



REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA
FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

**ANÁLISE DE SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR POR CENTRAL DE ÁGUA GELADA:
VIABILIDADE ECONOMICA, MANUTENÇÃO E SUBSTITUIÇÃO**

**ANALYSIS OF AIR CONDITIONING SYSTEM BY COLD WATER CENTER: ECONOMIC
FEASIBILITY, MAINTENANCE AND REPLACEMENT**

Daltiolly Souza Oliveira ^{1,i}
Hermom Leal Moreira^{2,ii}
Pedro André Braga de Oliveira^{3,iii}
José Ricardo da Silva^{4,iv}

Data de submissão: (02/12/2022) Data de aprovação: (18/09/2023)

RESUMO

A substituição de uma central de água gelada pode gerar discussões sobre a sua necessidade ou não. Consultores e fabricantes podem apresentar opiniões contrárias sobre o assunto. Esta é uma questão que pode afetar empresas e responsáveis de manutenção. O objetivo deste artigo é avaliar se é vantajosa a substituição de uma Central de Água Gelada em operação há mais de 20 anos, por equipamentos de mesma capacidade térmica e mesmo tipo de condensação ou se a manutenção e melhorias do sistema trará melhores resultados para a edificação e para os usuários. Para a realização do trabalho foi utilizado o método de diagnóstico energético da ISO 50.002 para o planejamento e a coleta dos dados. A análise mostrou que são necessárias correções na manutenção e operação do sistema; que a implementação de melhorias tem custos inferiores à substituição e a análise de viabilidade econômica de substituição do sistema se mostrou inviável.

Palavras-chave: avaliação financeira; central de água gelada; eficiência energética; manutenção de central de água gelada.

ABSTRACT

The replacement of a chilled water plant can generate discussions about its need or not. Consultants and manufacturers may present opposing opinions on this matter. This is an issue that can affect companies and maintenance managers. The objective of this article is to evaluate whether it is advantageous to replace a Chilled Water Plant in operation for more

¹ Pós-Graduado em Eficiência Energética na Indústria na Faculdade SENAI. E-mail: d.oliveirasilva@gmail.com

² Professor na Faculdade SENAI São Paulo - Campus "Mariano Ferraz". E-mail: hermom.moreira@sp.senai.br

³ Professor na Faculdade SENAI São Paulo - Campus "Mariano Ferraz". E-mail: pedro.braga@sp.senai.br

⁴ Coordenador na Faculdade SENAI São Paulo - Campus "Mariano Ferraz". E-mail: jricardo@sp.senai.br

than 20 years, with equipment of the same thermal capacity and the same type of condensation, or if the maintenance and improvements of the system will bring better results for the building. and for users. To carry out the work, the method of energy diagnosis of ISO 50.002 was used for planning and data collection. The analysis showed that corrections are needed in the maintenance and operation of the system; that the implementation of improvements has lower costs than replacement and the analysis of the economic feasibility of replacing the system proved to be unfeasible.

Keywords: energy efficiency; cold water plant; financial evaluation; maintenance of the chilled water plant.

1 INTRODUÇÃO

Um edifício bem projetado deve ser agradável e promover conforto e bem-estar as pessoas que o ocupam. Dentre as diversas variáveis utilizadas para promover o conforto dos usuários, como arquitetura, envoltória e iluminação, está o sistema de ar de condicionado.

O cenário atual exige cada vez mais que os edifícios, além de promover o bem-estar de seus ocupantes, atendam as questões ambientais e sejam energeticamente mais econômicos e sustentáveis.

De acordo com Pereira (2020) os edifícios possuem grande potencial de aprimoramento da eficiência melhorando qualidade térmica, diminuição do consumo de energia e melhor nível de conforto térmico. Segundo Hernandez (2022) o aumento do desempenho térmico e energético das edificações ocorrerá quando as soluções integrarem todas as disciplinas (arquitetura, engenharia mecânica, civil, elétrica etc.). Este tipo de integração exige mudança de cultura do cliente e das empresas projetistas, porém o seu potencial de redução é extremamente alto.

Dentre os diversos usos finais de energia, os sistemas de ar condicionado, representam grande parte, se não a maior parcela do consumo e consequentemente do custo de energia elétrica em um edifício, podendo variar entre 30 e 40% da despesa com energia elétrica consumida, conforme Rodrigues (2021). O sistema de ar condicionado do edifício, objeto de estudo deste artigo, representa 39% da carga elétrica total do edifício, conforme será posteriormente apresentado.

Pensando na melhoria dos padrões energéticos das instalações do edifício, para manter o conforto e bem-estar de seus ocupantes, este trabalho de pesquisa se propõe a estudar a viabilidade de substituição de uma central de água gelada, que está em operação a mais de 20 anos.

Estudos para a substituição de sistemas de ar condicionado em operação, podem concluir não ser viável a sua substituição do ponto de vista financeiro, conforme indicado por Moreira (2022). Entretanto, deve-se observar, além de aspectos financeiros, questões relacionadas ao atendimento de legislações e normas técnicas, quando se pensa na substituição destes tipos de sistemas.

A Norma Regulamentadora n.º 15, do Ministério do Trabalho e Emprego (BRASIL, 2020) estabelece os limites máximos de tolerância para exposição ao calor e critérios para caracterizar atividades ou operações insalubres, decorrentes da exposição em ambientes fechados ou com fonte artificial de calor.

A Norma Regulamentadora n.º 17, também do Ministério do Trabalho e Emprego (BRASIL, 2021), estabelece que em locais onde são executadas atividades que exijam

solicitação intelectual e atenção constantes, como escritórios e salas de desenvolvimento ou análise de projetos, que é o caso do edifício de estudo, deve ser adotado como condição de conforto, entre outros índices, o índice de temperatura entre 20 (vinte) e 23° (vinte e três graus centígrados).

Já a norma brasileira, ABNT NBR 16.401-2 (ABNT, 2008) define os parâmetros de conforto térmico, para uma maioria de 80% ou mais das pessoas de um grupo homogêneo em termos de atividade física ou roupa usada, é suscetível de expressar satisfação em relação ao conforto térmico. A referida norma estabelece parâmetros para grupos homogêneos de pessoas, usando roupas típicas da estação (verão ou inverno) e realizando atividades sedentárias ou médias.

Portanto, sistemas de condicionamento artificial de ar, devem atender a parâmetros específicos determinados em leis e normas técnicas brasileiras, para garantir o mínimo de salubridade e conforto aos usuários de um edifício.

Outro aspecto a ser considerado, e tão importante quanto ao atendimento à legislação, é a disponibilidade de peças e assistência técnica para a manutenção do sistema. A lei brasileira 8.078, Código de Defesa do Consumidor (BRASIL, 1990), define que fabricantes e importadores deverão assegurar a oferta de peças de reposição enquanto não cessar a fabricação ou importação do produto e cessada a produção ou fabricação, a oferta deverá ser mantida por período razoável; porém não é determinado qual o período de produção de peças de reposição após paralisada a fabricação.

Vale ressaltar que foi promulgada a Lei n.º 13.589 (BRASIL, 2018), que estabelece a obrigatoriedade de edifícios públicos e coletivos, que possuem sistemas climatizados, possuírem um Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC), visando a eliminação ou minimização de riscos à saúde dos ocupantes. Portanto, para garantir o atendimento a legislação, é imprescindível a existência de peças de reposição e assistência técnica, devido ao desgaste natural dos componentes.

