruturação do estudo	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	Sistemas de Climatização	20
2.1.1	<i>Sistemas de Resfriamento</i>	20
2.1.1.1	<i>Sistemas Abertos</i>	20
2.1.1.2	<i>Sistemas Semiabertos</i>	21
2.1.1.3	<i>Sistemas Fechados</i>	22
2.2	Equipamentos de troca térmica de um sistema de climatização	23
2.2.1	<i>Trocadores de Calor</i>	23
2.2.2	<i>Torres de Resfriamento</i>	24
2.2.2.1	<i>Operação de uma Torre de Resfriamento</i>	25
2.2.3	<i>Chillers</i>	26
2.2.4	<i>Tanques de termoacumulação</i>	27
2.2.5	<i>Fan coils</i>	28
2.3	CAG – Central de água gelada	29
2.4	Problemáticas de um Sistema de Climatização	29
2.4.1	<i>Má qualidade da Água de reposição (make up)</i>	29
2.4.2	<i>Concentração elevada de sais minerais</i>	30
2.4.3	<i>Ineficiência de equipamentos de troca térmica</i>	31
2.4.4	<i>Fator de sujeira</i>	31
2.4.4.1	<i>Incrustação</i>	32
2.4.4.2	<i>Deposição</i>	32
2.4.5	<i>Corrosão</i>	34
2.4.6	<i>Microbiológicos</i>	35
3	METODOLOGIA	36
3.1	Propósitos da pesquisa	36
3.2	Natureza dos resultados	36
3.3	Abordagem da pesquisa	36

3.4	Procedimentos técnicos.....	36
3.5	Método proposto.....	37
4	APLICAÇÃO DO MÉTODO.....	38
4.1	Parâmetros da água a serem analisados.....	38
4.1.1	<i>Parâmetros físicos.....</i>	38
4.1.1.1	<i>Cor.....</i>	38
4.1.1.2	<i>Condutividade.....</i>	38
4.1.2	<i>Parâmetros químicos.....</i>	39
4.1.2.1	<i>pH.....</i>	39
4.1.2.2	<i>Alcalinidade.....</i>	39
4.1.2.3	<i>Cloretos.....</i>	40
4.1.2.4	<i>Dureza.....</i>	40
4.1.2.5	<i>Ferro total.....</i>	40
4.1.2.6	<i>Sílica.....</i>	41
4.1.2.7	<i>Sólidos totais dissolvidos.....</i>	41
4.1.2.8	<i>Nitrogênio amoniacal.....</i>	41
4.1.3	<i>Parâmetros biológicos.....</i>	42
4.1.3.1	<i>Demanda de cloro (breakpoint)</i>	42
4.1.3.2	<i>Microrganismos.....</i>	42
4.2	Proposta de modelo de Gestão Integrada.....	42
4.2.1	<i>Estudo do Sistema.....</i>	44
4.2.1.1	<i>Balanço de massa.....</i>	45
4.2.1.2	<i>Limites de controle.....</i>	46
4.2.2	<i>Programa de tratamento químico preventivo.....</i>	47
4.2.2.1	<i>Sistemas de dosagem automática.....</i>	49
4.2.2.2	<i>Sistemas de dreno automáticos e hidrômetros.....</i>	50
4.2.3	<i>Controle químico, físico e biológico</i>	51
4.2.3.1	<i>Índice de Ryznar.....</i>	54
4.2.3.1.1	<i>Etapas para calcular o RSI (Índice de Ryznar)</i>	57
4.2.4	<i>Gestão hídrica do sistema.....</i>	57
4.2.5	<i>Gestão energética do sistema.....</i>	57
4.2.6	<i>Programa de manutenções corretivas.....</i>	59
4.2.7	<i>Gestão da Qualidade do Ar Interno – QAI.....</i>	59

4.2.8	<i>Auditoria do Plano de Manutenção, Operação e Controle – PMOC</i>	60
4.2.9	<i>Entrega de laudos, relatórios e planilha de dados</i>	62
4.3	Resultados reais após aplicação do modelo de Gestão Integrada	62
4.3.1	<i>Revisão de negócios – Shopping Center A</i>	63
4.3.1.1	<i>Comparativos antes vs depois da implantação de modelo de Gestão Integrada</i> ..	63
4.3.1.1.1	Laudos Sistema de resfriamento – Amostras coletadas nas torres de resfriamento.....	63
4.3.1.1.2	Índice de estabilidade da água (Ryznar).....	64
4.3.2	<i>Revisão de negócios – Shopping Center B</i>	66
4.3.2.1	<i>Consumo de água e energia elétrica após a implantação da Gestão Integrada</i> ...	66
4.3.2.2	<i>Custos com água e energia elétrica após a implantação da Gestão Integrada</i>	67
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO	70
	REFERÊNCIAS	72
	ANEXO A – TABELA DE LANGALIER	74

1 INTRODUÇÃO

A temática sustentabilidade está transformando a indústria de investimentos por todo mundo e há tempos a comunidade científica tem alertado sobre os impactos da degradação ao meio ambiente, que atinge a todos nós. Os grandes empreendimentos, que detêm expressivo poder econômico e político tem sentido a crescente pressão social por parte de seus consumidores.

Além do mais, com a pandemia do COVID-19, pôde-se observar um cenário repleto de fragilidades, tendo a mesma agido como um divisor de águas para o impulsionamento das organizações em busca de adoção de práticas conscientes, visando reduzir os danos em todas as dimensões possíveis. Por consequência dessa busca, compreendeu-se que fatores ambientais e sociais, além de sustentabilidade, poderiam também agregar valor ao mercado financeiro.

Trazendo esta temática para grandes empreendimentos como *Shopping Centers*, é sabido que existem muitas vertentes ambientais a serem tratadas, visto que são empreendimentos extensos com grande movimentação de pessoas. O presente trabalho abordará uma das principais, talvez até a mais importante. Sabe-se que estes grandes centros logísticos são, em sua maioria, ambientes fechados onde não há circulação natural de ar, portanto, toda a climatização acontece por meios de equipamentos de ar-condicionado. Tais ambientes trazem consigo inúmeros desafios para as pessoas responsáveis por geri-los, pois manter a qualidade do ar interno depende de múltiplos fatores como: a manutenção dos equipamentos operantes, tratamento adequado da água circulante nos sistemas, além do monitoramento e controle de parâmetros.

Estes parâmetros a serem controlados internamente estão estabelecidos na Lei 13.589/2019 – PMOC (Plano de Manutenção Operação e Controle) e são: temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, controle do índice de dióxido de carbono CO₂, do ar de renovação e controle de particulado. A regularização a lei é obrigatória para todos os edifícios de uso público e coletivo que possuem ambientes climatizados artificialmente e o seu descumprimento pode acarretar em multas e processos judiciais milionários.

No entanto, os prejuízos vão além das multas pois prejudicam a saúde e podem ocasionar doenças graves nas pessoas que frequentam estes ambientes. Ademais, os Sistemas de climatização são os maiores responsáveis pelo consumo de água e energia elétrica

em um *Shopping Center*, além dos gastos excessivos com operação e manutenção dos equipamentos.

Contudo, o principal intuito desse estudo é demonstrar a outra face desse Sistema de Climatização, que é o funcionamento interno, antes do ambiente receber o ar propriamente dito, e entender a importância do tratamento da água que circula nestes sistemas de conforto térmico em grandes empreendimentos, e como aplicar um modelo eficiente, que possa trazer maior estabilidade em todas as etapas do processo, promovendo a qualidade da água de circulação e por consequência a qualidade do ar interior, reduzindo danos ambientais e demais problemas socioeconômicos.

A saber, os métodos a serem descritos no modelo de Gestão Integrada proposto, são utilizados em determinada empresa com profissionais especializados no serviço de Tratamento de água de Sistemas Industriais, incluindo o Sistema de conforto térmico, e possuem resultados positivos reais, que serão explanados na apresentação dos resultados deste estudo.

1.1 Objetivo geral

Evidenciar a importância do tratamento da água circulante em Sistemas de Climatização de *Shopping Center* e propor um modelo efetivo de Gestão integrada da água e do ar, com base em resultados reais.

1.2 Objetivos específicos

- a) Conceituar os Sistemas de Climatização e descrever sua funcionalidade e possíveis problemáticas
- b) Explanar opções de tratamento físico, químico e biológico da água
- c) Propor modelo de Gestão integrada e monitoramento a fim de obter a máxima eficiência dos Sistemas de Climatização de *Shopping Centers* e consequentemente a qualidade do ar.
- d) Apresentar resultados reais que demonstram a importância e benefícios do tratamento em caráter ambiental e socioeconômico

1.3 Estruturação do estudo

Este trabalho é composto de cinco capítulos.

O primeiro, trata-se da introdução do trabalho com justificativa e contextualização do tema e explanação dos objetivos geral e específicos e esta estrutura detalhada.

O segundo capítulo traz a fundamentação teórica acerca do estudo, necessária para a construção do trabalho.

No terceiro, é dito como será a metodologia da pesquisa e do desenvolvimento do modelo proposto.

O quarto, é o desenvolvimento do trabalho propriamente dito, que mostra o passo a passo do modelo de Gestão Integrada proposto e os resultados reais obtidos com ele.

O quinto e último, traz as as considerações finais a respeito do trabalho.

Ao final, são apresentadas as referencias bibliográficas utilizadas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo irá apresentar a revisão bibliográfica necessária para compreensão do estudo e desta forma garantir desenvolvimento satisfatório na aplicação do método e demonstração dos resultados.

2.1 Sistemas de Climatização

Os Sistemas de Climatização, também conhecidos por Sistemas de Conforto Térmico são representados pelos circuitos de Ar Condicionado de *Shopping Centers*, edifícios, hotéis, hospitais, etc. Explicando de forma geral, eles operam basicamente absorvendo o calor gerado em locais com movimentação de pessoas, e em troca fornecem ar refrigerado. Estes sistemas geralmente são compostos por dois subsistemas, descritos a seguir:

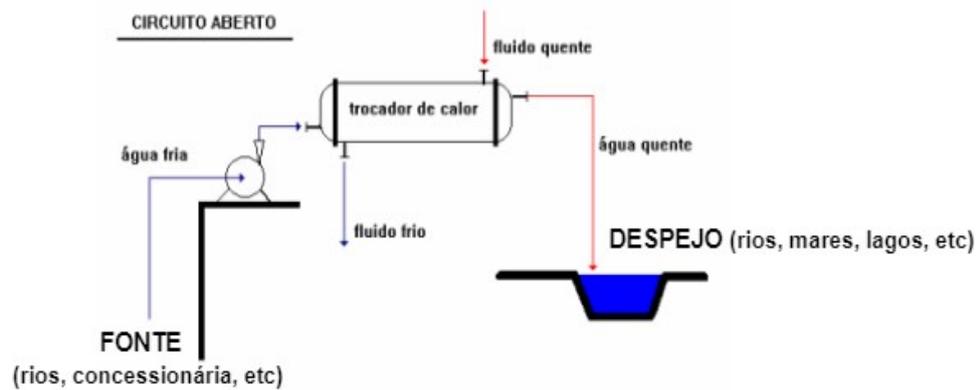
2.1.1 Sistemas de Resfriamento

Também conhecidos por Sistemas de refrigeração, estes operam de modo a retirar calor de equipamentos e processos. Existem três modelos de sistemas de resfriamento e são classificados como sistemas abertos, fechados e semiabertos, e a escolha do mesmo é determinada de acordo com o projeto do empreendimento e disponibilidade de recursos.

2.1.1.1 Sistemas Abertos

Os sistemas abertos, também chamados de “*Once Through*” (passagem única) necessitam de grandes quantidades de água, pois a mesma é sempre descartada ao final do processo, como mostra a Figura 1. Possuem como vantagem o baixo custo inicial, mas em contrapartida carece de alta demanda de água, além de descarregar em demasia água aquecida no local de descarte. Portanto, pode-se considerar um sistema não sustentável, que ocasiona poluição térmica ao meio ambiente. (PEREIRA, 2018, p.15)

Figura 1 – Esquema de um sistema de resfriamento aberto



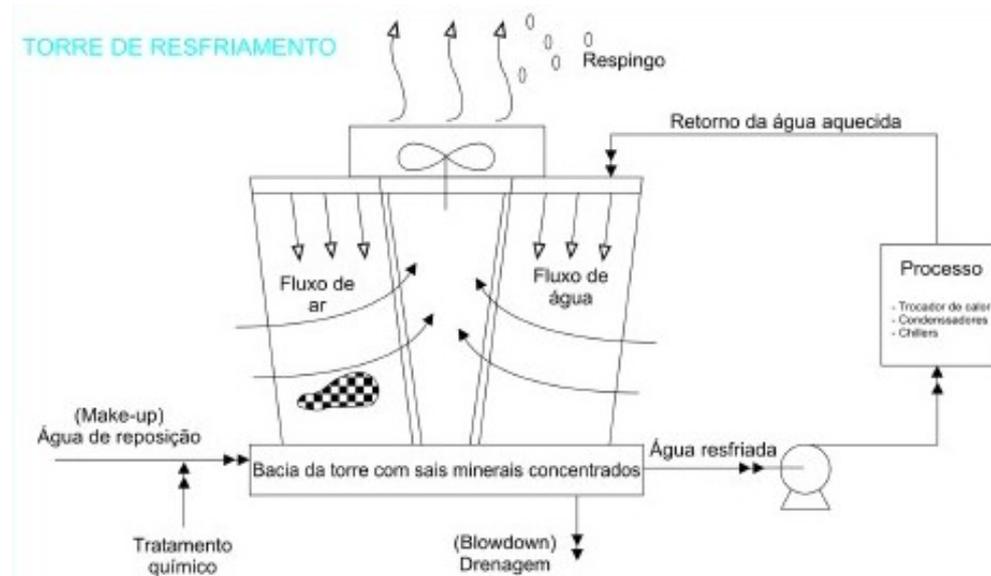
Fonte: Mancuso (2001, p. 4, com adaptação).

2.1.1.2 Sistemas Semiabertos

Os sistemas semiabertos são aqueles em que a água recircula inúmeras vezes no processo e seu principal diferencial é a presença de torres de resfriamento, que tem função de remover calor da água. Esse evento acontece por meio da evaporação de parte desta água circulante, e posteriormente a água fria coletada na bacia da torre é bombeada ao sistema e reinicia-se o processo de resfriamento, conforme mostrado na Figura 2. “As torres de resfriamento têm como finalidade remover calor de sistemas de ar condicionado e de uma enorme variedade de processos industriais que geram calor excessivo” (Meio filtrante, 2013, 6º ed.).

