

Artigo

ANÁLISE DAS CARGAS TÉRMICAS E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE AR-CONDICIONADO PARA SALAS DE PAINÉIS CONTROLADORES DE MÁQUINAS

Lucas Dantas da Silva ^[1], Daut de Jesus Nogueira Peixoto Couras ^[2]

^[1] UFERSA, Engenharia Mecânica; Lucas Dantas da Silva; lucas.silva21338@alunos.ufersa.edu.br

^[2] UFERSA, Engenharia Mecânica; Daut de Jesus Nogueira Peixoto Couras; dautcouras@ufersa.edu.br

Data da defesa: 18/05/2024

Resumo: A climatização é utilizada em vários setores da indústria para suprir necessidades de funcionamento de máquinas e equipamentos, que por sua vez, possuem sistemas de automação e controle que também necessitam de cuidados em relação ao controle de temperatura. Os Controladores Lógicos Programáveis (CLP) possuem uma faixa de temperatura de operação especificada pelos fabricantes, que deve ser respeitada de modo a não comprometer a vida útil dos equipamentos. Desse modo, é necessário o condicionamento de ar adequado para estabelecer a temperatura ideal para operação desses equipamentos. Os controladores ficam alocados em painéis de automação chamados de Centros de Controle de Máquinas (CCM) e Unidade Terminal Remota (UTR). Este trabalho propõe o estudo e realização do cálculo das cargas térmicas dos cubículos de automação em estações de uma empresa de exploração e produção de petróleo e gás natural com o objetivo de suprir a demanda de refrigeração para evitar o superaquecimento dos painéis. Além disso, este trabalho tem como objetivo a realização do dimensionamento de centrais de ar-condicionado para atuar nas salas de painéis que possuem centrais de ar-condicionado subdimensionadas e as que não possuem centrais instaladas. Por fim, este estudo elucida a empresa em questão sobre uma ação de análise de falha que visa verificar o subdimensionamento das centrais de ar-condicionado instaladas.

Palavras-chave: Ar-condicionado, carga térmica, subdimensionamento, cubículo, painéis.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de sistemas de automação em setores industriais é essencial, principalmente quando trata-se de indústrias que operam em produção contínua, com agravante da presença humana ser perigosa ou insalubre nestes locais, onde necessitam de sistemas de segurança que atuem com resposta imediata [1,2]. Esses sistemas geralmente são inseridos no processo produtivo por meio de painéis ou quadros de controle, como o Centro de Controle de Máquinas (CCM) e a Unidade Terminal Remota (UTR) que podem possuir componentes como chaves eletrônicas, inversores de frequência, contadores, controladores como o Controlador Lógico Programável (CLP) e dispositivos de entrada de sinais (sensores e medidores).

O CLP é um dos componentes que possui alto grau de importância para os sistemas de automação, é ele o responsável pelo controle sequencial e sincronização de processos e elementos auxiliares geralmente aplicados em indústrias de manufatura, petroquímica, química e de processos [3,4]. Os CLP's possuem construção similar a um *personal computer* (PC), ambos apresentam placa mãe, processador, memória e slots de expansão, portanto, a operação contínua desses componentes gera o aumento da temperatura interna, de tal modo que podem perder eficiência e até ocorrer a falha devido a temperatura elevada [3,5]. Além disso, a temperatura ambiente do recinto no qual o CLP está inserido, pode contribuir diretamente no aumento da temperatura dos componentes internos do controlador [5].

Para indústrias de grande porte, o CLP pode não comportar a demanda do processo produtivo, nesses casos, é instalado uma Unidade Terminal Remota (UTR), que se trata uma versão mais robusta do CLP, com maior capacidade para controlar diversos processos sem intervenção humana ou de outros aparelhos. Com o aumento da capacidade da UTR em relação ao CLP, há também o aumento da geração de calor devido maior

robustez de *hardware* da UTR. Desse modo, para que os processos industriais consigam ser realizados de forma eficiente, controlada e segura, a UTR precisa estar em boas condições operacionais de temperatura de trabalho. Os CLP's e UTR's utilizados nas indústrias em geral conseguem atuar em temperaturas de até 60 a 70°C, porém o trabalho contínuo próximo dessa faixa de temperatura pode reduzir a vida útil do equipamento e o levar a falha [4]. Nesse estudo, foi adotado como temperatura máxima de operação dos painéis 50°C com o ambiente refrigerado conforme aponta manuais dos fabricantes dos CLP's instalados em cada painel [6].