Além dos parâmetros de conforto, os sistemas de condicionamento de ar, devem atender as questões ambientais e possuir níveis de eficiência energética que reduzam os níveis de emissão de Gás Carbônico (CO²) e proporcionem menor consumo de energia elétrica. Segundo a nota técnica n.º 30 da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), de 13 de dezembro de 2018 (EMPRESA PESQUISA ENERGÉTICA, 2018), o uso de energia no mundo, para climatização em edifícios, cresce mais rápido que qualquer outro uso final e triplicou entre 1990 e 2016. A nota técnica informa ainda que, a participação de energia elétrica destinada para fins de refrigeração, no setor comercial, aumentou de 15 para 33% entre 1984 e 2004. Isso contribui para o aumento da demanda global de energia.

Desta forma, os sistemas de condicionamento de ar, além de proporcionar conforto térmico aos ocupantes de um edifício, devem ser econômicos, ambientalmente corretos, proporcionar níveis de temperatura e umidade adequados, atendendo a legislação específica para ambientes de trabalho e serem bem mantidos por seus administradores.

Neste artigo pretende-se avaliar se é vantajosa a substituição de uma Central de Água Gelada (CAG) por equipamentos de mesma capacidade térmica e mesmo tipo de condensação ou se a manutenção e melhorias do sistema trará melhores resultados para edificação; e se existem outros componentes e variáveis do sistema de ar condicionado, que podem prejudicar o funcionamento da CAG e avaliar a viabilidade econômica de substituição do sistema.

Pretende-se reduzir o consumo com energia elétrica, reduzir o custo com manutenção e operação e aumentar a eficiência da instalação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A seguir é apresentado um levantamento de informações utilizadas como base e fundamentação teórica para o desenvolvimento do trabalho.

São apresentados conceitos sobre condicionamento de ar, CAG e eficiência de máquinas e equipamentos.

2.1 Condicionamento de ar

Conforme a norma brasileira 16.401-1 (ABNT, 2008), condicionamento do ar é o processo de controle simultâneo da umidade, temperatura, movimentação, renovação e qualidade do ar, de forma artificial, em um dado ambiente.

O condicionamento do ar, em um ambiente, é realizado por máquinas e equipamentos para manter este ambiente, artificialmente adequado ao conforto humano. Isto inclui o controle da temperatura, umidade e qualidade do ar. Segundo Rodrigues (2020), o tratamento de ar pode exercer as funções de pré-aquecimento, pré-resfriamento, umidificação e desumidificação. Além disso, há situações em que o sistema de condicionamento de ar pode pressurizar um determinado ambiente (REIS, 2022).

2.1.1 Conforto térmico

De acordo com a norma brasileira 16.401-2 (ABNT, 2008) conforto térmico é algo subjetivo, devido a percepção física e psicológica de cada indivíduo, não sendo possível, determinar condições para proporcionar conforto para 100% das pessoas que ocupam um ambiente. Adota-se como parâmetro de conforto térmico, a sensação de uma maioria de 80% de pessoas, de um grupo homogêneo realizando atividades sedentárias ou médias e usando roupas típicas de estação. A mesma norma, estabelece os parâmetros de temperatura e umidade para proporcionar conforto térmico para 80% ou mais de pessoas, conforme destacado na tabela 01 a seguir:

Tabela 01 – Parâmetros de temperatura, umidade e velocidade do ar

Estação	Temperatura °C	Umidade Relativa (%)	Velocidade do Ar (m/s)
Verão	22,5 – 25,5	65	0,20
	23,0 – 26,0	35	0,25
Inverno	21,0 – 23,5	60	0,15
	21,5 – 24,0	30	0,20

Fonte: Elaborado pelo autor.

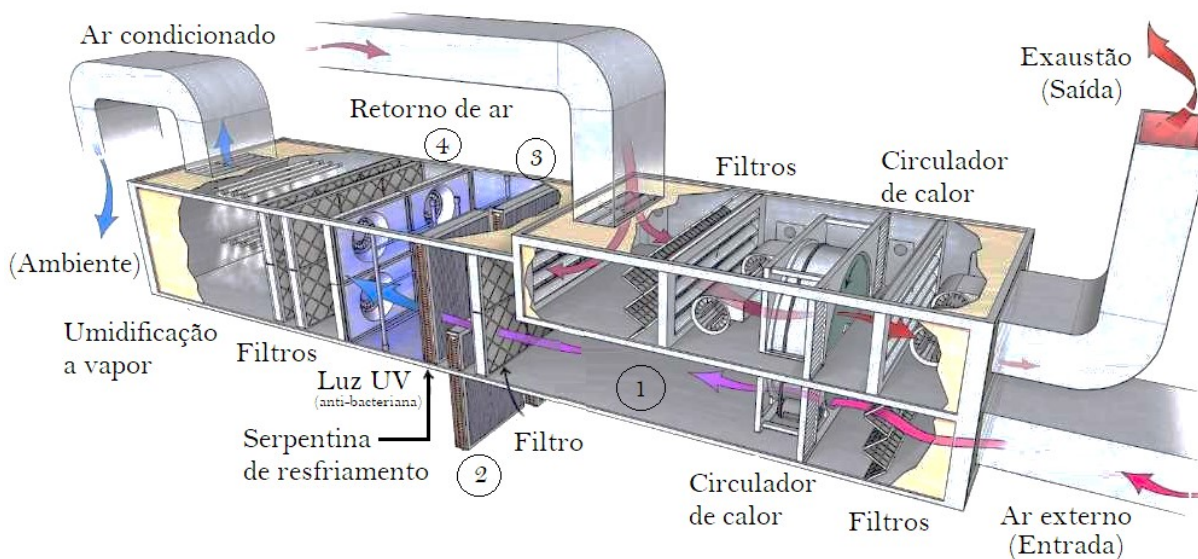
2.1.2 Unidades de tratamento de ar

Sistemas de condicionamento de ar podem ser diferenciados pela maneira como retiram e dissipam o calor do ambiente, cujo mecanismo consiste em retirar o calor através do ar e dissipá-lo através de um condensador por meio da evaporação. Em outros casos, o calor é retirado por meio de um trocador de calor intermediário, denominado Unidade de Tratamento de Ar (UTA) ou também chamado de *fancoil*, a base de água, e dissipado através de um *chiller*, que pode ser resfriado por ar, água ou evaporação (MORAIS, 2019).

Neste trabalho, os estudos tiveram como foco sistemas de retirada do ar por meio de UTAs, são compostas basicamente por um ventilador e um trocador de calor (FIAMETTI, 2018).

O tratamento realiza o resfriamento, a desumidificação e filtragem do ar. Uma UTA é formada por: 1 – caixa de mistura, que mistura o ar de retorno do ambiente condicionado com o ar externo; 2 – um sistema de filtragem do ar externo e do ar de retorno do ambiente; 3 – uma serpentina, por onde circula água gelada, proveniente do *chiller* para o resfriamento do ar da caixa de mistura; 4 – ventilador, que insufla o ar dentro do ambiente. Em alguns casos pode haver a necessidade de um umidificador e um componente para aquecer o ar. A Figura 01 a seguir, apresenta um exemplo de sistema com UTA:

Figura 01 – Sistema de Climatização com UTA



Fonte: Adaptado de (CARVALHO, 2019).

Para a movimentação, renovação e a qualidade do ar no interior do ambiente, a Resolução n.º 09 da ANVISA (BRASIL, 2003), estabelece padrões mínimos de taxa de renovação, filtragem de ar, além de padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados de uso público e coletivo.

Segundo a Portaria 3.253 do Ministério da Saúde (BRASIL, 1998), a qualidade do ar em um ambiente condicionado deve ser algo de extrema importância, para garantir a saúde, o bem-estar, o conforto, a produtividade e o absenteísmo ao trabalho, e para assegurar esses parâmetros, semestralmente, deve ser realizada avaliação e controle de ar ambiental no interior de ambientes climatizados, conforme a Resolução n.09 da Anvisa (BRASIL, 2003).