Logo, este é um dos subsistemas utilizados em um Sistema de Climatização de *Shopping Centers*, mencionado anteriormente.

Figura 2 – Esquema de sistema semiaberto com torre de resfriamento



Fonte: Meio filtrante (2013, 6º ed.).

2.1.1.3 Sistemas Fechados

Os sistemas fechados, dentre os citados, são os que possuem menor perda de água e por consequência menor necessidade de reposição, nele a mesma água recircula muitas vezes. “O calor absorvido pela água é extraído através de uma maneira indireta, utilizando-se para tanto, vários métodos de resfriamento.” (STEINMEYER, 2009, p.86). Basicamente, um circuito fechado utiliza um circuito semiaberto para realizar a remoção desse calor, “através da compressão e expansão de um gás (normalmente o freon), o qual quando aquecido, troca calor com a água de recirculação através de um trocador de calor conhecido como condensador”. Logo, este gás ao ser expandido é o responsável por gerar o resfriamento do circuito fechado de água gelada. A Figura 3 mostra um exemplo de circuito fechado composto por *Chillers*, equipamentos demasiadamente utilizados por *Shopping Centers* em seus Sistemas de conforto térmico.

Portanto, como mencionado no início deste capítulo, este é o segundo dos dois subsistemas que normalmente compõem um Sistema de Climatização em *Shopping Centers*.

Figura 3 – Esquema de Sistema de conforto térmico com *chiller*

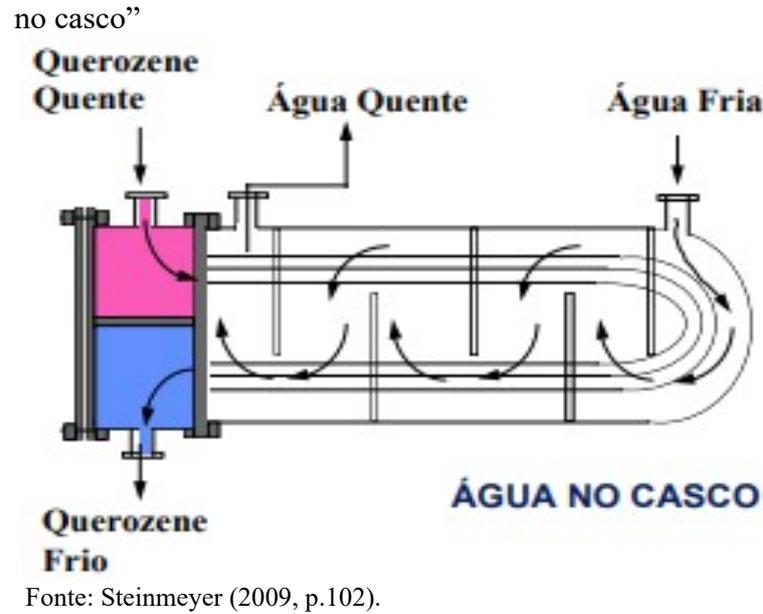
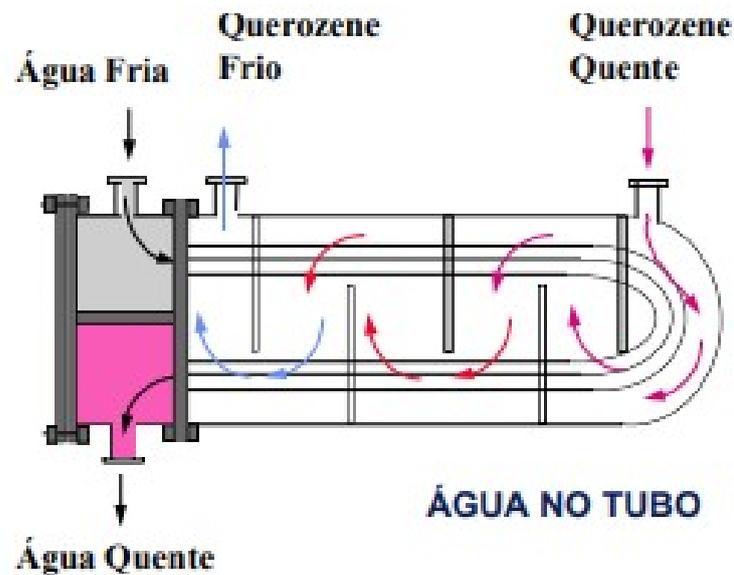


Figura 5 – Esquema de trocador de calor casco tubo “água no tubo”



2.2.2 Torres de Resfriamento

Conforme mencionado anteriormente, as Torres de resfriamento, ilustradas na Figura 6, são componentes do circuito semiaberto que compõe o Sistema de Conforto térmico, e trata-se do “[...] equipamento que desempenha uma função das mais importantes. De fato, a torre é o “radiador” de todo sistema. Através da torre, a água libera para a

atmosfera todo o calor absorvido nos equipamentos de troca térmica. (STEINMEYER, 2009, p.100).

De acordo com Cortinovis e Song (2005, p. 3)

Numa torre de resfriamento, a principal contribuição para o resfriamento da água é dada pela evaporação de parte dessa água que recircula na torre. A evaporação da água – transferência de massa da fase líquida (água) para a fase gasosa (ar) – causa o abaixamento da temperatura da água que escoar ao longo da torre de resfriamento. Isso ocorre porque a água para evaporar precisa de calor latente, e esse calor é retirado da própria água que escoar pela torre. Vale lembrar que a transferência de massa da água para o ar ocorre porque as duas fases em contato tendem a entrar em equilíbrio.

Figura 6 – Torres de resfriamento de um *Shopping Center*



Fonte: A autoria própria.

2.2.2.1 Operação de uma Torre de Resfriamento

No processo de troca de calor a água se apresenta com sais minerais dissolvidos e conforme ela evapora esses sais, conhecidos tecnicamente por sólidos totais dissolvidos, concentram-se ao fundo da bacia da torre. A problemática pode ser ainda maior porque estes sais quando atingem um máximo de solubilidade, precipitam no interior da tubulação de passagem da água para o condensador, além do mais outros contaminantes podem surgir.

Logo, não havendo um tratamento adequado, deposições e até incrustações podem ocorrer, diminuindo a eficiência do processo. (TROVATI, 2004, apud PEREIRA, 2018, p.20).

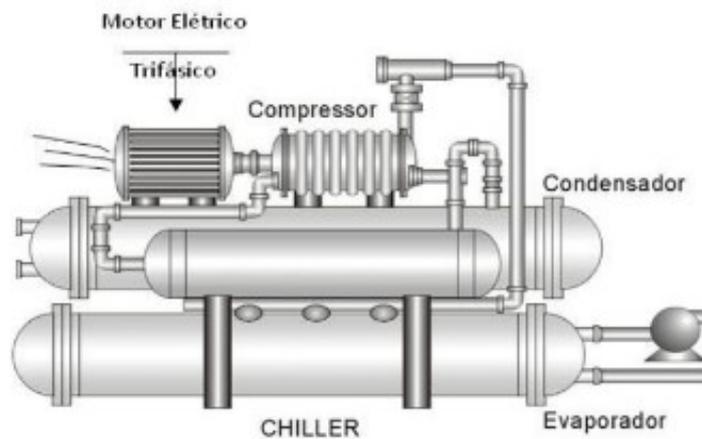
Desta forma, vale destacar que as torres de resfriamento, são importantes locais para serem monitorados. “Nela podemos observar alterações de comportamento da água de recirculação (cor, turbidez, espuma, contaminações, gases), além de verificar estado dos enchimentos, contaminações microbiológicas, dos canais de distribuição.” (STEINMEYER, 2009, p.100). Algumas ações a serem sugeridas no modelo de Gestão Integrada, serão feitas diretamente nas torres de resfriamento.

2.2.3 Chillers

Os *chillers*, representados no esquema da Figura 7, são os equipamentos de troca térmica mais utilizados em Sistemas de climatização de *Shoppings*. O mesmo é composto por um evaporador e um condensador, e opera segundo o ciclo de refrigeração a vapor. Os mais modernos possuem um sofisticado painel, o qual nos permite efetuar várias medidas, incluindo diferencial de pressões, de temperaturas. Estes painéis podem ainda nos informar acerca da situação de troca térmica do compressor, do motor, do evaporador e do condensador. (STEINMEYER, 2009, p.107)

Segundo o Manual de Instalação, Operação e Manutenção do *Chiller* da marca Carrier “O evaporador é mantido a baixa temperatura/pressão a fim de que o refrigerante que evapora possa retirar o calor da água que sai por seus tubos internos.” Logo, a água gelada que será utilizada no ar-condicionado encontra-se neste. Ainda de acordo com o Manual “O condensador opera numa temperatura/pressão mais alta que o evaporador e que a água passa pelos tubos internos para retirar calor do refrigerante.” Portanto, no condensador fica a água quente, que realiza trocas com as torres de resfriamento. (Carrier do Brasil, 2008, p. 10)

Figura 7 – Esquema de um “*chiller*”



Fonte: Steinmeyer (2009, p.106).

2.2.4 Tanques de termoacumulação

Os tanques de termoacumulação (Figura 8) são mais uma opção para compor os Sistemas de Climatização, visando vantagem econômica para o empreendimento, através da redução do consumo energético. Isto porque pode-se manter os *chillers* operando em horários em que a energia elétrica é mais economicamente viável, enquanto a água fica armazenada no tanque. No entanto, podem ou não estar presentes no circuito de climatização, visto que o água gelada pode ser levada de forma direta à fase final da refrigeração do ambiente. Vale salientar, que se trata de uma instalação com custos elevados em seu projeto, por isso muitos empreendimentos podem optar por não o possuir.

Conforme Barbosa (2013, p. 4) os tanques de termoacumulação, conhecidos popularmente por tanques de armazenamento

São amplamente utilizados em aplicações na engenharia armazenando tanto água quente de aquecimento solar de água, como água gelada para aplicações de condicionamento de ar, por exemplo. O desempenho térmico dos tanques de armazenamento de calor sensível de líquido depende da taxa de degradação da camada estratificada durante os processos de carregamento e descarregamento. Esta taxa é influenciada pelas perdas térmicas, proveniente da diferença de temperatura, recirculação do líquido e convecção natural entre as camadas do fluido quente e frio.

Explicando de forma simplificada o funcionamento, as bombas primárias puxam a água da parte superior do tanque que está a uma temperatura aproximadamente de 15 °C e levam até um *Chiller*, onde resfria-se a água até a temperatura de aproximadamente 7 °C e retorna para a parte inferior do tanque. O mesmo é dividido em partes, denominadas de anéis e cada anel possui sensores de temperatura. Em consequência a estas divisões, ocorre uma estratificação das temperaturas. (FARIAS, 2019, p.27)

Posteriormente, é na segunda etapa do processo que ocorre o resfriamento do ambiente. As bombas secundárias extraem a água gelada da parte inferior do tanque e direcionam até o *Shopping*, através dos *Fan Coil's*, que são a fase final do Sistema de climatização do ar. (FARIAS, 2019, p.28)

Figura 8 – Tanque de termoacumulação



Fonte: Autoria própria.

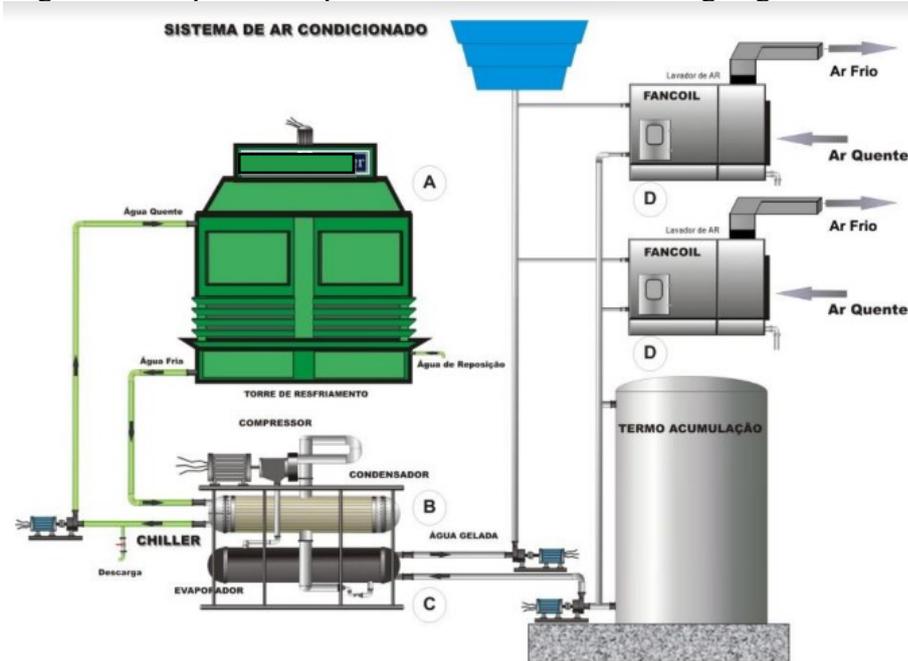
2.2.5 Fan coils

Como dito anteriormente, esta é a fase final do circuito, onde o “ar gelado” é de fato levado ao *mall* do *Shopping*. Um *fan coil* é constituído de um ventilador (*fan*) e uma serpentina (*coil*) e funciona da seguinte forma: a água gelada, vinda do *chiller* através das tubulações, chega até a serpentina. Posteriormente o ar quente, desloca-se para o ventilador e dirige-se ao sistema de filtragem. Ao passar pelas serpentinas, o ar é resfriado e dissipado para o ambiente interno do *shopping*, garantindo assim a climatização uniforme do mesmo. (DUFRIO, 2021)

2.3 CAG – Central de água gelada

A CAG – Central de água gelada é o nome popular dado ao conjunto de máquinas que operam em um Sistema de Conforto térmico, portanto, são todos os equipamentos de troca térmica citados nos subitens acima, acrescidos pelas bombas de circulação de água, tubulações e os painéis de automação. A Figura 9 mostra um esquema simplificado dos trocadores de calor da CAG:

Figura 9 – Esquema simplificado CAG – Central de água gelada



Fonte: Steinmeyer (2009, p.110).