Os painéis CCM e UTR em uma estação coletora de petróleo e compressora de gás ficam alocados em salas de painéis denominadas de cubículo. Devido à grande extensão da planta de produção, esses locais ficam espalhados nas proximidades dos equipamentos controlados. Para manter os painéis CCM e UTR em uma temperatura ideal de trabalho, garantindo bom funcionamento, a empresa em questão utiliza o sistema de ar-condicionado com máquinas do tipo *Split*. Para avaliar se as máquinas destinadas às aplicações são as ideias, este trabalho realiza uma análise das cargas térmicas para cada cubículo nos quais estão dispostos os painéis CCM e UTR nas estações. Além disso, com base na análise das cargas térmicas, foi realizado o dimensionamento das máquinas de ar-condicionado ideais para cada cubículo que apresentar subdimensionamento das centrais instaladas.

2. ANÁLISE DA CARGA TÉRMICA

A carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente que deve ser retirada ou adicionada em um recinto com propósito de proporcionar as condições de conforto térmico desejado [7]. Desse modo, para condicionar a temperatura ideal na qual os painéis consigam atuar de forma eficiente e constante é necessário o cálculo da carga térmica para determinar a quantidade de calor sensível e latente que deve ser removida para dimensionar o sistema ar-condicionado ideal para a aplicação.

Os painéis elétricos possuem comportamento térmico semelhante a qualquer outro tipo de sistema, o qual pode ser descrito em termos de trocas de calor relacionada a condução, radiação e convecção [5]. Portanto, para determinar a carga térmica necessária a ser retirada, foi realizada a análise da transferência de calor por condução nos painéis e nas paredes e coberturas dos cubículos, como também a análise da troca de calor por radiação nos painéis e insolação nas paredes dos cubículos. Por fim, foi realizada a análise da transferência de calor por convecção nos painéis relacionando a temperatura do ar no ambiente. Os cálculos foram realizados com base em dados obtidos nas normas ABNT NBR 16401-1, ABNT NBR 15220-1, ABNT NBR 15220-3, ABNT NBR 16655-3 e IEC 890 [8,9,10,11,5].

2.1. Carga térmica dos painéis

2.1.1. Condução e Convecção

O cálculo da carga térmica dos painéis elétricos em relação a transferência de calor por condução e convecção pode ser simplificada para geometrias simples, podendo ser resumida por meio da Equação 1 baseada na lei de Fourier [5].

$$Q_{P1} = A_{P1} U_{P1} \Delta T_{P1} \quad (1)$$

No qual Q_{P1} é a carga térmica referente a transferência de calor entre os pontos exteriores e interiores ao painel (W), U_{P1} é a transmitância térmica (W/m²K), A_{P1} é a área da superfície onde ocorre a troca de calor e ΔT_{P1} é a diferença de temperatura entre a o exterior e o interior do painel (K) [5].

2.1.2. Radiação

A radiação pode ser definida como a transferência de calor entre dois corpos separados por um meio de transparência variável, ligada diretamente com a capacidade da emissão de energia por radiação da superfície de um corpo, essa capacidade é chamada emissividade (ϵ). As trocas de calor por radiação ocorrem entre superfícies de quaisquer corpos voltados um para o outro e são representados por relações bastante complexas, que além da emissividade da natureza da superfície em irradiar energia, envolve a emissão do corpo caso o mesmo for considerado um corpo negro, dependendo somente da temperatura e também fenômenos de reflexão

e absorção [5,12]. A carga térmica relacionada a radiação referente aos painéis pode ser calculada pela Equação 2.

$$Q_{P2} = \varepsilon k A_{P2} \Delta T_{P2} \quad (2)$$

Onde Q_{P2} é a carga térmica (W) referente a radiação transferida através da superfície do painel, ε é a emissividade da superfície, k constante de Stefan-Boltzmann ($5,67032 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$), A_{P2} é a área da superfície de troca de calor (m^2) e ΔT_{P2} é a diferença de temperatura entre as superfícies opostas (K) [5].