2.2 Central de água gelada

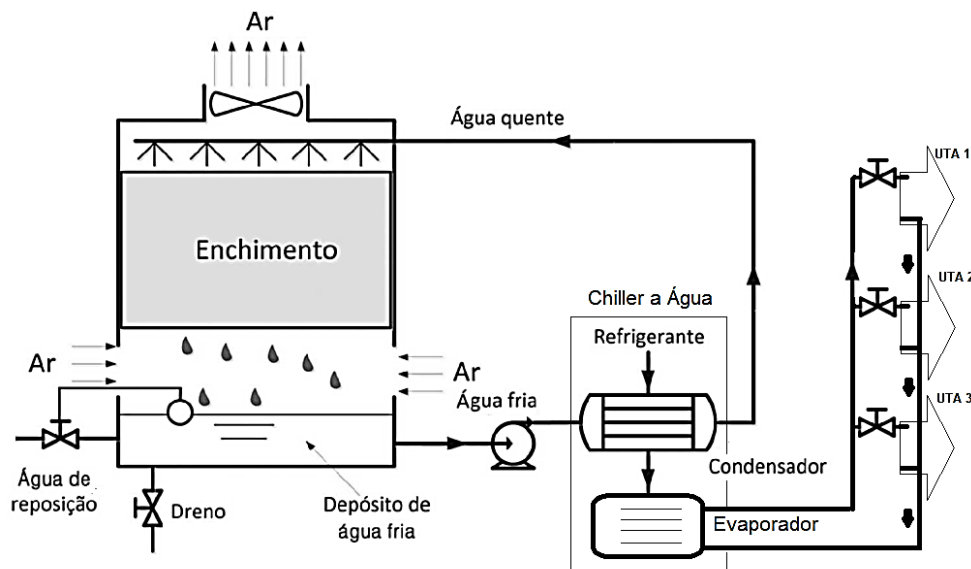
Conforme a NBR 16.401.1 (ABNT, 2008), CAG, é o sistema que produz água gelada, através de um ou mais resfriadores de água (*chillers*), que distribui a água gelada, através de bombas em circuito fechado. São sistemas utilizados para conforto térmico de pessoas ou para processos industriais (PROTOCOLO DE MONTREAL, 2017).

De acordo com Jabardo e Stocker (2018), estes sistemas classificam-se em condensação a ar, água e evaporativos. Eles são constituídos por *chiller*, torre de resfriamento (quando a condensação é a água), bombas e tubulação de água gelada, UTAs e válvulas de

controle. Segundo Ponciano (2018), o *chiller* é o equipamento principal do sistema, é esta máquina que remove e rejeita o calor, é nele onde ocorrem as trocas de calor; ele é composto por compressor, evaporador, válvula de expansão, condensador, filtro secador e instrumentos de nível, temperatura e pressão.

A Figura 02, apresenta os elementos de uma CAG de condensação a água:

Figura 02 – Elementos de uma CAG de condensação a água



Fonte: Adaptado de Jabardo e Stocker (2018).

2.2.1 Tipologias de central de água gelada

Centrais de água gelada podem ser configuradas de diversas maneiras, dependendo da necessidade de cada edifício, atendimento de selos de eficiência energética, disponibilidade financeira do proprietário e limitações físicas de espaços em casos de modernizações de instalações existentes.

Os itens 2.2.1.1 a 2.2.1.4 descrevem os tipos mais comuns de centrais de água gelada existentes.

2.2.1.1 Circuito único de água gelada com válvulas de duas vias

Circuito único de água gelada, com vazão total constante nos *chillers* e válvulas de 2 vias de controle das UTAs. O *by-pass* possui uma válvula diferencial entre a tubulação de alimentação e retorno, para o controle da vazão de água gelada nas válvulas de duas vias e garantir a vazão constante nos *chillers*. Possui apenas um conjunto de bombas de água gelada.

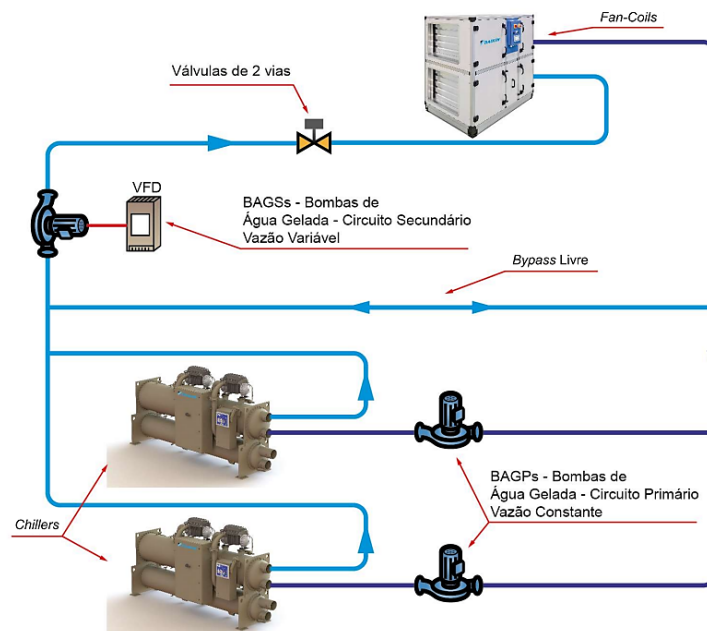
Este tipo de sistema apresenta um consumo de energia elevado, pois as bombas de água gelada trabalham com vazão constante e plena altura manométrica, mesmo com o sistema em cargas parciais. É possível desligar um dos *chillers* e uma das bombas quando a carga total for menor que 50%, (PROTOCOLO DE MONTREAL, 2017).

2.2.1.2 Circuito primário e secundário de água gelada

Sistema com circuito primário e secundário de água gelada, composto por um conjunto de bombas com vazão constante no primário, para atender aos *chillers* e um conjunto de bombas com vazão variável no secundário, controladas em função da vazão das UTAs. O sistema possui uma tubulação de *by-pass* entre o circuito primário e secundário, porém sem controle, para garantir o equilíbrio dos circuitos, mantendo-os na pressão de sucção (PROTOCOLO DE MONTREAL, 2017).

A Figura 03 a seguir, representa uma central de água gelada com circuito primário e secundário de água gelada:

Figura 03 – Circuito Primário e Secundário de Água Gelada



Fonte: PROTOCOLO DE MONTREAL (2017).

Mesmo com um conjunto extra de bombas, com aplicação de um sistema de controle, este sistema é mais eficiente que o circuito de água gelada. O circuito primário opera no sistema 1 para 1 e com um *chiller* em operação, haverá duas bombas em operação; com dois *chillers*, haverá duas bombas operando, e assim sucessivamente. As bombas do circuito secundário operam em vazão variável, em função da carga térmica do edifício. O *by-pass* entre os circuitos deve ser de fluxo livre e pode haver fluxo nos dois sentidos para manter a pressão de sucção nos dois sentidos (PROTOCOLO DE MONTREAL, 2017).

O sistema de água gelada, objeto de estudo deste artigo, é o apresentado neste item.