2.4 Problemáticas de um Sistema de climatização

As possíveis problemáticas que podem ocorrer nos circuitos que compõe o sistema de conforto térmico são descritos a seguir:

2.4.1 Má qualidade da Água de reposição (make up)

Água de reposição, também chamada de *Make up*, é a água adicionada ao sistema, de modo a repor as perdas existentes e manter os níveis adequados da bacia da torre de resfriamento. Portanto, a qualidade da água que circula em todo sistema, depende da água de *make up*. “Eficiência térmica, perfeita operação e vida da torre de resfriamento, são itens diretamente relacionados com a qualidade da água circulante na torre.” (Meio filtrante, 2003,

ed. 6º) Logo, é extremamente importante controlar parâmetros que indiquem se esta água satisfaz a qualidade mínima necessária, por exemplo: pH, Sólidos totais dissolvidos, alcalinidade, condutividade, dureza e nível de microrganismos.

No caso de água bruta, existem alguns pré-tratamentos que possuem finalidade de torná-la utilizável para uso potável ou industrial. Na Tabela 1, estão alguns exemplos:

Tabela 1 – Exemplos de tratamentos a serem realizados na água para torná-la potável

Tipo de tratamento	Exemplos
Tratamentos primários	Gradeamento ou filtração grosseira
	Sedimentação natural
	Pré cloração
	Clarificação
	Filtração
	Cloração
	Aeração
Tratamentos secundários	Osmose reversa
	Abrandamento
	Dealcalinização
	Desmineralização
	Desaeração

Fonte: Steinmeyer (2009, p.22, com adaptação).

2.4.2 Concentração elevada de sais minerais

Como explicado anteriormente, no processo de diminuição de temperatura através das torres de resfriamento, grande parte da água evapora e os sais minerais permanecem. Esta condição pode provocar incrustações nos trocadores de calor, assim sendo, é importante drenar parte desta água periodicamente, de modo a descartar esse excesso de sais. Neste contexto, existe um termo importante no processo chamado *blow down*.

Segundo o Meio Filtrante (2003, 6º edição)

Blow down é um termo utilizado para identificar a água que é drenada da bacia da torre de resfriamento visando reduzir o acúmulo de contaminantes na água circulante. Com a evaporação ocorre a concentração dos contaminantes da água, como os sólidos dissolvidos. Promovendo o dreno (*blow down*) e adicionando água nova (*make up*), o nível de sólidos dissolvidos na água pode ser mantido, reduzindo

assim a formação de incrustação mineral e de outros contaminantes na torre, nos condensadores resfriadores e nos trocadores de calor do processo.

2.4.3 Ineficiência de equipamentos de troca térmica

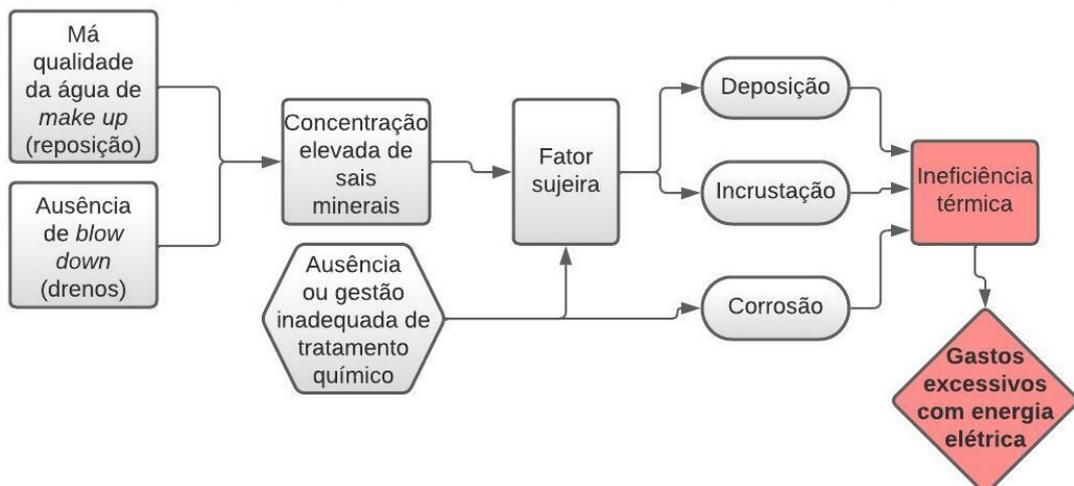
Através de itens mencionados anteriormente no trabalho, é sabido que a quantidade de equipamentos que operam em um sistema de conforto térmico é expressiva, logo, supõe-se que o consumo de energia elétrica é alto e os custos são elevados.

De acordo com Steinmeyer (2009, p.106)

Apenas para que se tenha noção da representatividade deste consumo, é comum, encontrarmos sistemas de produção de ar condicionado com um peso variando entre 60 a 70% do consumo total de energia elétrica total de um *Shopping Center*. Caso o sistema esteja ineficiente, esta representatividade pode atingir valores percentuais ainda maiores. Isto ocorre, pois há muitos motores elétricos utilizados no processo, dentre os quais podemos citar os motores dos compressores, os motores das bombas de recirculação de águas, motores dos exaustores das torres e motores dos ventiladores dos sistemas de “Fan Coil’s”.

Pode-se então afirmar que os motores são os maiores responsáveis do consumo global de energia de um Sistema de Climatização, e ainda que a ineficiência de quaisquer destes componentes traz um custo ainda maior para o empreendimento. A Figura 10 demonstra um fluxograma que mostra os agentes causadores desta problemática.

Figura 10 – Fluxograma agentes causadores de alto consumo de energia elétrica



Fonte: Autoria própria.

2.4.4 Fator de sujeira

A água de resfriamento presente no sistema pode causar sujidades nas superfícies dos trocadores de calor. Tais sujidades são extremamente prejudiciais à performance global

do sistema, e o agravamento nos *chillers* é ainda maior, visto que são máquinas com características isolantes, presentes no subsistema de circuito fechado. A principal consequência será o impedimento de uma eficiente troca térmica entre a água e o gás de refrigeração. Os fatores de sujeira têm origem em processos de incrustação, causados por excesso de sais minerais contidos na água ou por depósitos de origem inorgânica ou orgânica. “A ausência de um bom sistema de acompanhamento aliado à ausência de sistemas de dosagem adequados pode levar ao colapso de um sistema.” (STEINMEYER, 2009, p. 109)

2.4.4.1 Incrustação

Incrustações são deposições duras e cristalizadas presentes nas tubulações, que se fixam sobre as superfícies de troca térmica, em consequência de ter o seu limite de solubilidade ultrapassado. De acordo com Steinmeyer (2009, p. 109)

Os sais, por possuírem uma curva de solubilidade inversamente proporcional à elevação de temperatura ao encontrarem uma temperatura de película mais elevada (superfície de troca térmica), saturam-se e se depositam sobre as mesmas, causando perda de transferência de energia térmica. Para se ter ideia, apenas 1,2 mm de espessura de uma incrustação a base de Carbonato de Cálcio, irá causar uma perda na eficiência de troca de calor na ordem de 11%.

2.4.4.2 Deposição

Além das incrustações mencionadas acima, existem outros tipos de depósitos que podem se formar e que possuem as seguintes características: não cristalizados, porosos, de composição homogênea ou heterogênea. Esses depósitos também se assentam nas superfícies de transferência de calor, e podem diminuir drasticamente a eficiência dos sistemas.

Dentre as causas mais comuns de deposição, de acordo com Mancuso (2001, p. 12) temos:

- a) Água com decantação deficiente, provocando pós precipitação no sistema;
- b) Deficiência na filtração, permitindo a passagem de flocos da decantação;
- c) Absorção de poeira do meio ambiente;
- d) Teores elevados de íons de ferro (II), Fe^{2+} , que pela ação das bactérias ferro-oxidantes são oxidados, e posteriormente precipitados como tubérculos nas tubulações.

Conforme Steinmeyer (2009, p. 107), as deposições são sempre decorrentes de problemas relacionados com:

- a) Pobre condicionamento químico dos sistemas, associados a problemas com balanço de massa;
- b) Má qualidade da água de alimentação e reposição;
- c) Produtos químicos de tratamento de água, quando adicionados em excesso nos sistemas.

A Tabela 2 exemplifica os tipos de deposições frequentemente vistas em Sistemas de climatização e similares, com discriminação conforme Mancuso (2001, p. 12)

Tabela 2 – Tipos de possíveis deposições em Sistemas de climatização

Tipos	Discriminação	
Incrustações	Saturação de sais minerais presentes na água	
Depósitos metálicos	Decorrentes da redução de sais metálicos solúveis em água e que nela foram colocados para determinados fins, ou então como produto de ataque de um meio corrosivo.	
Barras ou Lamas de fosfato	São comuns quando no tratamento da água se utilizam tripolifosfatos ou polimetafosfatos de sódio empregados como inibidores de corrosão, agentes antincrustantes e como dispersantes.	
<i>Fouling</i>	Orgânico	Materiais de altos pesos moleculares, oriundos de vazamentos de fluidos de processo, de composição química variada.
	Inorgânico	Produtos de corrosão compostos por depósitos de óxidos de ferro, lama de fosfato de cálcio, poeira atmosférica ou incrustações como carbonato de cálcio, sulfato de cálcio e outras.
	Biológico	Constituído por algas, fungos e bactérias formadores de limo ou material gelatinoso aderente às superfícies metálicas.

Fonte: Mancuso (2001, p. 12, com adaptação).

2.4.5 Corrosão

A corrosão é basicamente a tendência dos metais de se corroerem, melhor explicando, é um fenômeno de deterioração, que se pode definir como sendo o regresso de certos metais à sua forma mais estável, que é aquela originalmente encontrada na natureza. Logo, o metal corroído apresenta-se à forma de óxidos. (STEINMEYER, 2009, p. 141)

A Tabela 3 descreve os tipos e formas de corrosão, assim como a discriminação de cada uma delas, conforme conceitua Steinmeyer (2009, p. 142 à 145)

Os fatores que aceleram a corrosão de maneira geral são: qualidade da água, temperatura, teor de oxigênio, velocidades da água, depósitos, contaminações, excesso de contaminação, excesso de cloração e, por fim, a gestão inadequada do tratamento químico.

Tabela 3 – Tipos e formas de corrosão possíveis em Sistemas de Climatização

Tipos e formas	Discriminação
Corrosão generalizada	Ocorre regularmente por toda a superfície metálica. A área anódica e catódica, “misturam-se” entre si, isto é, alteram de posição constantemente, resultando em um ataque regular e uniforme.
Corrosão por <i>pitting</i>	Forma perigosa de corrosão, onde acontece uma perda exagerada de metal em uma área localizada da superfície metálica. A corrosão por “pite” pode rapidamente perfurar tubulações e causar vazamentos em equipamentos de troca térmica, causando paradas não programadas.
Corrosão galvânica	Forma comum de corrosão, que ocorre quando encontramos dois metais dissimilares conectados e expostos a um ambiente líquido dotado de concentração eletrolítica. Quando isto ocorre, um metal (menos nobre) se torna ânodo, enquanto que o outro (mais nobre) se torna cátodo.
Corrosão por crêvice	Outra forma de corrosão localizada, que ocorre normalmente em juntas de tubulações, nas fissuras das superfícies metálicas, ou onde alguma deposição tenha ocorrido.
Corrosão por erosão	Trata-se de um tipo de ataque acelerado, resultado de movimento relativo entre a superfície metálica e abrasão provocada pelo líquido.

Tipos e formas	Discriminação
Corrosão por cavitação	Erosão que ocorre como resultado do colapso de bolhas de vapor sobre as superfícies metálicas, fenômeno comum que ocorre principalmente em estatores de bombas, em razão de um erro de dimensionamento.
Corrosão por stress	Ocorre em metais e ligas, produtos de ação combinada de forças de tensão, fadiga e ambiente aquoso corrosivo.
Corrosão por falha no filme protetivo de inibição contra a corrosão	Inibidores de corrosão possuem função de proteger as superfícies metálicas contra a corrosão, se forem dosados de maneira incorreta, e caso haja falta dos mesmos em certos trechos da superfície, poderá ocorrer a formação de pontos preferenciais de ataque.
Corrosão microbiologicamente induzida (M.I.C.)	Tipo muito especial e frequente de fenômeno, causada por certas condições ambientais e por tipos específicos de microrganismos. Dentre eles, destaca-se a Gallionela (ferro-oxidantes ou ferro-depositantes), e as sulfato redutoras (produtoras de ácidos fortes).

Fonte: Steinmeyer (2009, p. 142 a 145, com adaptação)

2.4.6 Microbiológicos

Nos sistemas de recirculação de águas, a maior parte das problemáticas microbiológicas estão associados aos grupos de microrganismos que são coletivamente chamados de “microflora do sistema” ou “*biofouling*” Estes microrganismos crescem em simbiose, e “para o nosso estudo, os grupos das algas, fungos e das bactérias assumem maior importância. Cada grupo possui várias espécies diferentes de microrganismos.” (STEINMEYER, 2009, p. 162.) Tem-se ainda, a nomeação “*slime*” que significa o desenvolvimento de microrganismos e a formação de depósitos de origem orgânica. Sendo geralmente detectado nos permutadores, no topo, bacia e enchimento da torre de resfriamento (DREW, 1979, apud PEREIRA, 2018, p. 21).

De acordo com Steinmeyer (2009, p. 162)

Muito raramente, apenas um único tipo isolado de espécie, é completamente responsável pelos problemas encontrados em sistemas de recirculação de águas industriais. Como dissemos a princípio, os microrganismos crescem e sobrevivem em simbiose. Na realidade, muitos dependem uns dos outros para sobreviver. Cada espécie, pertencente aos diferentes grupos, tem características próprias, e muitas destas características não são comuns às outras espécies e muito menos aos outros grupos.

3 METODOLOGIA

Este capítulo é dedicado à explanação da metodologia aplicada na pesquisa e posteriormente o método proposto no desenvolvimento do trabalho de modo a satisfazer os objetivos do mesmo.