2.2. Área efetiva de troca térmica dos painéis

A realização dos cálculos das cargas térmicas nos painéis elétricos depende consideravelmente da disposição do painel em relação ao ambiente de instalação, pelo fato de que a troca de calor se dá pela superfície de troca térmica. Para calcular a dissipação do calor do interior do painel para o exterior, é necessário saber qual a área da superfície efetiva que está trocando calor com o ambiente, para obter o valor da carga térmica gerada dentro do cubículo.

A norma IEC 60890 possui um método de cálculo da área efetiva de troca térmica para um invólucro metálico com ou sem aberturas de ventilação, o qual caracteriza um painel elétrico [13]. O cálculo depende exclusivamente da forma que o painel está em contato com as paredes do cubículo conforme mostra a Figura 1.

Símbolo	Tipo de instalação
	Quando com todos os lados expostos
	Quadro com painel traseiro encostado à parede
	Quadro com painel lateral esquerdo encostado à parede
	Quadro com painel lateral direito encostado à parede
	Quadro com painel traseiro encostado e lateral esquerdo à parede
	Quadro com painel traseiro encostado e lateral direito à parede
	Quadro com lateral esquerdo e direito encostados à parede
	Quadro com painel traseiro e laterais encostados à parede
	Quadro com painel traseiro e laterais encostados à parede e teto coberto

FIGURA 1. Tipos de instalação de quadros elétricos. Adaptado de [13].

Os painéis analisados no estudo serão considerados como sem ventilação e com quadro com painel traseiro encostado na parede. A Figura 2 mostra um exemplo do tipo de painel UTR utilizado nos cubículos.



FIGURA 2. Painel UTR instalado. [14]

A Equação 3 corresponde ao cálculo da área efetiva de troca térmica para um invólucro metálico com face traseira encostada à parede.

$$A_e = [1,4L(H + P)] + [1,8PH] \quad (3)$$

Onde A_e é área efetiva de troca térmica, L é a largura do quadro, H é a altura e P a profundidade do quadro.

2.2. Carga térmica das paredes e cobertura

2.2.1 Condução e Convecção

A carga térmica de insolação é o ganho de energia térmica causado pela incidência de radiação solar direta sobre as paredes do ambiente refrigerado e leva em consideração as coordenadas geográficas do local, inclinação dos raios do sol, tipo de construção, cor e rugosidade da superfície e refletância da superfície [7]. A carga térmica devido a insolação divide-se em transmissão de calor do sol através de superfícies transparentes (vidros) e superfícies opacas; desse modo, para cubículos fechados que não possuem janelas, o cálculo da carga térmica foi realizado levando em consideração somente as superfícies opacas das paredes e coberturas que transmitem a energia solar para o interior dos recintos por condução e convecção, segundo a Equação 4 [7].

$$Q_{C2} = U_{C2}A_{C2}(T_e - T_i + \Delta T_{C2}) \quad (4)$$

No qual Q_{C2} é a carga térmica (W), A_{C2} é a área da superfície em (m²), U_{C2} é o coeficiente global de transmissão de calor (W/m²K), T_e temperatura do exterior, T_i do temperatura do interior e ΔT_{C2} é um acréscimo ao diferencial de temperatura relacionado a cor da superfície (K) [7].