2.2.1.3 Circuito primário de água gelada variável

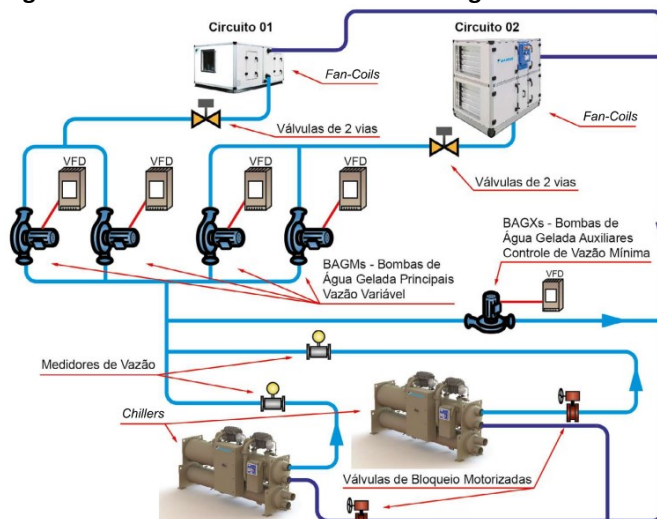
Este sistema conta apenas com um único circuito de água gelada com vazão variável. O dimensionamento deste sistema, atende os *chillers* em série, com as UTAs. Diferente dos demais sistemas apresentados, a vazão dos *chillers* é variável, igual a vazão das UTAs. Este sistema possui um *by-pass* entre a tubulação de saída dos *chillers* e a tubulação de retorno com uma válvula pressostática, para evitar que os *chillers* operem com vazão abaixo do especificado.

Este sistema apresenta consumo de energia até 40% menor que os sistemas anteriores (itens 2.2.1.1 e 2.2.1.2), desde que haja um sistema de controle adequado, ou seja, a configuração e ajuste de parâmetros de funcionamento das bombas, válvulas de controle, por meio do recebimento de sinais de instrumentos de nível, temperatura e pressão conectados em malha com programação otimizada. A variação da vazão no sistema é em função da carga térmica no edifício.

2.2.1.4 Circuito único com vazão de água gelada variável

Este sistema também conta com um único circuito de água gelada com vazão variável, porém as bombas são dimensionadas para atender as UTAs em série, com os *chillers*, também, em série com as UTAs. O *by-pass* neste sistema, possui uma bomba auxiliar, acionada para evitar a vazão mínima nos *chillers*, que também operam com vazão variável. A Figura 04 a seguir, representa uma central de água gelada com circuito único com vazão de água gelada variável:

Figura 04 – Circuito Único com Vazão de Água Variável



Fonte: PROTOCOLO DE MONTREAL (2017)

Este sistema é similar ao anterior, porém permite maior vantagem de controle nos circuitos de distribuição de água gelada, pois permite um conjunto de bombas para cada circuito, e cada um deles com controle de pressão independente. No retorno, todos os circuitos se unem em um barrilete, e fluxo de água segue para os *chillers*. O consumo de energia também é 40% menor que os dois primeiros sistemas (itens 2.2.1.1 e 2.2.1.2).

2.3 Eficiência energética de máquinas e equipamentos – *chillers*

A seguir serão apresentadas as leis e normas brasileiras que tratam do tema eficiência energética e sua aplicação no funcionamento de *chillers*.

2.3.1 Eficiência energética

Segundo Afonso (2018), desde a década de 1970, depois da crise do petróleo, o tema eficiência energética ganhou visibilidade no cenário mundial.

No Brasil, o tema eficiência energética é objeto da Lei 10.295 (BRASIL, 2001), que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. A referida lei obriga fabricantes e importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia, a adotar níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética. Existe ainda uma família de normas NBR ISO para gestão de energia, 50.001 a 50.006 (ABNT, 2018) que estabelecem sistemas e processos para a melhoria contínua do desempenho energético de edificações e indústrias.

Os projetos de edificações devem racionalizar o consumo energético, sem comprometer à saúde, segurança, conforto e produtividade do usuário.

2.3.1.1 Eficiência energética de chillers

A eficiência de um *chiller* é definida por índices de desempenho energético cujos valores são indicados nos manuais dos fabricantes dos equipamentos, denominadas de Coeficiente de Desempenho (COP), e o *Integrated Part Load Value (IPLV)* ou Valor Integrado de Carga Parcial.

O termo COP, indica a razão da potência de aquecimento em kW retirada de um ambiente pela potência elétrica consumida pelo sistema de refrigeração, também em kW. Por exemplo: se um sistema de ar condicionado gerar 5 kW de frio com 1 kW de eletricidade consumida, o seu COP é de 5,0. A equação 1 apresenta o COP como a razão entre a energia útil e a energia gasta em um *chiller*.

$$\text{COP} = \frac{\text{Energia útil}}{\text{Energia gasta}} \quad (01)$$

Quanto mais elevado o COP, maior eficiência energética possui o equipamento (DAIKIN, 2022).

O IPLV, considera o desempenho de um *chiller*, não somente a 100 % da carga, mas a sua operação em cargas parciais ao longo do ano. Para obter um consumo de energia racional, sem afetar o processo principal, é necessário que a capacidade de resfriamento dos *chillers* esteja adequada a real necessidade térmica das UTAs; no caso de superdimensionamento ou subdimensionamento do *chiller*, ocorrerá desperdício de energia durante a operação. A Equação 2 define o IPLV como:

$$\text{IPLV} = \frac{1}{\frac{0,01}{A} + \frac{0,42}{B} + \frac{0,45}{C} + \frac{0,12}{D}} \quad (02)$$

Onde:

- a) A = Entrada de energia por capacidade, kW/tonR a 100 % carga;
- b) B = Entrada de energia por capacidade, kW /tonR a 75 % carga;
- c) C = Entrada de energia por capacidade, kW /tonR a 50 % carga;
- d) D = Entrada de energia por capacidade, kW /tonR a 25 % carga.

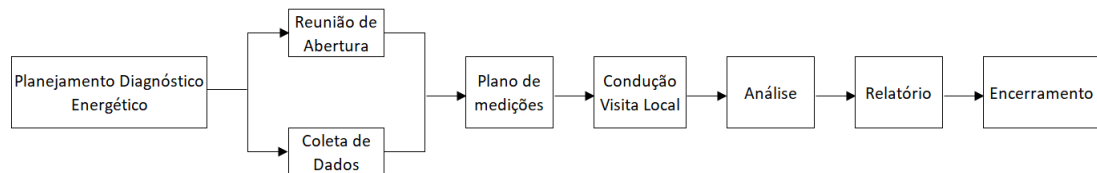
Apesar dos fabricantes apresentarem índices de eficiência energética cada vez melhores de seus equipamentos, é importante observar que o *chiller* é apenas um dos componentes de um sistema de água gelada e o desempenho do sistema, e do próprio *chiller*, depende dos demais componentes da instalação. Cabe destacar que para a operação ótima

de um sistema de água gelada depende, muitas vezes da substituição de *chillers* antigos. Isso deve ocorrer por meio de verificação, análise e projeto de todo sistema antes da execução e instalação de novos equipamentos.

3 METODOLOGIA

O método de diagnóstico e coleta de dados da instalação se baseou na norma NBR ISO 50.002 (ABNT, 2014), conforme detalhado na Figura 05 a seguir:

Figura 05 – Método de Coleta de Dados



Fonte: ABNT (2014)

A escolha deste tipo de metodologia de diagnóstico é recomendada pela ANEEL para realização de Ações de Eficiência Energética (AEEs) e facilita a ação de tomadores de decisão em projetos de eficiência energética. Além disso, existem linhas de crédito e financiamento de projetos para AEEs que são elegíveis por meio de procedimentos de Medição e Verificação (M&V) típicos da NBR 50002. O planejamento energético, se deu, delimitando o local e o sistema a ser avaliado. Logo após, definiu-se o escopo da avaliação, identificando as possíveis melhorias na CAG para torná-la mais eficiente e avaliar a necessidade de sua substituição.

A coleta dos dados levantou os principais sistemas consumidores de energia do edifício. Foi realizado o levantamento e análise documental dos projetos, relatórios de manutenção e avaliações existentes sobre o sistema.

Foram realizadas visitas às instalações, para conhecimento, comparações entre o projetado e o instalado e identificação de oportunidades.

Apresentadas as oportunidades de melhoria do sistema, o tipo de melhoria (operação, manutenção ou modernização), o grau de dificuldade para implementação, o potencial de redução e os custos envolvidos de cada oportunidade.