3.1 Propósitos da pesquisa

Por utilizar estudos bibliográficos e documentos internos em seu procedimento, além de ter como propósito principal familiarizar o leitor com a problemática, de modo a revelar novos aspectos e construir hipóteses, trata-se de uma pesquisa exploratória. Pode também, ser considerada explicativa, pois relaciona variáveis na tentativa de conectar ideias e compreender causas e efeitos de determinado fenômeno.

3.2 Natureza dos resultados

Quanto a sua natureza, como o estudo busca gerar um modelo para orientar a aplicação prática de um “serviço” a fim de solucionar uma problemática, pode ser classificada como pesquisa exploratória aplicada.

3.3 Abordagem da pesquisa

Com base em seus propósitos, que são explorar e explicar um determinado assunto, a abordagem é classificada como mista, pois utilizará tanto dados qualitativos como também quantitativos para apresentar o modelo proposto e os resultados do mesmo.

3.4 Procedimentos técnicos

As principais fontes utilizadas para a construção deste trabalho advêm de pesquisa bibliográfica e documental, logo, um dos procedimentos adotados é a revisão bibliográfica. No entanto, vivências em campo proporcionaram a coleta de dados quantitativos e qualitativos, podendo desta forma caracterizar o desenvolvimento do método como um procedimento de estudo de caso.

3.5 Método proposto

Diante das problemáticas citadas no capítulo de fundamentação teórica, o método proposto no desenvolvimento do trabalho será dividido em três etapas, que são:

- a) Apresentação dos parâmetros indicativos de Qualidade da água a serem analisados.
- b) Sugestão de um modelo de Gestão Integrada da água e do ar, estruturando ações necessárias de modo a obter a máxima eficiência em um Sistema de Climatização.
- c) Apresentação de resultados reais obtidos em dois *Shopping Centers* que possuem Gestão Integrada eficiente aplicada em seus Sistemas de Climatização.

4 APLICAÇÃO DO MÉTODO

4.1. Parâmetros indicativos de qualidade da água a serem analisados

Para realizar a Gestão Integrada e tratamento adequado, é necessário entender inicialmente, quais parâmetros devem ser analisados e que irão determinar a qualidade da água inserida no sistema. Estes parâmetros dividem-se em três grupos: físicos, químicos e biológicos.

4.1.1 Parâmetros físicos

Neste grupo, pode-se analisar a água quanto ao sabor, odor, cor, turbidez, condutividade e resistividade. No entanto, para cada grupo, existem as medidas consideradas apenas relativas para a água utilizada em Sistemas de climatização ou industriais em geral, alguns parâmetros necessitam ser analisados com maior cuidado para consumo potável. Logo, neste grupo os parâmetros fundamentais a serem analisados serão cor e condutividade.

4.1.1.1 Cor

A cor pode ser devida à matéria orgânica presente, que atribui tons esverdeados ou azulados à água. Ou seja, cor é capacidade de uma água absorver radiações do espectro visível, e para fins industriais este pode ser um indicativo de presença de microrganismos, que representam perigo para o sistema e até mesmo a possível ocorrência de espuma nas torres de resfriamento. Pode ser medida através de análises laboratoriais, mas também existe aparelhagem de campo, identificado por “colorímetro”, e será mostrado posteriormente neste capítulo. A unidade é dada em PCU (unidade de cobalto de platina).

4.1.1.2 Condutividade

A Condutividade é definida como capacidade de uma substância conduzir corrente elétrica. Quanto mais condutiva uma substância for, mais corrente elétrica ela irá conduzir. E quanto maior a quantidade de sais minerais dissolvidos a água conter, mais eletricidade ela

conduz. E por consequência disso, maior será a probabilidade de a água causar incrustação ou corrosão nos sistemas de troca térmica.

Para medir a condutividade, utiliza-se um aparelho conhecido como condutivímetro, que compara a capacidade da água produzir corrente elétrica transmitida entre dois polos separados de 1,0 entre si. A unidade utilizada é $\mu\text{S}/\text{cm}$ (*microsiemens* por centímetro).

4.1.2 Parâmetros químicos

Neste grupo, os parâmetros mais relevantes a serem analisados na água de Sistemas de Climatização são: pH, alcalinidade, cloretos, dureza, ferro, sílica e sólidos totais dissolvidos.

4.1.2.1 pH

O pH é o logaritmo (base 10) do inverso da concentração de íons H^+ em uma determinada solução, expressos em mol/l. Na prática, mede a quantidade de íons hidrogênios (H^+) e/ou de íons hidroxila (OH^-) presentes em uma solução. Quanto mais H^+ mais ácido será o meio, enquanto que quanto mais OH^- mais alcalino será o meio. A escala varia de 0 a 14, onde 7,0 significa que se encontrou um meio termo dos íons e a água é definida como neutra. Abaixo de 7,0 ela possuirá característica ácida e acima de 7,0 característica alcalina. Por se tratar de um número adimensional, não possui unidade.

4.1.2.2 Alcalinidade

A alcalinidade é a capacidade de neutralização de um meio, quando submetido a um ácido forte. Tal capacidade é avaliada com o auxílio de um indicador do tipo ácido/base. A alcalinidade total, também conhecida por alcalinidade M é medida através da adição de um ácido em uma amostra, em presença do indicador conhecido por *metil orange*. A presença de íons bicarbonatos, carbonatos, hidróxidos, fosfatos e silicatos interferem nos valores de alcalinidade. A análise é feita em laboratórios pelo método de titulação e a unidade é expressa em ppm (parte por milhão) de CaCO_3 (carbonato de cálcio). “Para sistemas de recirculação de águas, é extremamente importante conhecer-se a medida da alcalinidade, pois através dela,

podemos antever tendências de corrosividade ou de incrustação de uma determinada água.” (STEINMEYER, 2009, p. 11)

4.1.2.3 Cloretos

Por definição, os cloretos são compostos iônicos formados pela ligação do ânion cloreto (Cl_1) com algum elemento menos eletronegativo do que ele. Segundo Steinmeyer, (2009, p.13) “cloretos de cálcio, magnésio, sódio, ferro e outros, presentes na água, são extremamente solúveis, mesmo com o aumento da temperatura. Por esta razão nunca se observa precipitação de sais de cloretos, sobre as superfícies de troca térmica.” No entanto, em excesso pode ocasionar alguns problemas nos sistemas de resfriamento, por exemplo: aumento da corrosividade da água para os metais das máquinas e diminuir a efetividade de alguns produtos inibidores de corrosão utilizados no tratamento de manutenção dos sistemas.

Este cenário pode vir a ocorrer pela ausência de regime adequado de drenos (purgas), logo, para controlar este parâmetro dentro dos limites convenientes é extremamente importante drenar a água recirculante no sistema.

4.1.2.4 Dureza

O termo dureza é utilizado para se referir à quantidade de íons polivalentes contidos na água, com ênfase aos íons de cálcio e magnésio. A dureza total, que é o parâmetro a ser analisado, será a soma das durezas de cálcio e de magnésio. As análises são expressas em ppm de CaCO_3 . Os sais de dureza têm seu limite de solubilidade inversamente proporcional ao aumento da temperatura. Além disso, nos trocadores de calor com tendência a elevados ciclos de concentração e alto teor de dureza na água, serão altamente susceptíveis a sofrer incrustações.

4.1.2.5 Ferro total

O ferro é um tipo de material que pode estar presente na água em dois estados diferentes: ferroso e férrico. Pode provocar depósitos da mesma maneira que a sílica e os sais de dureza. Tais depósitos são porosos e permitem que produtos corrosivos se fixem em seus interstícios, provocando corrosão por sub depósitos. Na maioria das vezes ferro se origina nos circuitos de recirculação de águas em consequência da corrosividade que a água provoca nas

superfícies. A análise pode ser feita em laboratório, além de análises em campo com kits de reagentes e o equipamento “colorímetro”, sendo o resultado dado em ppm de Fe (ferro). elevados ciclos de concentração e alto teor de dureza na água, serão altamente susceptíveis a sofrer incrustações.

4.1.2.6 Sílica

A sílica é encontrada em águas naturais na forma de ácido silícico (H_4SiO_4), como silicatos solúveis e na sua forma coloidal. Raramente encontra-se deposições compostas exclusivamente de sílica nos sistemas de resfriamento. Entretanto, sabendo-se que o ar carrega poeira e a poeira é composta basicamente por sílica, é comum encontrá-la presente na composição das deposições.

4.1.2.7 Sólidos totais dissolvidos

Os Sólidos totais dissolvidos (STD), estão presentes em uma solução tanto na forma de íons solúveis, como na forma de moléculas e não podem ser removidos por filtração. No entanto, diferente dos sólidos suspensos, não possuem capacidade para turvar a água. Podem ser identificados através do mesmo equipamento de campo que mede condutividade, pH e temperatura da água, e suas unidades de medidas podem ser ppt (parte por trilhão) ou ppm (parte por milhão).

4.1.2.8 Nitrogênio amoniacal

O amoníaco (NH_3) é solúvel em água, e reage com a própria água para produzir hidróxido de amônia. É um indicador de contaminação para as águas e extremamente tóxico aos peixes. Em altos valores de pH o amoníaco se ioniza e forma gás amônia de uma maneira não ionizada. Ao clorar água contendo amoníaco, formam-se as cloraminas, que também são tóxicas ao meio ambiente, além de serem de difícil degradação. Produzem alta corrosividade ao cobre e suas ligas, principalmente se junto com a amônia estiver o oxigênio.

4.1.3 Parâmetros biológicos

Neste grupo, os parâmetros mais relevantes a serem analisados na água de Sistemas de Climatização são: demanda de cloro e microrganismos.

4.1.3.1 Demanda de cloro (*breakpoint*)

Inicialmente, o cloro oxida e reage com a matéria orgânica, formando compostos clorados, que vão se autodestraindo à medida que mais cloro é adicionado ao meio. “Breakpoint” é o ponto de ruptura, correspondente ao início da destruição dos compostos clorados inicialmente formados. Ou seja, a partir deste breakpoint, o residual presente de cloro “livre” indica que a quantidade aplicada foi suficiente para destruir a matéria orgânica presente na água. O resultado da análise é dado em ppm de O₂ (oxigênio) e também pode ser feita através do equipamento colorímetro.

4.1.3.2 Microrganismos

No capítulo anterior foi percebido problemáticas que os microrganismos causam ao sistema de conforto térmico. E agora, é importante destacar que, de acordo com Steinmeyer (2009, p.20)

Há uma série de fatores físico químicos que favorecem o crescimento destes microrganismos, sendo que temperatura, pH, salinidade da água, alumínio, cálcio e magnésio, ferro, cobre, pressão, pressão osmótica, quantidade de oxigênio dissolvido, velocidade, fosfatos, óleos, luz e turbidez estão entre eles. Análises laboratoriais de identificação, de contagens e de estudos de microscopia, são extremamente úteis e importantes na identificação e no controle e eliminação deste tipo de contaminante.

4.2 Proposta de modelo de Gestão Integrada da água e do ar

Existe um conjunto de etapas primordiais a serem executadas de modo a obter sucesso no programa, e estas etapas podem compor um SGI – Sistema de Gestão Integrada. A Tabela 4 discrimina as etapas e as ações a serem executadas, no entanto, a primeira diretriz será estabelecer um programa consistente e presente de assistência e acessoria técnica, que utilize ferramentas como *checklist* diário do sistema e operação, análises diárias, semanais

e/ou mensais das águas, conforme necessidade pré estabelecida, além da realização de auditorias internas periodicamente, a fim de corrigir falhas.

Tabela 4 – Modelo de Gestão Integrada e tratamento da água de Sistemas de Climatização

Etapas da Gestão Integrada	Ações a executar
1) Estudo do Sistema	Estudos de tendência da água; Balanço de massa; Definição de ciclos de concentração máximos admitidos; Estabelecer os limites de controle; Utilização de Sistemas automatizados de drenos (purgas).
2) Programa de tratamento químico preventivo	Pacote de produtos químicos os quais possam prevenir e/ou amenizar a ocorrência da corrosão, do desenvolvimento microbiológico, da deposição e da incrustação; Utilização de sistemas automáticos de dosagem e dosagem de choque quando necessário.
3) Controle Químico, físico e biológico	Monitoramento do crescimento microbiológico, corrosão, deposição e da incrustação através de coleta e análise dos parâmetros da água; Instalação de corpos de prova Utilização de <i>aquacult</i> ;
4) Gestão hídrica do sistema	Instalação e leitura de hidrômetros.
5) Gestão energética do sistema	Controle das temperaturas de approach dos condensadores e leitura dos medidores de energia.

Etapas da Gestão Integrada	Ações a executar
6) Definição de um programa de manutenção corretiva	Limpeza mecânica de torres e dos trocadores de calor (condensadores) quando necessário.
7) Gestão da Qualidade do Ar Interno – QAI	Análise do ar conforme a RE N°09/2003 da ANVISA; Entrega de laudos e relatório com parecer técnico da QAI
8) Auditoria do PMOC – Plano de Manutenção, Operação e Controle	Realização de inspeção a fim de verificar se o empreendimento está de acordo com o PMOC; Entrega de relatório com parecer técnico.
9) Laudos, relatórios e controle de dados	Laudos de análises de água vs Limites de controle pré estabelecidos; Relatórios semanais, mensais e pontuais de ocorrências, quando necessário; Planilha de controle de dados.

Fonte: Empresa especializada em Tratamento da água e dor ar. (2015, com adaptação).

4.2.1 Estudo do Sistema

É de extrema importância realizar o estudo prévio da água de *make up*, visto que a qualidade da mesma irá influenciar diretamente na qualidade do circuito como um todo. O primeiro passo é identificar qual ou quais as fontes alternativas que alimentarão o sistema, e posteriormente coletar amostras e analisar de forma separada tais fontes, afim de verificar se atendem as condições mínimas para uso. Caso haja mais de uma fonte, deve ser definido o melhor cenário para o *make up* após revisão dos laudos e através de projeções com base nos resultados analíticos. A Tabela 5 mostra quais são os dados necessários para início do estudo, que foram preenchidos com as características de sistema de um empreendimento, que será tratado neste estudo como “*Shopping Center A*”.