Também foi realizada uma análise de viabilidade econômica utilizando valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR) para a substituição do sistema existente, por sistema de características semelhantes.

3.1 Estudo de caso - desenvolvimento do trabalho

O edifício onde se propõe realizar o estudo está localizado na cidade de São Paulo, bairro do Belenzinho.

O complexo possui dois edifícios denominados Blocos 1 e 2 sendo o primeiro deles formado por uma área construída de 15.000 m², sendo o primeiro objeto de análise deste artigo.

O local também dispõe de um restaurante para refeição dos funcionários, um auditório, uma plenária e um espaço de café.

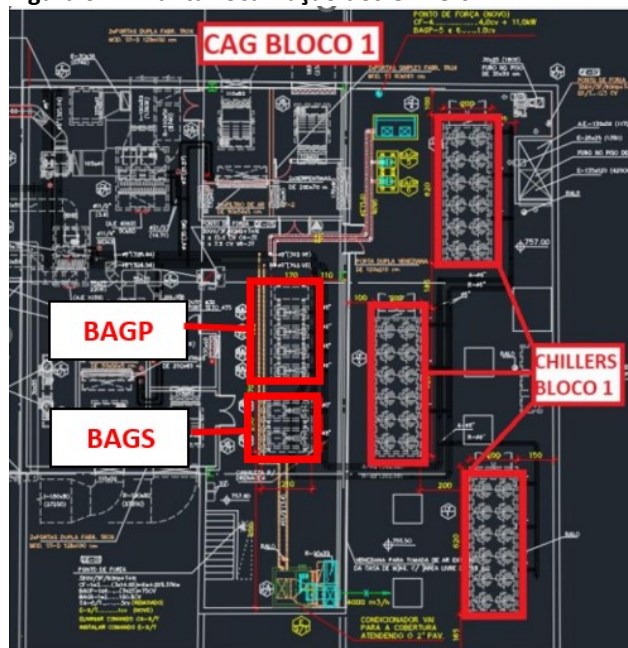
As Figuras 06 e 07, ilustram o edifício e a planta do local de instalação da central de água gelada:

Figura 06 - Localização do Edifício de Estudo



Fonte: Google (2022).

Figura 07 – Planta Localização dos Chillers



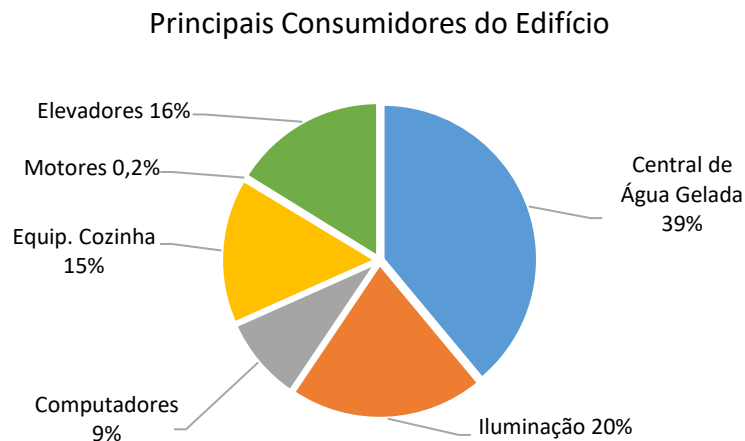
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 Principais sistemas consumidores de energia

Os dados dos sistemas consumidores de energia do edifício foram levantados durante as visitas as instalações e em manuais de fabricantes dos sistemas.

O Gráfico 01 apresenta os principais consumidores de energia do edifício, quando da elaboração do estudo:

Figura 08: Gráfico dos principais sistemas consumidores de energia



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3 Dados de projeto da central de água gelada

O projeto do sistema de água gelada previu uma carga térmica de 450 TRs com condensação a ar, sendo constituída de:

- a) 03 *chillers*, capacidade 150 TR cada um;
- b) 04 bombas primárias para a circulação de água gelada, sendo 3 operantes e 1 reserva (BAGP);
- c) 02 bombas secundárias para circulação de água gelada, sendo 1 operante e 1 reserva (BAGS);
- d) 01 bomba de recalque de água para tanque de compensação (BA-1).

A circulação de água gelada se processará através de:

- a) circuito primário, com bombas primárias promovendo a circulação de água pelos *chillers*, em regime de vazão constante;
- b) circuito secundário, com bombas secundárias promovendo a circulação de água pelos condicionadores, em regime de vazão variável, em função da variação de carga térmica das UTAs;
- c) *bypass* entre os circuitos primário e secundário é de fluxo livre nos dois sentidos.

Para permitir o funcionamento das bombas secundárias com vazão variável de água, sem prejuízo na sua eficiência, o motor de acionamento será alimentado através de inversor de frequência, para operar com velocidade variável de rotação.

3.4 Análise documental da manutenção do sistema

Em grande parte das edificações com CAGs, a manutenção do sistema é realizada por empresas contratadas. As atividades são baseadas em um Plano de Manutenção Operação e Controle (PMOC), onde são executadas as atividades de verificação, medição, ajustes e correções, com o acompanhamento e fiscalização da equipe de manutenção local.

Foram analisados os relatórios de manutenção preventiva do sistema, no período de julho/2021 a maio/2022 para verificar o nível de manutenção aplicada aos equipamentos da CAG e a aderência do plano de manutenção dos *chillers* com o recomendado pelo fabricante.

Também foram analisados os relatórios de análise de óleo dos compressores e de vibração das bombas, do mesmo período citado anteriormente, a fim de verificar apontamentos e necessidades de melhorias.

3.5 Oportunidades de melhoria do sistema

O Quadro 01, apresenta as oportunidades de redução do consumo na CAG, levantadas durante visitas para coleta de dados do sistema em conjunto com consultoria:

Quadro 01 – Oportunidades de Redução de Consumo CAG

	Oportunidades	Tipo de Oportunidade			Potencial Redução Energia	Dificuldade Implementação	Custo (R\$)
		Mant.	Moder.	Oper.			
Bombas	Instalar medidor de vazão magnético no circuito primário e secundário		X		Baixo	Fácil	170.000
	Realocar sensor de pressão para antes do <i>fancoil</i> mais distante das bombas secundárias		X		Alto	Fácil	30.000
	Instalar inversor de frequência nas bombas primárias, para operá-las com diferencial de pressão dos <i>chillers</i>		X		Alto	Difícil	50.000
	Deixar o <i>by-pass</i> livre, sem presença de válvulas		X		Alto	Fácil	20.000
Automação	Informações de tela não correspondem com a realidade. Ajustar o sistema para que todos os resultados informados sejam compatíveis com a realidade.		X		Baixo	Difícil	50.000

	Instalar medidor de energia no quadro da CAG		X		Baixo	Fácil	25.000
	Implementar recursos que permitam, por meio da leitura dos sensores de CO ² , regular a rotação dos ventiladores dos <i>fancoils</i> .		X		Alto	Fácil	0
	Implementar recursos que permitam controle de <i>dampers</i> motorizados conforme temperatura de ar externo.		X		Alto	Fácil	0
Compressores	Analisar temperatura de descarga	x			Baixo	Fácil	0
	Analisar temperatura de ar externo	x			Baixo	Fácil	0
	Analisar pressão de sucção	x			Baixo	Fácil	0
	Analisar pressão do condensador	x			Baixo	Fácil	0
	Analisar corrente do compressor	x			Baixo	Fácil	0
	Realizar troca de dois compressores com mais de 40 mil horas	x			Alto	Difícil	490.000
Chiller	Instalar válvulas de balanceamento		X		Alto	Difícil	60.000
	Balanceamento da vazão de água gelada	x			Alto	Fácil	10.000
	Realizar troca dos motores ventiladores do <i>chiller</i> 02	x			Alto	Fácil	20.000

Alterar a lógica de acionamento dos <i>chillers</i> : Ligar um <i>chiller</i> , e quando a vazão do secundário for maior que o primário por mais de 15min, ligar o próximo <i>chiller</i> . Quando a vazão do primário exceder a vazão total de um <i>chiller</i> em relação ao secundário por mais de 15 min, um <i>chiller</i> deve ser desligado			X	Alto	Fácil	20.000
Realizar a pintura dos equipamentos	x			Baixo	Fácil	12.000
Valor Total do Investimento						957.000

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.6 Análise de viabilidade econômica para substituição da CAG

A seguir é realizada a análise de viabilidade para a substituição da central de água gelada existente.

3.6.1 Dados dos equipamentos da CAG existente

Foram levantadas informações da CAG existente em projetos, manuais e em dados de placa dos equipamentos.

Os dados dos *chillers*, para realização dos cálculos de economia de consumo, foram extraídos do manual do equipamento, conforme Quadro 2 a seguir. Os *chillers* existentes são de fabricação Hitachi, modelo RCU1A165:

Quadro 2 – Dados do *Chiller* Existente

Descrição	Dados Técnicos
<i>Chiller</i>	<i>Chiller 1 a 3</i>
Quantidade	03
Capacidade – TR	165
Potência – kW	188
Tipo de Compressor	Parafuso
Gás Refrigerante	R-407-C
Tensão - Volts	380
COP – W/W	2,91
Temp. entrada água °C	12
Temp. saída água °C	7
Dimensões (L x A x P) mm	1895x2286x7214
Peso – kg	5028
Marca	Hitachi
Modelo	RCU1A165

Fonte: HITACHI (2022)

Os dados das bombas de água gelada foram levantados em campo, a partir dos dados de placa, conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Dados das bombas de água gelada

Descrição	Dados Técnicos	
Bomba de Água	BAGP	BAGS
Quantidade	04	02
Vazão de água	82 m ³ /h	291,5 m ³ /h
Altura manométrica	40 mCA	50 mCA
Potência Nominal	18,3 kW	73,5 kW
Tensão – Volts	380	380
Modo de Operação	Vazão Constante	Vazão Variável

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.6.2 Dados do sistema proposto – CAG Nova

A escolha do sistema proposto, partiu do princípio de manter a topologia e distribuição de água da CAG existente, para o mínimo impacto nas atividades do edifício durante as substituições.

Foram mantidas as bombas de água gelada primária e secundária do sistema, sendo as mesmas bombas informadas no Quadro 02. Não foi prevista a substituição das bombas de água gelada do circuito primário e secundário, pois atendem as especificações e estão em bom estado de conservação.

Os dados dos *chillers* propostos foram extraídos do *data sheet* do fabricante proposto, Daikin, modelo EWAD570TZ-XS B2380, conforme Quadro 04.

Quadro 04 – Dados dos chillers propostos

Descrição	Dados Técnicos
<i>Chiller</i>	<i>Chiller 1 a 3</i>
Quantidade	03
Capacidade – TR	160
Potência – kW	170,4 kW
Tipo de Compressor	<i>Scrow Inverter</i>
Gás Refrigerante	R-134-A
Tensão – Volts	380
COP – W/W	3,31
Temp. entrada água °C	12
Temp. saída água °C	7
Dimensões (L x A x P) mm	2258x2483x5883
Peso – kg	5055
Marca	Daikin
Modelo	EWAD570TZ-XS B2380

Fonte: DAIKIN (2022)

3.6.3 Comparativo energético entre os dois sistemas

Realizada a comparação entre o *chiller* existente e o proposto, verifica-se que o proposto apresenta uma redução de 3% de potência (kW), 10% de capacidade térmica (TR) e 13% do COP (W/W), conforme quadro 5 a seguir:

Quadro 5 – Comparativo energético entre os sistemas

Descrição	Sistema Atual	Sistema Proposto	Comparativo
Quantidade	03	03	-
Capacidade – TR	165	160	3%
Potência - kW	188	170,4	10%
Tipo de Compressor	Parafuso	<i>Scrow Inverter</i>	
Gás Refrigerante	R-407-C	R-134-A	
Tensão	380	380	-
COP – W/W	2,91	3,31	13%
Temp. entrada água °C	12	12	-
Temp. saída água °C	7	7	-
Dimensões (L x A x P) mm	1895x2286x7214	2258x2483x5883	-
Peso – kg	5028	5055	-
Marca	Hitachi	Daikin	-
Modelo	RCU160SAZ2A	EWAD570TZ-XS B2380	-

Fonte: DAIKIN (2022) e HITACHI (2022).

Com base nos dados dos equipamentos, atual e proposto, foi analisado o comparativo de consumo e custo de energia entre eles.

Para a realização dos cálculos, considerou-se que os equipamentos permanecem ligados 24 horas por dia, 365 dias por ano, totalizando 8.760 horas por ano.

O comparativo do consumo de energia elétrica anual foi calculado conforme a Equação 3.

$$\text{kWh} = \text{kW} \times \text{n}^\circ \text{ horas ligado} \times \text{custo energia (ponta ou fora de ponta)} \quad (03)$$

Onde:

kWh: consumo horário de energia de um equipamento

kW – Potência elétrica do *chiller*

Baseado na potência do sistema atual (188 kW) e do sistema proposto (170,4 kW), o Quadro 6 apresenta o comparativo entre os dois sistemas.

Quadro 6 – Comparativo de Consumo entre os sistemas:

Sistema Atual	Sistema Proposto
188 x 8760 = 164.688,80 kWh	170,4 x 8760 = 149.270,40 kWh

Fonte: Elaborado pelo autor.

O sistema proposto apresenta uma redução de 15.418,40 kWh no consumo de energia, redução equivalente a 10%, além de um aumento da eficiência do sistema, em 13%, quando se compara o COP dos equipamentos.

Comparativo do custo de energia elétrica:

Para realização dos cálculos de economia de energia, foram utilizados os custos de tarifa da concessionária local, Enel, conforme descrito no quadro 7 a seguir. A unidade está enquadrada na tarifa horo sazonal verde e está no mercado cativo:

Quadro 7 – Custo de energia elétrica

Descrição Tarifa	Valor
Consumo ativo na ponta TUSD ¹	0,66945 R\$/kWh
Consumo ativo na ponta TE ²	0,53521 R\$/kWh
Consumo ativo fora da ponta TUSD	0,07993 R\$/kWh
Consumo ativo fora da ponta TE	0,33366 R\$/kWh

Fonte: Elaborado pelo autor.

Cabe destacar que dada a composição dos custos de energia elétrica que são faturados nas unidades consumidoras do Grupo A, existem outras despesas que compõem a conta de energia como: a) tarifa de uso do sistema de distribuição; b) tarifa de energia; c) tarifas de TUSD; d) outros impostos, taxas, multas e bandeiras;

O horário de ponta, onde o valor de energia elétrica é maior, é compreendido entre as 17:30 e as 20:30.

O consumo foi calculado da seguinte forma:

$$\text{R\$} = \text{kW} \times \text{n}^\circ \text{ horas ligado} \times \text{custo energia (ponta ou fora de ponta)} \quad (04)$$

Onde:

- a) R\$ – Custo de energia;
- b) kW – Potência elétrica do *chiller*;
- c) considerado 7.665 horas para o horário fora de ponta e 1.095 horas para o horário de ponta/ano.

A seguir, é demonstrado o cálculo do custo de energia anual entre os dois sistemas:

Sistema atual:

- a) horário de ponta = $188 \times 1.095 \times (0,66945 + 0,53521) = 247.991,31$;
- b) horário fora de ponta = $196 \times 7.665 \times (0,07993 + 0,33366) = 595.991,46$;
- c) total sistema atual = 843.982,77.