Tabela 5 – Dados obtidos através de estudo do sistema

Características do sistema	Sigla	Unidade	Dados	Observações
Origem da Água de alimentação	-	-	Concessionária	Alimentada apenas pela concessionária
Torres de resfriamento	-	-	3	Alpina (semi aberto)
Volume estático total do sistema	V	m ³	100	Estimado
Vazão de recirculação total	Q	m ³ /h	140	Projeto
Regime de trabalho: horas/dia	RTd	h/d	12	Projeto
Regime de trabalho: dias/mês	RTm	d/m	30,0	Projeto
Temperatura Água de retorno (água quente)	Tq	°C	34,00	Projeto
Temperatura Água da bacia (água fria)	Tf	°C	30,00	Projeto
Gradiente de temperatura	DT	°C	4,00	Projeto
Perdas incontroláveis de processo	P _{IP}	m ³ /h	0,00	Projeto

Fonte: Empresa especializada em Tratamento da água e dor ar. (2022, com adaptação).

4.2.1.1 Balanço de massa

Após levantar as informações acima, é totalmente possível e importante fazer os cálculos do balanço de massa do sistema, através de fórmulas expostas na Tabela 6, que também continuará se baseando nos dados do “*Shopping Center A*”. Estes cálculos auxiliam a equipe especializada a entender as tendências de cada água e definir os limites e qual o melhor tratamento preventivo para o Sistema.

Tabela 6 – Cálculos e fórmulas para Balanço de massa do sistema

Termo	Sigla	Fórmulas	Resultados	Unidade
Evaporação Horária	E_V	$E_V = (Q \times DT) / 715$	0,78	m^3/h
Evaporação Mensal	E_{Vm}	$E_{Vm} = E_V \times RT_m \times RT_d$	282	$m^3/mês$
Arraste	A_{RR}	$A_{RR} = (0,015 \times Q) / 100$	0,00	m^3/h
Ciclo de Concentração Máximo Teórico	$C_{máx}$	$C_{MÁX} = (E_V + A_{RR}) / A_{RR}$	373,96	-
Ciclo de Concentração Recomendado	CC	Número fixado em função da qualidade da água	4,50	Número fixado em função da qualidade da água
Perdas Líquidas horárias Recomendadas	P_{LR}	$P_{LR} = E_V / (TC - 1)$	0,22	m^3/h
Perdas Líquidas Mensais	P_{LRm}	$P_{LRd} = P_{LR} \times RDd \times RT_m$	80,56	$m^3/mês$
Reposição Recomendada (Make Up)	Mu_p	$MU_P = E_V \times CC / (CC - 1)$	1,01	m^3/h
Reposição Diária	Mu_{pd}	24 hs/dia x MU _p horário	12,08	m^3/dia
Reposição Mensal	Mu_{pm}	30 dias/mês x MU _p diário	362,52	$m^3/mês$
Regime de Descargas Recomendado	D_R	$D_R = R_R - E_V - A - P_{IP}$	0,22	m^3/h
Tempo por Ciclos	T_{pc}	$T_{pc} = V / Q$	17:08	horas
Hold Time Index	HTI	$HTI = (0,693 \times V) / P_{LR}$	309,68	horas

Fonte: Empresa especializada em Tratamento da água e dor ar. (2022, com adaptação).

4.2.1.2 Limites de controle

Os limites de controle tanto para a água de reposição quanto para a água de recirculação são pré estabelecidos. Com base no comportamento da água no sistema após a implantação do modelo de Gestão integrada, todos os cálculos poderão ser refeitos e novo

ciclo de concentração recomendado, se necessário. Caso a água ultrapasse os limites recomendados, ações corretivas serão executadas. O monitoramento do sistema é essencial, visto que o mesmo pode sofrer alterações de fatores externos não controláveis. A Tabela 7 mostra os limites estabelecidos para água de alimentação e reposição, e da água recirculante, também denominada de água da condensação.

Tabela 7 – Limites recomendados água de alimentação e condensação

Analitos	Unidade	Expresso em	Limites Recomendados (Água de Alimentação)	Limites Recomendados (Água da Condensação)
pH	1 ~ 14	adimensional	6,5 a 7,5	7,0 a 8,0
Alcalinidade TOT	ppm	CaCO ₃	15 a 50	30 a 350
Condutividade	mmhos/cm	adimensional	20 a 300	< 1500
Cloretos	ppm	Cl ⁻	5 a 20	< 500
Cloro	ppm	Cl ₂	1,0 máx.	0,2 a 0,8
Dureza Cálcio	ppm	CaCO ₃	15 a 35	< 250
Dureza Total	ppm	CaCO ₃	20 a 80	< 350
Ferro Total	ppm	Fe	0,3 máx.	< 2,0
Orto-Fosfato	ppm	PO ₄ ²⁻	0,50	2,0 a 4,0
Sílica Total	ppm	SiO ₂	15 máx.	< 150
STD	ppm	adimensional	250 máx.	578,00
Contagem Total	UFC / ml	adimensional	Zero	< 10.000

Fonte: Empresa especializada em Tratamento da água e dor ar. (2022, com adaptação).

4.2.2 Programa de tratamento químico preventivo

Um programa de tratamento químico preventivo objetiva prevenir ou amenizar os efeitos dos contaminantes presentes na água de recirculação. É executado de forma contínua, e conta com produtos químicos específicos que devem ser aplicados em conjunto para obter êxito no tratamento. Os produtos, suas funções e discriminação são descritos na Tabela 8.

Tabela 8 – Produtos químicos a serem dosados no tratamento da água

Produto	Funções	Discriminação
Inibidor multifuncional anticorrosivo e antincrustante	Inibir a saturação de sais que tenham sua solubilidade inversamente proporcional à elevação de temperatura; combater a incrustação proveniente de sais de dureza, sílica, fosfatos, alumínio e ferro.	Produto composto por fosfatos orgânicos (fosfonatos) estáveis à cloração, fosfatos inorgânicos, estabilizados com terpolímeros, dispersantes inorgânicos (fosfinos carboxílicos) e acrílicos do tipo modificadores de cristais.
Dispersante orgânico e inorgânico	Produto conhecido como auxiliar de cloração, capazes de triturar a lama ou limo orgânico, facilitando desta maneira a penetração do cloro como agente oxidante; funciona como agente de fracionamento de matéria orgânica e inibidor de corrosão.	Contém na formulação agentes tenso ativos, dispersantes, emurgantes os quais auxiliam a manter o sistema limpo e livre de oleosidades adesivas.
Bactericida não oxidante	Atua contra algas, fungos e bactérias. Dispersantes do tipo ATP: Dispersa depósitos orgânicos.	Microbicida não oxidante de baixo impacto ambiental, baseado no ingrediente DBNPA (sais de cromo) o qual é aprovado pela EPA e classificado como produto de baixo impacto ambiental. Trata-se de um composto completamente compatível com o cloro, bem como com os demais produtos de tratamento recomendados.

Produto	Funções	Discriminação
Inibidor de Corrosão e de Incrustação para Água Gelada	Inibidor de corrosão de baixo impacto ambiental, que tem função de proteger adequadamente o Cobre e suas ligas, e o aço carbono.	Possui em sua formulação: nitritos, boratos, metasilicados, <i>tolyl triazol</i> , alcalinizantes e corante. Trata-se de um composto químico completamente estável e apropriado para uso em sistemas de água gelada
Bactericida e fungicida para <i>Fan coils</i>	Bactericida e fungicida, especialmente indicado em locais com alta atividade microbiológica a fim de conter preventivamente a proliferação, evitando qualquer tipo de contaminação.	Tem seu princípio ativo a partir da composição de Cloreto de Benzalcônio, e recomenda-se utilizá-lo, na forma de pastilhas, em bandejas de <i>fan coil</i> , pois é onde se encontra uma das maiores fontes de contaminações de um ambiente condicionado.

Fonte: MOREIRA (2015, com adaptação).

O produto pode ainda, se apresentar de duas formas, líquida ou sólida. É recomendado que se opte pela linha de produtos sólidos, mostrados na Figura 11, visto que são mais práticos, mais concentrados e o descarte de suas embalagens é menor, tornando ele a melhor opção também no quesito ambiental.

4.2.2.1 Sistemas de dosagem automática

De maneira a facilitar e beneficiar a operação do *shopping*, para os produtos de dosagem contínua, os equipamentos de dosagens devem ser automatizados, através de sistemas de dosagem acionados por caixa de comando “CLP” (Controle lógico programável). Desta forma, evita-se problemas de exposição e contato com produtos químicos, diminuindo-se os riscos operacionais e ambientais.

Figura 11 – Equipamento de dosagem automática e “árvore de corrosão”



Fonte: Autoria própria

Na Figura 11, além do equipamento para dosagem automatizada, também pode-se ver o esquema de uma “árvore de corrosão”, estrutura montada com o intuito de facilitar o transporte dos produtos químicos de maneira constante e uniforme, além de possibilitar a instalação de corpos de prova, que serão descritos no próximo subitem. A água que passa pela estrutura em PVC é a mesma água de recirculação do sistema semiaberto de troca térmica. Por fim, a Figura 11 também está evidenciado um condutivímetro autônomo, assistido por sonda de condutividade que é instalada na “árvore de corrosão”, além disso, o mesmo pode ainda controlar e promover drenos automáticos na água de condensação, disparados ao ler a medida de condutividade acima do limite de controle programado nele.

4.2.2.2 Sistemas de drenos automáticos e hidrômetros

Por definição, o termo “purgar” significa “limpar, purificar pela eliminação das impurezas ou matérias estranhas”. Para controlar a concentração de sais na água de recirculação, é aplicado um regime de purgas na água, que são descargas acionadas mediante o controle de “*timers*”, pré estabelecidos de acordo com os limites de controle para o circuito semiaberto das torres de resfriamento e condensadores dos *chillers*. Essa água é drenada através do equipamento mostrado na Figura 12, e sua vazão é registrado através do hidrômetro acoplado a ele.

Figura 12 – Parte interna do equipamento de um dreno automático acoplado a um hidrômetro



Fonte: Autoria própria.

4.2.3 Controle químico, físico e biológico

Existem aparelhagens e kits de campo que facilitam o processo de monitoramento no dia a dia, um deles é um aparelho multifuncional que mede pH, condutividade, temperatura e STD (Sólidos totais dissolvidos), ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – Equipamento de campo multiparâmetros



Fonte: Autoria própria.

Outro aparelho que se utiliza, é conhecido por “colorímetro checker” ou “colorímetros de bolso”, e são altamente práticos e precisos em suas leituras. Cada aparelho analisa um único parâmetro e estes são: cor, ferro, sílica, nitrogênio amoniacal e cloro livre. A linha de colorímetros possibilita ainda, a análise do residual do Inibidor multifuncional anticorrosivo e antincrustante para água de recirculação e também do Inibidor multifuncional anticorrosivo e antincrustante para água gelada. A Figura 14 mostra os colorímetros utilizados em campo para as análises acima mencionadas.

Figura 14 – Equipamentos “colorímetros de bolso” utilizados em análises da água



Fonte: Autoria própria.

Existem ainda, as “análises de bancada”, que são as titulações realizadas com manuais que incluem passo a passo e devidos reagentes e suas quantidades. As análises de titulação são para os parâmetros alcalinidade, cloretos e dureza.

Além dos resultados analíticos da água, para verificar as tendências à corrosão, deposições ou incrustações pode-se contar com análises através de corpos de prova metálicos com formato e dimensões padronizados pela NACE (Associação Nacional de Engenheiros de Corrosão) e ASTM (Sociedade americana de testes e materiais) que fornecem informações simples e diretas as taxas de corrosão de linhas e equipamentos fabricados em aço carbono, cobre ou outros materiais.

Conhecidos popularmente como “cupons de corrosão, para usá-los como indicadores os metais de composição dos cupons devem ser semelhantes ao dos trocadores de calor do sistema. Estes cupons são colocados em exposição na mesma água que passa nos trocadores de calor, por isso, geralmente são instalados nas “árvores de corrosão” mencionadas no subitem anterior, e lá permanecem por um período de 45 à 60 dias. São retirados, limpos, pesados e realizados os cálculos de perda ou ganho de massa, obtendo dessa forma taxas de corrosão ou deposição realísticas. A Figura 15 exemplifica um cupom de corrosão do tipo aço carbono e outro de cobre.

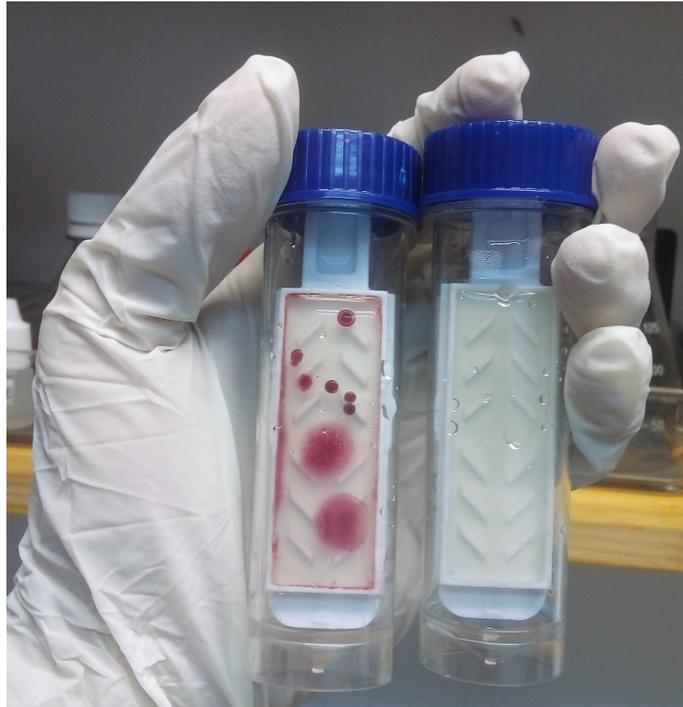
Figura 15 – Cupons de corrosão (corpos de prova)



Fonte: Autoria própria.

Por fim, a análise microbiológica é feita por meio de um laminocultivo destinado para contagem de heterotróficas em amostras líquidas, nomeado “*aquacult*” (Figura 16). É um método de comparação que dispõe de um gabarito, e tem um limite de sensibilidade de 102 UFC/mL (unidade formadora de colônia). Segundo o fabricante Laborclin (2019) “O meio que compõe o “*aquacult*” é o *Plate Count Ágar* com TTC (cloreto de trifenil-tetrazólio), o qual propicia o desenvolvimento de uma gama variada de bactérias e de alguns bolores e leveduras.” A Figura 16 demonstra um *aquacult* indicando água com presença de microrganismos e outro que indica água sem a presença de microrganismos.