Sistema proposto:

- a) horário de ponta = $170,4 \times 1.095 \times (0,66945 + 0,53521) = 224.775,10$;
- b) horário fora de ponta = $170,4 \times 7.665 \times (0,07993 + 0,33366) = 540.196,52$;
- c) total sistema proposto = 764.971,62.

O percentual de economia anual, do sistema proposto em relação ao atual é de 9% ao ano e representa uma redução de R\$ 79.011,15.

3.6.4 Análise da viabilidade econômica

Foi realizado cálculo da viabilidade econômica considerando:

- a) vida útil do sistema: 20 anos;
- b) economia no custo de energia elétrica anual: R\$ 79.011,15;
- c) custo estimado de implantação: R\$ 3.979.000,00;
- d) taxa de atratividade mínima: 13,25%;
- e) aumento da tarifa de energia em 8% a.a.

Chegou-se ao VPL de – R\$ 2.679.650,99 e TIR de - 9 %. A análise econômica demonstrou que não é viável a substituição do sistema.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O modelo de diagnóstico energético da norma NBR ISO 50.002 (ABNT, 2014) foi a ferramenta utilizada para a coleta e levantamento dos dados, possibilitando delimitar a área e o sistema com maior potencial de redução de consumo, avaliar as oportunidades de melhoria e classificá-las, para melhor tomada de decisão para implementação.

A análise documental evidenciou que a manutenção e a operação do sistema não estão sendo realizadas corretamente, o que, compromete o desempenho das máquinas e a sua vida útil.

Verificou-se que as medições de pressão de descarga, pressão de sucção, corrente e tensão elétrica do compressor, não são mensuradas pela empresa mantenedora e não estão evidenciados nos relatórios mensais do período analisado, muito embora seja um item contratual. Durante o período de coleta de dados os *chillers* apresentaram problemas de baixa complexidade que foram solucionados pela equipe de manutenção da empresa contratada.

Devido às inconformidades nas análises de óleo dos compressores, constatou-se a necessidade de troca do óleo. A análise de vibração do sistema não identificou inconformidade nos *chillers*, apenas em uma bomba de água gelada primária

Comparando as rotinas de manutenção aplicada aos *chillers* no PMOC, com o que é solicitado pelo fabricante (HITACHI, 2022), verifica-se que o PMOC, não atende alguns itens solicitados pelo fabricante.

Outro ponto de atenção é o fato de a automação do sistema informar parâmetros diferentes dos encontrados em campo, por exemplo: a automação informa que uma das bombas de água gelada do circuito secundário está desligada, quando na realidade a bomba estava ligada.

Verifica-se que existe grande potencial de redução de consumo energético no sistema existente, conforme evidenciado no Quadro 01, e mesmo algumas de suas oportunidades sendo difíceis de serem implantadas, o investimento é muito inferior ao custo de substituição do sistema.

Ainda com base na norma NBR ISO 50.001 (ABNT, 2018), é necessário o investimento em ações de conscientização dos colaboradores no emprego da manutenção e operação do sistema.

Com base no material bibliográfico consultado (PROTOCOLO DE MONTREAL, 2017), é preciso avaliar todo o sistema de ar condicionado de um edifício para um diagnóstico mais completo. Problemas de desbalanceamento nos sistemas de distribuição de água gelada secundário, limpeza de serpentinas, desbalanceamento de distribuição de ar, sensores de temperatura mal calibrados ou com defeito, entre outros problemas, podem contribuir significativamente para problemas na CAG. Os demais itens que compõem o sistema de climatização do edifício, não foram avaliados pois este estudo foi direcionado apenas à substituição dos *chillers* em função de representar maior impacto no consumo de energia.

Também, conforme abordado no item 2, as topologias de centrais de água gelada, podem ser altamente mais eficientes que outras. Neste trabalho, se optou pela análise de substituição por uma CAG de mesma configuração (vazão variável no secundário e vazão constante no primário), para que a distribuição de água gelada não fosse alterada e não houvesse grandes impactos na operação e uso do edifício. Entretanto, havendo disponibilidade de espaço e uma boa programação para a realização das obras de substituição, poderia se adotar a substituição por uma CAG, com vazão variável de água no primário e secundário, vide item 2.2.1.3, o que reduziria ainda mais o consumo de energia do edifício.

A análise energética entre a substituição do sistema atual, mantendo a configuração da CAG, apresentou melhores níveis de eficiência energética, conforme demonstrado no item 3.6.3, porém a substituição do sistema não é viável financeiramente.

Deve ser observado, a disponibilidade de peças e mão de obra qualificada para assistência técnica. O modelo do *chiller* existente, foi descontinuado pelo fabricante em 2020. Embora o código de defesa do consumidor estabeleça que, cessado o período de fabricação de um produto, o seu fabricante ou importador deve assegurar a oferta de peças por tempo razoável (BRASIL, 1990), não há um prazo específico e determinado para isso. De maneira geral, em pesquisa realizada com os fabricantes consultados neste artigo (Daikin e Hitachi), a fabricação de peças e serviços permanece por mais 10 anos após a paralisação da produção de um equipamento.

Implementar medidas para medir o tempo entre falhas e o tempo para reparos, para medir a disponibilidade dos equipamentos e a sua confiabilidade ao longo do tempo, é

recomendável para criar indicadores precisos, e dar subsídio as decisões, fato que não foi encontrado no local.

5 CONCLUSÃO

Este artigo avaliou as possibilidades e oportunidades de substituição de uma central de água gelada, em operação há 20 anos, por equipamentos de mesma capacidade térmica e mesmo tipo de condensação e a manutenção e ou melhorias do sistema na busca por melhores resultados para edificação. Verificou-se ainda se existem outros componentes e variáveis do sistema de ar condicionado, que podem prejudicar o funcionamento da CAG. Por fim, avaliou-se a viabilidade econômica de substituição do sistema.

Após a análise documental e levantamento dos dados em campo, verifica-se que é possível manter a Central de Água Gelada atual, aplicando ações de melhorias e oportunidades encontradas, que têm custos e prazos de implementação inferiores a substituição completa do sistema. Ainda, o atual sistema, atende aos requisitos de conforto térmico das normas e legislações atuais.

As duas alternativas demandam investimento, porém as ações de melhoria do sistema têm prazos de implantação menores e os resultados podem ser percebidos mais rapidamente. As ações para correção da manutenção empregada nos equipamentos da CAG, atendimento às diretrizes do manual do fabricante e ao próprio contrato de manutenção devem ser realizadas, para alcançar os objetivos esperados com as oportunidades. Caso o fabricante paralise a fabricação de peças de reposição para assistência técnica, é inviável manter o sistema atual.

A substituição da central de água gelada existente não se mostrou viável economicamente.

Sugere-se para os próximos trabalhos, a realização de medições de pressão, vazão, termografia do compressor e consumo de energia da CAG, que fornecerão maiores subsídios para avaliação da substituição da CAG. Realizando estas medições poder-se-á comparar a energia consumida (kWh) com a energia gerada pela CAG (TR ou kWh de frio), encontrar COP das máquinas e avaliar a sua eficiência e fazer comparações energéticas com sistemas mais eficientes.

REFERÊNCIAS

ANVISA. **Resolução nº 09, de 16 de janeiro de 2003**. Dispõe sobre a orientação técnica elaborada por grupo técnico assessor sobre padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo, 2003. Disponível em: <https://conforlab.com.br/legislacao/resolucao09.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 50001**: sistemas de gestão de energia: requisitos com orientações para uso. Suíça, 2018, 30p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 50002**: diagnósticos energéticos: requisitos com orientações para uso. Suíça, 2014, 22p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16401-1**: instalações de ar condicionado: sistemas centrais e unitários: projeto das instalações: parte 1. Rio de Janeiro, 2008, 60p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16401-2**: instalação do ar condicionado: sistemas centrais e unitários: parâmetros de conforto térmico: parte 2. Rio de Janeiro, 2008, 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16401-3**: instalação do ar condicionado: sistemas centrais e unitários: qualidade do ar interior: parte 3. Rio de Janeiro, 2008, 24p.

BRASIL. **Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990**. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências, 1990. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8078compilado.htm. Acesso em: 22 fev. 2022.

BRASIL. **Lei nº 10.295, de 18 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia e dá outras providências, 2001. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=10295&ano=2001&ato=b1bkXUU5kMNpWTb56>. Acesso em: 4 mai. 2022.

BRASIL. **Lei nº 13.589, de 04 de janeiro de 2018**. Dispõe sobre a manutenção de instalações e equipamentos de sistemas de climatização de ambientes, 2018. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13589.htm. Acesso em: 4 mai. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 3.523, de 25 de agosto de 1998**. Dispõe sobre a Qualidade do Ar de Interiores em ambientes climatizados e a ampla e crescente utilização de sistemas de ar condicionado no país, em função das condições climáticas, 1998. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1998/prt3523_28_08_1998.html. Acesso em: 4 mai. 2022.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 15, de 22 de outubro de 2020**. Dispõe sobre atividades e operações insalubres. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/norma-regulamentadora-no-15-nr-15>. Acesso em: 4 mai. 2022.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 17, de 08 novembro de 2021**. Dispõe sobre ergonomia. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-17-atualizada-2021.pdf>. Acesso em: 4 mai. 2022.

CARVALHO, Carlos Alberto de. **UTA - Unidade de Tratamento de Ar**. In: Equipamentos especiais de ar condicionado. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://c-r-a-c-refrigeracao-e-ar-condicionado-ltda.webnode.page/pagina-em-branco/>. Acesso em: 8 abr. 2023.

DAIKIN. **O que significam os termos COP e EER?** Disponível em: https://www.daikin.pt/pt_pt/faq/what-is-meant-by-the-terms-cop-and-eer-.html. Acesso em: 5 mar. 2022.

DAIKIN. **Datasheet do fabricante modelo EWAD570TZ-XS B2380.** Disponível em: https://www.daikinapplied.uk/wp-content/uploads/sites/3/2019/05/EWAD-TZ-B_Product_Manual_Daikin_Applied_UK.pdf. Acesso em: 04 mai. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Nota técnica EPE 030/2018.** 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/nota-tecnica-epe-030-2018>.

FIAMETTI, Rafael Augusto. **Estudo de caso: eficiência energética em sistemas de climatização por água gelada.** 2018. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Eficiência Energética) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/18500>. Acesso em: 8 abr. 2023.

GOOGLE. Google Earth website. <http://earth.google.com/>, 2022.

HERNANDEZ, Alberto. **Como alcançar edificações energeticamente eficientes.** Revista Abrava, São Paulo, ano 9, n. 97, p. 15, abr. 2022. Disponível em: https://qrcgcustomers.s3-eu-west-1.amazonaws.com/account17342478/26106247_2.pdf?0.8178635549116618.

HITACHI. **Catálogo Técnico Chiller New Samurai.** 2022. Disponível em: <https://www.hitachiaircon.com/br/downloads/chiller/tecnico/catalogo-tecnico-chiller-new-samurai-serie-rcu1a-hcat-stcar001-rev05-set2022>.

JABARDO, José Maria Sáiz; STOECKER, Wilbert F. **Refrigeração industrial.** Editora Blucher, 2018.

MORAIS, Erika Castanho Magalhães de. **Simulação computacional do desempenho energético de soluções alternativas de AVAC para uma agência bancária.** 2019. 86 f. Dissertação (Mestrado em Fenômenos de transporte; Mecânica dos sólidos) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

MOREIRA, Guilherme Becker. **Estudo de caso-viabilidade de substituição do sistema de climatização de uma edificação de ensino.** 2022. 59 f. Monografia. (Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Santa Maria, Campus Santa Maria, Santa Maria, 2022. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/25987>. Acesso em: 8 abr. 2023.

PEREIRA, Daniel Filipe Magalhães. **Avaliação do Potencial de Otimização Energética em Edifícios de Serviços.** 2020. Tese de Doutorado. Instituto Politécnico do Porto (Portugal). Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/17b23b57b4c7aee4fc75b26007af25c9/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>. Acesso em: 8 abr. 2023.

PONCIANO, Augusto Afonso. **Análise de implantação de projeto de retrofit em sistema de água gelada visando economia de energia**. 2018. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/22312>. Acesso em: 25 abr. 2022.

PROTOCOLO DE MONTREAL. **Manual de sistemas de água gelada v. I, II e III**. 2017. Disponível em: <https://www.protocolodemontreal.org.br/site/pbh/projeto-gerenciamento-de-chillers/publicacoes>. Acesso em: 8 fev. 2022.

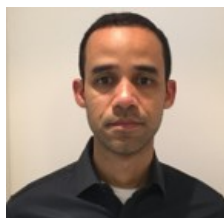
REIS, Afranio Guimarães dos. **Instalação de um sistema de ventilação e ar condicionado de uma sala de controle em uma refinaria de petróleo**. 2021. 59 f. Monografia. (Graduação em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Centro, Manaus, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ifam.edu.br/jspui/handle/4321/527>. Acesso em: 8 abr. 2023.

RODRIGUES, Ligia Lisboa. **Análise do desempenho termoenergético da envoltória de edifícios de escritórios com ventilação híbrida frente às mudanças climáticas**. 2020. 1 recurso online (71 p.) Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1640680>. Acesso em: 8 abr. 2023.

RODRIGUES, Nathan Silveira. **Substituição de sistema de ar condicionado central visando eficiência energética em restaurante**. Cippus, v. 9, n. 1, 2021. Disponível em: <https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Cippus/article/view/7904/pdf>. Acesso em: 8 abr. 2023. Acesso em: 8 abr. 2023.

SOBRE O(S)AUTOR(ES)

ⁱ DALTIOILLY SOUZA OLIVEIRA SILVA



Possui Graduação em Engenharia Elétrica pela Faculdades Integradas Torricelli (2009), Especialização em Eficiência Energética na Indústria pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2022). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Projetos Elétricos, Gerenciamento de Contratos de Manutenção. É gestor de infraestrutura no SESC-SP.

ii **HERMOM LEAL MOREIRA**



Possui doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo – USP (2021), mestrado Engenharia Elétrica pela UNESP (2015), especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pela UNIC (2007) e graduação em Engenharia Elétrica - Telecomunicações pela UFMT (2006). Atualmente é professor da Escola e Faculdade SENAI São Paulo “Mariano Ferraz”. <http://orcid.org/0000-0001-8339-7303>

iii **PEDRO ANDRÉ BRAGA DE OLIVEIRA**



Possui graduação em Matemática Aplicada e Computacional com habilitação em sistemas e controle pela Universidade de São Paulo - USP (2009), especialização em Ciência de Dados (*Big Data Analytics*) pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (2019). Atualmente é professor da Faculdade SENAI São Paulo “Mariano Ferraz”. <https://orcid.org/0009-0006-3195-1759>

iv **JOSÉ RICARDO DA SILVA**



Possui mestrado em engenharia de produção pela UNIP (2010), possui graduação em Pedagogia pela FAI - Faculdades Associadas Ipiranga (1996). Atualmente é coordenador de atividades técnicas-pedagógicas na Faculdade SENAI São Paulo “Mariano Ferraz”. Possui experiência na área mecânica e de automação industrial. <https://orcid.org/0000-0003-1105-0102>