Figura 16 – *Aquacults* para análises microbiológicas



Fonte: Autoria própria.

4.2.3.1 Índice de “Ryznar”

Por definição, o “índice de Ryznar” (RSI) também conhecido por “índice de estabilidade Ryznar”, é o índice que define uma tendência corrosiva ou de incrustação da água. Tem esse nome em homenagem ao seu autor “John William Ryznar (1912-1996), que publicou notavelmente em 1944 "Um Novo Índice para Determinar a Quantidade de Escala de Carbonato de Cálcio formada por uma Água".” (Wikipedia, 2020)

O autor baseou seu estudo em um anterior, publicado pelo autor Langelier, que “demonstrou matematicamente que a precipitação ou dissolução do carbonato de cálcio na água, sofre a interferência (além da temperatura), dos STD, alcalinidade total, do teor de dureza de cálcio e finalmente do pH da própria água.” (Steinmeyer, 2009, p.118)

Com base nisso, montou-se a Tabela 9, a qual reflete com mais precisão, o comportamento das águas dos sistemas de resfriamento.

Tabela 9 – Índice de Ryznar (RSI) para Sistema de resfriamento

ÍNDICE DE RYZNAR	
RSI	Condição
< 3,5	Incrustação Incontrolável
3,5 a 4,9	Incrustação severa
5,0 a 6,4	Incrustação leve
6,5 a 7,5	Água estável
7,6 a 8,9	Corrosão leve
9,0 a 11,9	Corrosão severa
>12,0	Corrosão incontrolável

Fonte: Empresa especializada em tratamento da água e do ar (2022, com adaptação).

4.2.3.1.1 Etapas para calcular o RSI (Índice de Ryznar)

a) Etapa 1: Calcular o pH de saturação (pHs) para o CaCO_3

Os coeficientes para o cálculo do pHs são: Dureza cálcica (como ppm CaCO_3); dureza magnésiana (como ppm CaCO_3); alcalinidade total (como CaCO_3); sólidos totais dissolvidos; temperatura (máxima onde se teme poder haver a incrustação) e pH da água sob análise. O procedimento é acessar a Tabela de Langelier (Anexo A), com os valores dos coeficientes acima obtidos através da análise da água que pretende-se calcular o RSI. Para ilustrar, serão atribuídos valores quaisquer aos coeficientes, e determinar-se pela Tabela de Langelier os fatores A, B, C, D e E, como exemplificado abaixo:

- Se dureza cálcica: = 218 ppm pela tabela D \cong 1,90
- Se dureza magnésiana = 135 ppm pela tabela C \cong 0,70
- Se alcalinidade total = 894 ppm pela tabela E \cong 2,50
- Se sólidos totais dissolvidos = 894 ppm pela tabela A \cong 0,20
- Se temperatura: 60 °C pela tabela B \cong 1,40

$$\text{Aplicando na fórmula: } \text{pH}_s = (9,3 + A + B + C) - (D + E) \quad (1)$$

$$\text{Logo, } \text{pH}_s = (9,3 + 0,20 + 1,40 + 0,70) - (1,90 + 2,50) = 7,2 \quad (2)$$

b) Etapa 2: Calcular o RSI, dado pela seguinte fórmula:

$$\text{RSI} = 2\text{pH}_s - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} \quad (3)$$

$$\text{RSI} = 2 \times 7,2 - 8,1 = 6,3 \quad (4)$$

Portanto, de acordo com o RSI acima e verificando a Tabela 9, a água possui tendência “Estável” e não há condições para precipitar CaCO_3 no sistema. (Steinmeyer, 2009, p. 132)

4.2.4 Gestão hídrica do sistema

O procedimento de controle da gestão hídrica pode ser aprimorado através da instalação de hidrômetros em todo o sistema. A recomendação é que estes equipamentos sejam instaurados tanto na água de reposição, como em todos os pontos de drenos e purgas da água de recirculação, na árvore de corrosão e, se possível no sistema de água gelada, visto que, apesar da incidência de perdas ser baixa, é o circuito de maior custo para o empreendimento e seu controle pode favorecer a economia com o Sistema de Climatização dos *Shopping Centers*. Somente desta forma será possível controlar as taxas de água de reposição e perdas, e obter os dados de consumo hídrico do sistema.

4.2.5 Gestão energética do sistema

No controlador visual do *chiller* (tela serviço) é possível visualizar informações como o status da máquina, tempo de operação, diferencial de pressões e de temperaturas, situação de troca térmica do compressor, do motor, evaporador e condensador. (Figura 17)

Figura 17 – Painel de um *chiller* com informações pertinentes



Fonte: Autoria própria.

A energia elétrica gasta nas máquinas operantes no Sistema de conforto térmico podem representar 70% do consumo total de energia elétrica de um *Shopping Center*. Caso o sistema esteja ineficiente, esta representatividade pode atingir valores percentuais ainda maiores. Tal ineficiência pode ser acusada pelas temperaturas de *approach*, que é a diferença entre a temperatura de condensação do gás refrigerante (medida na fase líquida) e a temperatura da água quente que está saindo do condensador (retornando para a torre de resfriamento). Valores ideais para a temperatura de *approach* oscilam entre 0 e 2,24 °C, sendo que de acordo com Steinmeyer (2009, p. 107)

Teoricamente um “*approach*” igual a 0 °C, revelaria uma eficiência máxima de troca térmica, pois significaria que todo o calor contido no gás de refrigeração seria “teoricamente” transferido (absorvido) para a água. Esta situação somente ocorre quando o banco de tubos de troca térmica é novo e completamente isento de qualquer tipo de depósitos sobre as superfícies metálicas.

Se o *approach* estiver próximo à 2,5 °C ou maior, pode significar que há depósitos ou incrustações causados pela água no interior do feixe tubular do condensador, que deixa de efetuar uma troca térmica eficiente entre o gás refrigerante e a água de refrigeração. Isto ocorrerá porque os depósitos e as incrustações têm propriedades isolantes.

Como consequência dessas irregularidades haverá aumento da temperatura da água gelada, logo, o ar condicionado ficará mais quente, provocando sensação de desconforto térmico aos usuários. Além disso, a máquina irá trabalhar mais, e em decorrência, o motor elétrico que aciona o compressor consumirá uma quantidade extra de energia elétrica,

trazendo maiores custos ao empreendimento.

Uma outra estratégia válida, seria controlar a quantidade de energia consumida por mês no sistema, através de leitura diárias dos medidores de energia, possibilitando assim ter um cálculo através da diferença entre o último e o primeiro dia do mês, possibilitando saber o comportamento do sistema em relação ao consumo de energia elétrica.

4.2.6 Programa de manutenções corretivas

É recomendado que, sempre que uma ou mais máquinas do sistema demonstrarem irregularidades, como por exemplo, o aumento na temperatura de *approach* deve-se parar para limpeza mecânica dos condensadores. Esse procedimento é resumidamente uma correção, e seguindo o procedimento operacional padrão, tanto nos *chillers* quanto nas torres é constituído das seguintes etapas:

- I) Limpeza química não agressiva, auxiliada pelo uso de agentes tenso ativos, dispersantes e oxidantes, com o objetivo de amolecer depósitos existentes.
- II) Remoção mecânica dos detritos, efetuada através da utilização de espátulas e de escovas de “nylon”.
- III) Hidrojateamento, efetuado utilizando-se máquina de alta pressão chamada “VAP”
- IV) Relatório fotográfico com antes vs depois de todos os equipamentos que constituíram o processo de limpeza.

4.2.7 Gestão da Qualidade do Ar Interno – QAI

Ademais, após a certificação de que um bom tratamento e monitoramento da água foi implantado e está sendo bem executado, é ideal que também se monitore o ambiente interno e os parâmetros indicativos da qualidade do ar. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA possui uma resolução que determina que os grandes empreendimentos cumpram os padrões referenciais da Qualidade do Ar Interior. Portanto, para obedecer a legislação e está em conformidade com a RE 09, de 16 de janeiro de 2003 da ANVISA é preciso analisar e emitir parecer técnico indicando que o ambiente interno segue os padrões de referência e não possui riscos às pessoas que o frequenta.

A resolução determina que sejam avaliados os seguintes parâmetros: contaminação microbiológica de fungos, contaminação química (CO₂, aerodispersóides totais no ar) e parâmetros físicos, que são: temperatura, umidade relativa velocidade e taxa de renovação do ar e de grau de pureza do ar. Estes, por sua vez, deverão estar de acordo com a NBR 6401 - Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto - Parâmetros Básicos de Projeto da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. A Resolução 09/2003 da ANVISA estabelece também uma estratégia de amostragem que se altera de acordo com o tamanho do *Shopping*, que é a seguinte: “selecionar 01 amostra de ar exterior localizada fora da estrutura predial na altura de 1,50 m do nível da rua; definir o número de amostras de ar interior, tomando por base a área construída climatizada dentro de uma mesma edificação e razão social.” É dada a Tabela 10 que deve-se tomar como base, a seguir:

Tabela 10 – Quantidade de pontos a serem analisados por m² de área construída

Área construída (m ²)	Número mínimo de amostras
Até 1.000	1
1.000 a 2.000	3
2.000 a 3.000	5
3.000 a 5.000	8
5.000 a 10.000	12
10.000 a 15.000	15
15.000 a 20.000	18
20.000 a 30.000	21
Acima de 30.000	25

Fonte: Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2003).

4.2.8 Auditoria do Plano de Manutenção, Operação e Controle – PMOC

O Plano de Manutenção, Operação e Controle trata-se de um plano estabelecido pela Portaria nº 3.523, de 28 de agosto de 1998 e também a RE nº09 da ANVISA, citada anteriormente. De acordo com o Art. 6º do PMOC

Os proprietários, locatários e prepostos, responsáveis por sistemas de climatização com capacidade acima de 5 TR (15.000 kcal/h = 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 outros de interesse, conforme especificações contidas no Anexo I deste Regulamento Técnico e NBR 13971/97 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.
- b) garantir a aplicação do PMOC por intermédio da execução contínua direta ou indireta deste serviço.
- c) manter disponível o registro da execução dos procedimentos estabelecidos no PMOC.
- d) divulgar os procedimentos e resultados das atividades de manutenção, operação e controle aos ocupantes.

Parágrafo Único - O PMOC deverá ser implantado no prazo máximo de 180 dias, a partir da vigência deste Regulamento Técnico.

Portanto, é obrigatório aos *Shopping Centers* de grande porte adequarem-se ao PMOC. Sabendo disso, deve-se considerar a realização de uma “Auditoria do PMOC”, com o objetivo de por em prática todos os itens obrigatórios do plano e desta forma garantir a obediência a lei. Os itens estão descritos no Art. 5º da Portaria e são eles:

Todos os sistemas de climatização devem estar em condições adequadas de limpeza, manutenção, operação e controle, observadas as determinações, abaixo relacionadas, visando a prevenção de riscos à saúde dos ocupantes:

- a) manter limpos os componentes do sistema de climatização, tais como: bandejas, serpentinas, umidificadores, ventiladores e dutos, de forma a evitar a difusão ou multiplicação de agentes nocivos à saúde humana e manter a boa qualidade do ar interno.
- b) utilizar, na limpeza dos componentes do sistema de climatização, produtos biodegradáveis devidamente registrados no Ministério da Saúde para esse fim.
- c) verificar periodicamente as condições física dos filtros e mantê-los em condições de operação. Promover a sua substituição quando necessária.
- d) restringir a utilização do compartimento onde está instalada a caixa de mistura do ar de retorno e ar de renovação, ao uso exclusivo do sistema de climatização. É proibido conter no mesmo compartimento materiais, produtos ou utensílios.
- e) preservar a captação de ar externo livre de possíveis fontes poluentes externas que apresentem riscos à saúde humana e dotá-la no mínimo de filtro classe G1 (um), conforme as especificações do Anexo II.

- f) garantir a adequada renovação do ar de interior dos ambientes climatizados, ou seja, no mínimo de 27m³/h/pessoa.
- g) descartar as sujidades sólidas, retiradas do sistema de climatização após a limpeza, acondicionadas em sacos de material resistente e porosidade adequada, para evitar o espalhamento de partículas inaláveis.

4.2.9 Entrega de laudos, relatórios e planilha de dados

A demonstração da eficiência da Gestão e tratamento implantado deve ser feita de com registro de dados, pois somente desta maneira é possível ver resultados qualitativos e quantitativos incontestáveis. Fornecer laudos e relatórios é imprescindível, ademais, na maioria dos casos, obrigatório aos empreendimentos de grande porte. Portanto, a Gestão Integrada somente estará completa, com a entrega dos seguintes documentos: Laudos químicos mensais de amostras da água de reposição, recirculação e gelada e laudos semestrais da qualidade do ar interno; Relatórios mensais de Consultoria Técnica com interpretação dos laudos, alinhados a abordagem do desempenho do tratamento de água e devidas recomendações e ações corretivas quando necessárias, objetivando manter a qualidade do tratamento do sistema; Relatórios semestrais de QAI com interpretação dos laudos e recomendações corretivas quando necessário, além do Relatório de “Auditoria do PMOC” para que o empreendimento esteja em conformidade com a Resolução 09/2003 e a Portaria 3.523/1998 da ANVISA.

Por fim, é fundamental construir planilhas de registro de dados, com informações de *Checklist* (diário, semanal ou mensal, conforme pré estabelecido), monitoramento energético (leitura dos medidores de energia e painéis dos *chillers*) e monitoramento hídrico (leitura de hidrômetros). Ter esses dados mantem o controle efetivo dos resultados da Gestão integrada, e torna viável construção de gráficos indicadores sempre que necessário ou solicitado apresentações de resultados.

4.3 Resultados reais após aplicação do modelo de Gestão Integrada

Este item é destinado à apresentação da revisão de negócios de dois *Shopping Centers*, possuindo comparativos de antes e depois da implantação de proposta de modelo de Gestão Integrada para Tratamento da água e do ar, com foco nos Sistemas de Climatização. A explanação será dada através de gráficos e planilhas com dados temporais reais.

4.3.1 Revisão de negócios – Shopping Center A

Esta revisão foi realizada em maio do ano de 2022, e os dados qualitativos e quantitativos utilizados são de um período de seis meses.

A saber, o empreendimento possui Sistema de refrigeração com as seguintes características:

- 8 torres de resfriamento;
- Sistema de resfriamento dividido por blocos A, B e C;
- 8 *chillers* instalados com capacidade frigorífica 1926,4 TR;
- Água de *make up* (reposição) do sistema advinda de concessionária;
- Circuito de climatização funciona 12 horas por dia.

4.3.1.1 Comparativos antes vs depois da implantação de modelo de Gestão Integrada

Utilizou-se para construção do comparativo laudos com análise dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água de resfriamento. Os laudos também possuem a análise de residual do produto inibidor de corrosão e incrustação com tecnologia de fosfatos estabilizados, sendo sua dosagem do tipo contínua, através de sistemas de dosagem com programação automática. Além disso, o índice de Ryznar também foi trabalhado nesta revisão de negócios. Será feito um recorte da demonstração de resultados do Bloco A, visto que não há discrepância expressiva dos resultados nos outros blocos.

4.3.1.1.1 Laudos Sistema de resfriamento – Amostras coletadas nas torres de resfriamento

Por meio da interpretação dos laudos ilustrados na Figura 18, pode-se notar o resultado positivo da qualidade da água de recirculação após aplicação de um modelo estruturado de Gestão Integrada, podendo perceber que no laudo do “antes” o pH, condutividade, STD, alcalinidade total, cloretos, dureza cálcio e dureza total estavam acima do limite de controle recomendado, e esses resultados conferem ao sistema características incrustantes, que será visto no esquema do cálculo do índice de Ryznar posteriormente, na Figura 19.

Figura 18 – Laudos de análises de parâmetros da água antes vs depois da Gestão Integrada – Bloco A

ANTES DA GESTÃO INTEGRADA

Parâmetro	Unidade expressa como	LQ*	Método	Resultados	Limites de controle
pH	1 a 14	0,01	SM22-4500-H B	8,69	7 a 8
Condutividade	µS / cm	0,01	645	2841	1500 máx.
STD	ppm de CaCO ₃	1,0	645	1255	1125 máx.
Alcalinidade Total	ppm de CaCO ₃	2,0	SM22-2320 B	548	30 a 350
Cloretos	ppm de Cl ⁻	0,5	SM22-4500-Cl-B	525	500 máx.
Dureza Cálcio	ppm de CaCO ₃	1,0	SM22-3500-Ca B	98	250 máx.
Dureza Total	ppm de CaCO ₃	4,0	SM22-2340 C	364	350 máx.
Orto-Fosfato	ppm de PO ₄ ²⁻	0,01	SM22-4500-P E	2,4	2 a 4
Nitrogênio Amoniacal	ppm de N-NH ₃	0,01	SM22-4500-NH3	0,17	1 máx.

*LQ = Limite de quantificação

APÓS A GESTÃO INTEGRADA

Parâmetro	Unidade expressa como	LQ*	Método	Resultados	Limites de controle
pH	1 a 14	0,01	SM22-4500-H B	7,84	7 a 8
Condutividade	µS / cm	0,01	645	726	1500 máx.
STD	ppm de CaCO ₃	1,0	645	364	1125 máx.
Alcalinidade Total	ppm de CaCO ₃	2,0	SM22-2320 B	114	30 a 350
Cloretos	ppm de Cl ⁻	0,5	SM22-4500-Cl-B	180	500 máx.
Dureza Cálcio	ppm de CaCO ₃	1,0	SM22-3500-Ca B	118	250 máx.
Dureza Total	ppm de CaCO ₃	4,0	SM22-2340 C	188	350 máx.
Ferro Total	ppm de Fe	0,01	SM22-3500-Fe B	0,05	2 máx.
Sílica Total	ppm de SiO ₂	0,01	SM22-4500-SiO ₂ C	27	150 máx.
Orto-Fosfato	ppm de PO ₄ ²⁻	0,01	SM22-4500-P E	4,1	2 a 4
Nitrogênio Amoniacal	ppm de N-NH ₃	0,01	SM22-4500-NH3	0,5	1 máx.
Contagem Total	UFC / ml	Zero	Aquacult	1,0 x 10 ³	1,0 x 10 ⁴ máx

*LQ = Limite de quantificação

Fonte: Empresa de Gestão e tratamento da água e do ar (2022, com adaptação).

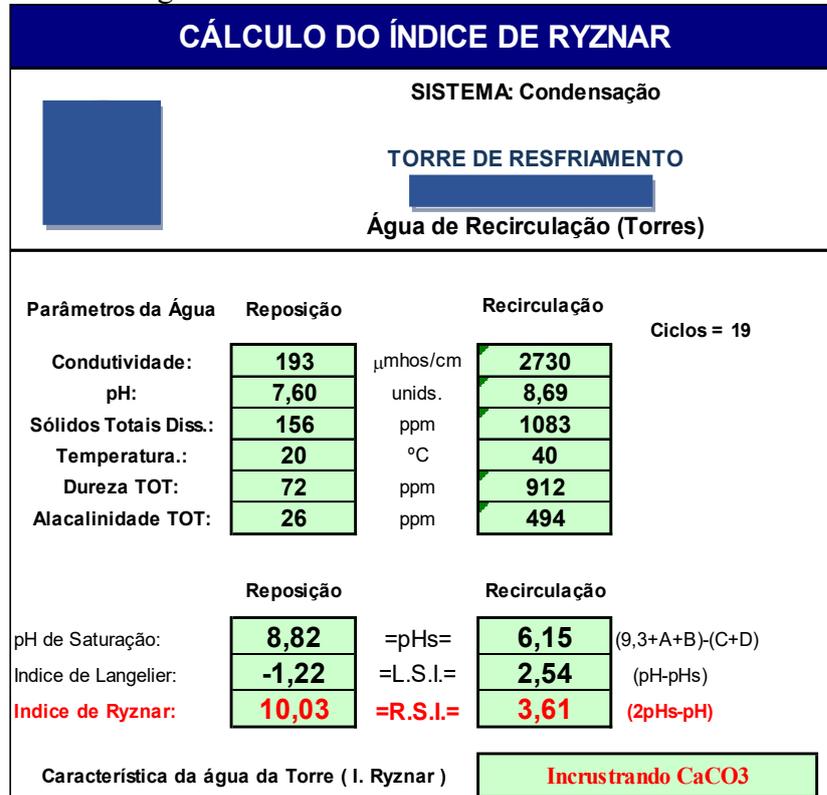
4.3.1.1.2 Índice de Estabilidade da água (Ryznar)

Como visto anteriormente, o índice de Ryznar é extremamente importante para visualizar o comportamento da água frente ao sistema, pois através dele pode-se identificar se existem riscos eminentes e o potencial desse risco, podendo ser leve, moderado ou irreversível. Na Figura 19 é mostrado o índice calculado antes do início da Gestão integrada efetiva e o tratamento no bloco A, evidenciando que a água está incrustando CaCO₃.

Em seguida, o Gráfico 1 mostra o desenvolvimento positivo do índice de Ryznar após a aplicação da Gestão integrada e tratamento da água, evidenciando que o mesmo

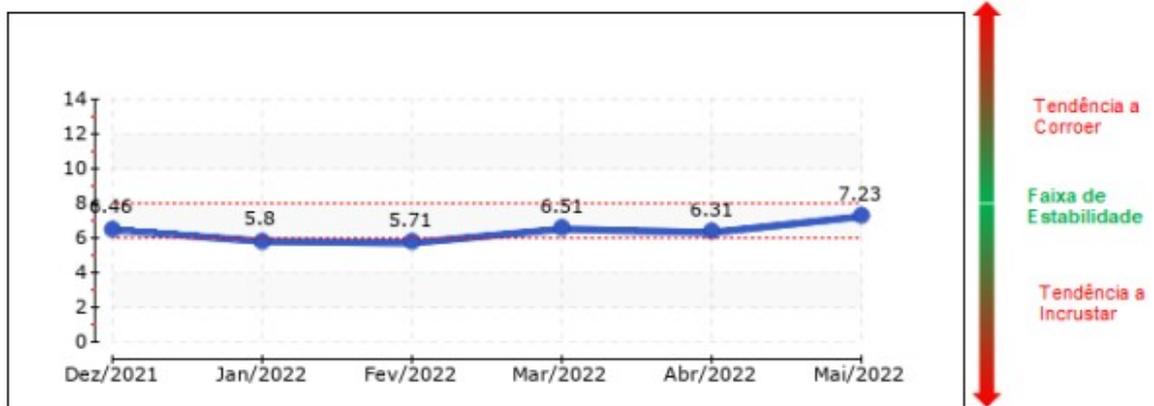
encontra-se na faixa de estabilidade há algum tempo, demonstrando que o tratamento é eficiente e traz melhorias expressivas ao Sistema de Resfriamento.

Figura 19 – Esquema do cálculo do Índice de Ryznar antes da Gestão Integrada – bloco A



Fonte: Empresa de Gestão e tratamento da água e do ar (2022, com adaptação).

Gráfico 1 – Representação do índice de Ryznar após a Gestão integrada – bloco A



Fonte: Empresa de Gestão e tratamento da água e do ar (2022, com adaptação).

Como o início da Gestão do *Shopping Center A* aconteceu propriamente em agosto do ano de 2021, a revisão de negócios no âmbito econômico financeiro ainda não foi realizada, visto que é preciso um período maior para levantamento e modelagem de dados. No

entanto, no item em seguida, será apresentada a Revisão de Negócios do *Shopping Center B*, que trabalhará com resultados em caráter econômico financeiro.

4.3.2 Revisão de negócios – *Shopping Center B*

Esta revisão foi realizada em novembro do ano de 2017, e os dados qualitativos e quantitativos utilizados são de um período de aproximadamente seis anos

A saber, o empreendimento possui Sistema de refrigeração com as seguintes características:

- 4 torres de resfriamento;
- 5 *chillers* instalados com capacidade frigorífica 1000,0 TR;
- Água de *make up* (reposição) do sistema advinda de reúso tratado por osmose reversa;
- Circuito de climatização funciona 12 horas por dia.

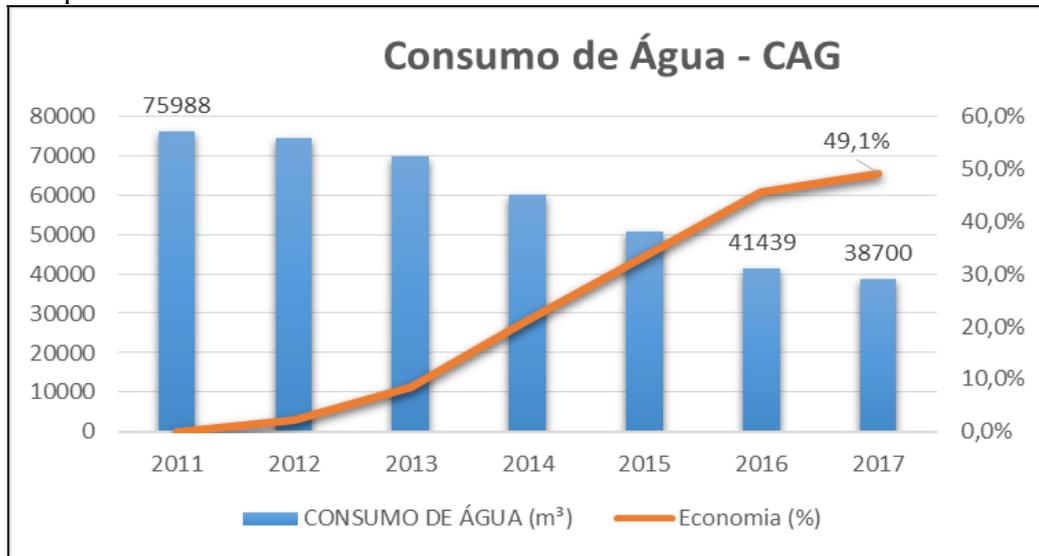
4.3.2.1 Consumo de água e energia elétrica após a implantação da Gestão Integrada

Os dados modelados para a construção dos gráficos e tabelas são: consumo de água e energia elétrica e custos com água e com energia elétrica, ambos no período de 2011 à 2017. Além disso, as tabelas possuem também as tarifas referentes para cada ano tanto de água como de energia elétrica.

No Gráfico 2 é possível identificar expressiva diminuição do consumo de água ao longo dos anos, e conseqüentemente o percentual de economia aumentado, chegando a alcançar no ano de 2017 uma economia de 49,1% de consumo de água.

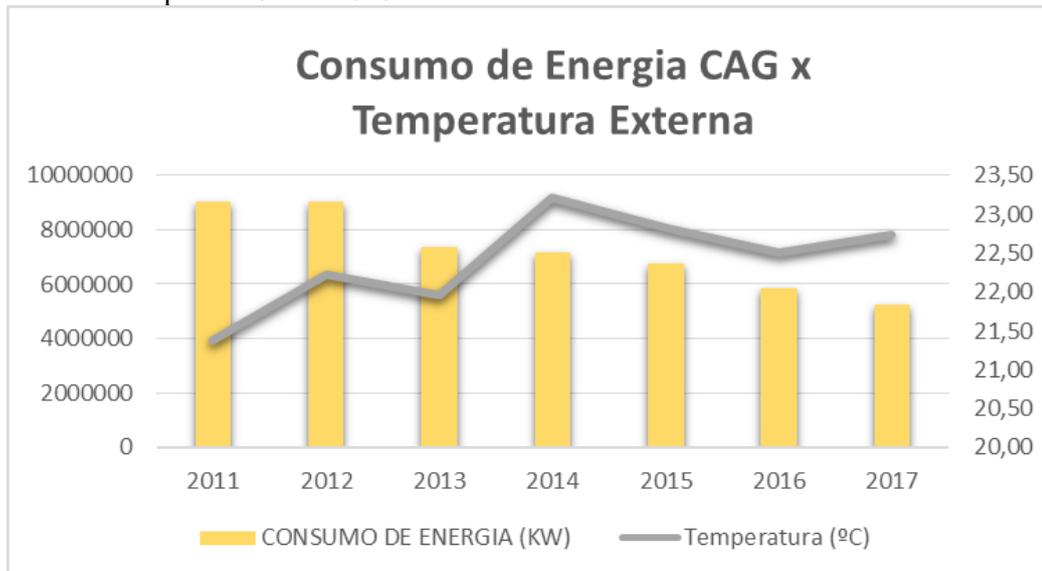
Mais adiante, o Gráfico 3 traz a relação entre o consumo de energia elétrica e a temperatura externa de cada ano, e apesar de a tendência ser de aumentar o consumo de energia elétrica em consequência do aumento da temperatura externa, observa-se que, com a Gestão Integrada efetiva diminui-se consideravelmente o consumo de energia elétrica ao longo dos anos, indicando assim, a eficiência energética desse sistema mesmo com fatores externos desfavoráveis.

Gráfico 2 – Consumo de água na CAG em m³ e percentual de economia: recorte temporal 2011 à 2017



Fonte: Empresa de Gestão e tratamento da água e do ar (2017, com adaptação).

Gráfico 3 – Consumo de energia elétrica na CAG em KW e temperatura externa: recorte temporal 2011 à 2017



Fonte: Empresa de Gestão e tratamento da água e do ar (2017, com adaptação).

4.3.2.2 Custos com água e energia elétrica após a implantação da Gestão Integrada

A Tabela 11 traz em reais os custos com energia elétrica e valor da tarifa em cada ano. Além disso, aborda a correção do IGPM (Índice Geral de Preços do Mercado) e a economia acumulada nesse período de sete anos, após implantação da Gestão Integrada, totalizando um valor expressivo de R\$ 6.985.860,69 economizados com custos de energia elétrica no *Shopping Center B*.

Tabela 11 – Dados de consumo e custos com energia elétrica na CAG – *Shopping Center B*

Ano	Consumo energia (KW)	Tarifa (R\$)	Custo energia (R\$)	Correção IGPM (R\$)	Economia Acumulada (R\$)
Antes	9.914.400	0,18	1.805.027,75	3.438.577,86	---
2011	9.035.278	0,36	3.295.273,38	4.563.690,01	0,00
2012	9.012.032	0,37	3.344.337,32	4.442.296,64	121.393,36
2013	7.371.741	0,37	2.759.019,98	3.450.347,62	1.234.735,76
2014	7.165.286	0,32	2.292.891,52	2.658.873,69	3.139.552,07
2015	6.780.786	0,49	3.322.585,14	3.701.027,58	4.002.214,49
2016	5.841.787	0,61	3.563.490,07	3.572.993,89	4.992.910,60
2017	5.246.408	0,49	2.570.739,92	2.570.739,92	6.985.860,69

Fonte: Empresa de Gestão e tratamento da água e do ar (2017, com adaptação).

A Tabelas 12 traz em reais os custos com água e valor da tarifa em cada ano. Além disso, abordam a correção do IGPM (Índice Geral de Preços do Mercado) e a economia acumulada nesse período de sete anos, após implantação da Gestão Integrada, totalizando um valor expressivo de R\$ 1.643.207,10 economizados com custos de água no Shopping Center B.

Tabela 12 – Dados de consumo hídrico e custos com água na CAG – *Shopping Center B*

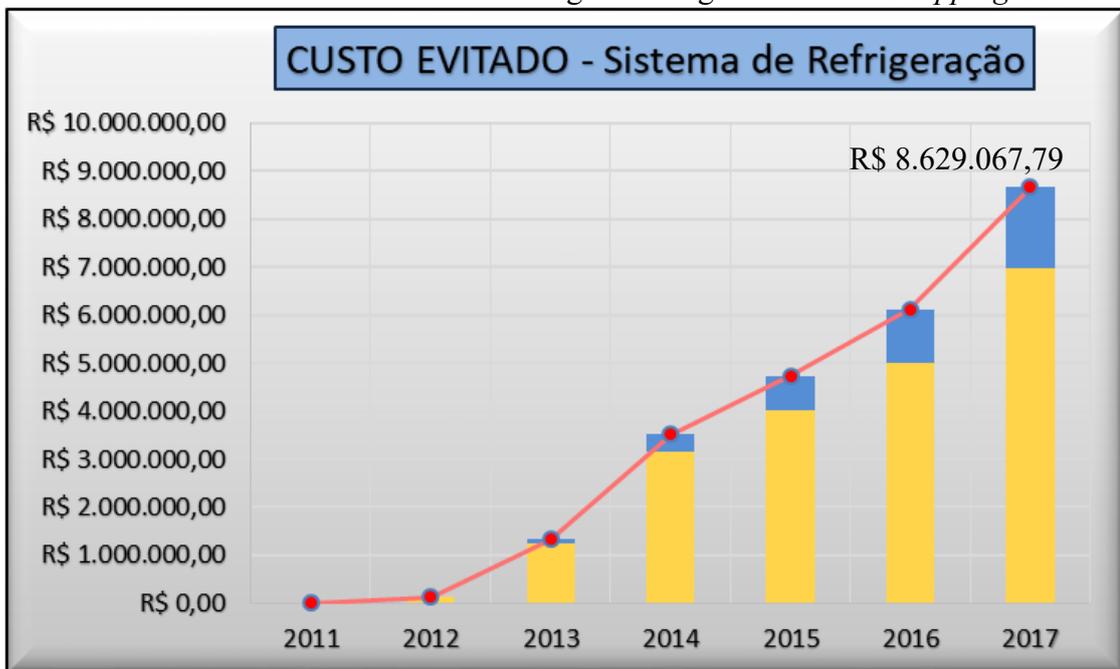
Ano	Consumo água (m ³)	Tarifa (R\$)	Custo água (R\$)	Correção IGPM (R\$)	Economia Acumulada (R\$)
Antes	72.000	6,75	486.000,00	925.830,00	---
2011	75.988	10,53	800.153,64	1.108.148,78	0,00
2012	74.353	11,23	834.984,19	1.109.112,84	-964,06
2013	69.618	11,60	807.568,80	1.009.921,31	97.263,40

Ano	Consumo água (m ³)	Tarifa (R\$)	Custo água (R\$)	Correção IGPM (R\$)	Economia Acumulada (R\$)
2014	59.886	11,97	716.835,42	831.253,82	374.158,36
2015	50.629	13,41	678.681,75	755.983,60	726.323,54
2016	41.439	17,10	708.606,90	710.496,76	1.123.975,57
2017	38.700	15,57	547.992,00	588.917,25	1.643.207,10

Fonte: Empresa de Gestão e tratamento da água e do ar (2017, com adaptação).

Por fim, o Gráfico 4 ilustra o total em reais dos custos evitados com energia elétrica e água, ou seja, a economia gerada em seis anos em consequência da gestão do Sistema de Refrigeração, que compõe o Sistema de Climatização do *Shopping Center B*, atingindo R\$ 8.629.067,79 reais em economia, valor expressivo que confirma as vantagens de se manter uma Gestão Integrada em Sistemas de Climatização.

Gráfico 4 – Soma dos custos evitados com água e energia elétrica no *Shopping Center B*



Fonte: Empresa de Gestão e tratamento da água e do ar (2017, com adaptação).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme visto ao longo do desenvolvimento do presente trabalho, existem múltiplas vertentes a serem trabalhadas de modo a compor um eficiente Sistema de Climatização em grandes empreendimentos como *Shopping Centers*. Esta problemática tem ganhado força nos últimos anos, ao observar-se na prática que, os riscos de doenças graves se espalharem em ambientes internos é enorme e preocupante, e quase nunca são percebidos pelas pessoas que frequentam esses locais, o que agrava ainda mais a situação, visto que os indivíduos podem estar expostos a riscos aos quais nem imaginam.

Manter ambientes internos adequados ao uso requer, principalmente, conscientização ambiental por parte dos gestores destes empreendimentos, que provavelmente os levarão a tomar a decisão crucial, que é contratar empresas e profissionais especializados para tratar, gerir e monitorar os Sistemas de Climatização corretamente. Na prática, nem sempre encontra-se a frente da gerência de grandes *Shoppings*, profissionais conscientes e preocupados com a questão ambiental e social, que irão se convencer de aplicar um modelo de Gestão Integrada que seja eficaz mas que, em contrapartida, requer liberação de recursos financeiros significativos, pois a tecnologia da aparelhagem, produtos químicos e mão de obra necessários para a execução devem ser de excelência. Por isso, é imprescindível agregar valor ao modelo proposto e convencer aos tomadores de decisões destes empreendimentos apresentando as vantagens econômico financeiras da implantação de tais medidas.

Para concluir, o presente trabalho possui objetivos específicos que foram cumpridos ao longo do seu desenvolvimento. Na fundamentação teórica o primeiro objetivo específico foi atendido, enquanto que os outros três foram efetuados com êxito ao longo da aplicação do método. Logo, o objetivo geral, que trata-se de evidenciar a importância do tratamento da água e propor um modelo de Gestão Integrada dos Sistemas de Climatização foi atendido durante todo o percurso deste trabalho, com a ressalva de que alguns subitens necessitam de conhecimento mais aprofundado, que demandam tempo e especialização ainda não retidos pela autora. Todavia, pode-se concluir que os objetivos propostos do trabalho foram concluídos com sucesso.

Sobretudo, o modelo de Gestão Integrada proposto neste trabalho pode ser considerado eficiente, visto que os resultados de sua aplicação são positivos, de acordo com o que foi percebido no último subitem do capítulo anterior. Pôde-se observar que a Gestão Integrada é, de fato, benéfica tanto no quesito ambiental, como socioeconômico, pois as melhorias apresentadas envolvem a redução de consumo de água e energia elétrica, e por

consequência a redução de custos com os mesmos, além de deixar os processos e o ambiente mais seguros à saúde humana.

Como sugestão para outros trabalhos, pode-se considerar aprimorar o modelo proposto para outros segmentos que não *Shopping Centers*, como indústrias, que também possuem sistemas de resfriamento parecidos em seus processos, mas que ao invés de circuito com demanda de água gelada, possuem demanda de água quente, como caldeiras, por exemplo.

REFERÊNCIAS

- ÁGUA DE RESFRIAMENTO, PORQUÊ MANTÊ-LA LIMPA?** São Paulo: Meio Filtrante, 2003. Edição 6. Disponível em: <https://www.meiofiltrante.com.br/Artigo/1207/agua-de-resfriamento-porque-mante-la-limpa>. Acesso em: 25 jun. 2022.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretoria Colegiada. **Resolução nº 09**, 16 jan. 2003. Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 20 jan. 2003. Sessão 1, n.14, p. 35-37. Acesso em 26. jun. 2022
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 3523**, 28 ago. 1998. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 31 ago. 1998. Sessão 1, p. 40-42. Acesso em 26 jun. 2022
- CARRIER DO BRASIL. **Manual de Instalação, Operação e Manutenção**. 2010. Disponível em: https://img.carrierdobrasil.com.br/downloads_docs/81aec-IOM-30HXE GXE_256.08.462-K-05-15--view-.pdf. Acesso em: 26 jun. 2022
- CORTINOVIS, Giorgia Francine e SONG, Tah Wun. **Funcionamento de uma torre de resfriamento de água**. Revista de Graduação da Engenharia Química, v. 6, n. 14, p. 5-10, 2005 Tradução. Disponível em: <http://www.hottopos.com/regeq14/giorgia.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2022.
- DUFRIO. **O QUE é Fan Coil? Entenda como funciona**. 2021. Dufrio Refrigeração. Disponível em: <https://www.dufrio.com.br/blog/ar-condicionado/fan-coil-entenda-o-que-e-e-quais-sao-os-principais-tipos/>. Acesso em: 06 jul. 2022.
- FARIAS, Guilherme Alves de. **Avaliação de Funcionalidade e Análise De Eficiência De Chillers De Shoppings: Estudo De Caso - Mangabeira Shopping**. 2019. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/15589>. Acesso em: 20 jun. 2022.
- LABORCLIN. **Manual Aquacult**. Rev. 13. 2019. 4f. Disponível em: https://dislabparana.com.br/wp-content/uploads/2020/11/501311-AQUACULT-C.TOT_-C.TOT_-.PCA-PCA-CX-10TB.pdf. Acesso em: 29 jun. 2022
- MANCUSO, Pedro Caetano Sanches, **“Reúso de água para torres de resfriamento” e-Coleções FSP/USP**. Disponível em: <http://colecoes.sibi.usp.br/fsp/items/show/2389>. Acesso em: 18 jun. 2022.
- MOREIRA, Aline Fujikawa. **Programa Water Solv**. 2015. Acesso em: 01 jul. 2022. No prelo
- PEREIRA, Josenilma de Sousa. **Consumo de água do Sistema de resfriamento do Mangabeira Shopping, João Pessoa, PB e viabilidade de reúso da água de descarte para fins não potáveis**. 2018. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/15972>. Acesso em: 20 jun. 2022.

SOUSA, Monize Ribeiro e MOTTA, Lucas Abdala. **Proposto Técnica e Comercial**. 2021. 17 f. Acesso em: 25 jun. 2022. No prelo

STEINMEYER, Marco Antonio. **Manual de Treinamento interno**. 2009. 187 f. Acesso em: 02 jun. 2022. No prelo

ANEXO A – TABELA DE LANGELIER

STD ppm	A	Temp °C	B	Dureza de Mg	C	Dureza de Ca	D	Alcalinid. M = Total	E
50	0,07	0	2,60	0	0,05	10	0,60	10	1,00
100	0,10	5	2,46	20	0,15	12	0,68	12	1,08
200	0,13	10	3,34	40	0,25	14	0,75	14	1,15
400	0,16	15	2,21	60	0,35	17	0,83	17	1,23
600	0,18	20	2,09	80	0,45	20	0,90	20	1,30
800	0,19	30	1,88	100	0,50	25	1,01	25	1,40
1000	0,20	40	1,71	120	0,60	30	1,06	30	1,48
2000	0,22	50	1,55	140	0,70	40	1,20	40	1,60
4000	0,25	60	1,40	160	0,75	50	1,30	50	1,70
		70	1,27	180	0,80	60	1,38	60	1,78
		80	1,16	200	0,85	80	1,51	80	1,90
				220	0,90	100	1,60	100	2,00
				230	0,95	150	1,78	150	2,18
				240	1,00	200	1,90	200	2,30
				250	1,05	300	2,08	300	2,48
				260	1,10	500	2,30	500	2,70
				270	1,15	700	2,45	700	2,85
				280	1,20	1000	2,60	1000	3,00

Fonte: Steinmeyer (2009, p.119).