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A realização do estudo foi iniciada com o propósito de evidenciar se os aparelhos de ar-condicionado instalados nos cubículos estão adequados para a quantidade de carga térmica em cada recinto. O estopim do motivo dessa análise está relacionado a um incidente ocorrido com uma das máquinas, onde foi constatado que houve uma falha catastrófica que iniciou um incêndio na unidade evaporadora da central de ar-condicionado do cubículo C06 na estação E02. Uma das hipóteses levantadas na análise de falha foi que a central de ar-condicionado instalada estava subdimensionada, com isso foi atribuído a equipe de engenharia mecânica a verificação das cargas térmicas atuantes em cada cubículo das estações afim de verificar se o dimensionamento das centrais precisa ser refeito.

3.1. Coleta de dados

A realização do estudo requer o levantamento dos dados para que a realização dos cálculos seja a mais assertiva possível. O primeiro passo foi realizar o levantamento de campo da quantidade de cubículos que serão objetos de estudo. Ao todo, foram analisados 36 cubículos em 22 estações. A Figura 3 apresenta um gráfico contendo o valor da capacidade das centrais de ar-condicionado instaladas em BTU/h nos cubículos por estações.

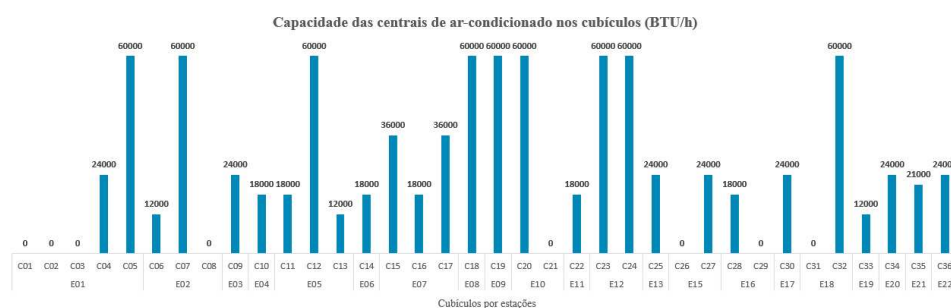


FIGURA 3. Levantamento das centrais de ar-condicionado em cada cubículo por estação (BTU/h). Autoria própria.

No gráfico pode-se observar que existem alguns cubículos sem valores de capacidade de ar-condicionado (C01, C02, C03, C08, C21, C26, C29 e C31), isso ocorre, pois, esses locais ainda não possuem centrais de ar-condicionado instaladas, porém será necessário a instalação devido a demanda para refrigeração dos painéis. Com isso, a partir deste estudo será designado as centrais de ar-condicionado adequadas para estes cubículos.

Após o levantamento dos cubículos de aplicação do estudo, foi necessário realizar o levantamento da área de cada superfície das paredes e observar o tipo de cobertura utilizado em cada cubículo. O levantamento foi realizado utilizando as plantas das estações e com abordagem *in loco* para medir a altura das paredes e observar o tipo de telhado utilizado. Todos os cubículos possuem características construtivas parecidas, com tijolos comuns com 8 furos quadrados e dimensão de 9,0 cm x 19,0 cm x 19,0 cm, espessura de parede de 14 cm e cobertura com telha de fibrocimento com espessura de 0,7 cm sem forro. Considerando essas especificações é possível obter os valores de transmitância térmica das paredes e cobertura conforme aponta a ABNT NBR 15220-3:2005, esses valores são respectivamente 2,49 W/m²K e 4,60 W/m²K [9]. Em relação ao cálculo da carga térmica por radiação (insolação) pela Equação 5, será considerado o acréscimo ao diferencial de temperatura de 5,5°C para as paredes Leste e Oeste, 2,7°C para a parede Norte e 0°C para parede Sul. Além disso, para a cobertura de cores claras o acréscimo de temperatura é de 8,3°C conforme aponta Figura 4 [7].

Superfície	Cor Escura		Cor Média		Cor Clara	
	°F	°C	°F	°C	°F	°C
Telhado	45	25,0	30	16,6	15	8,3
Parede E ou O	30	16,6	20	11,1	10	5,5
Parede N	15	8,3	10	5,5	5	2,7
Parede S	0	0	0	0	0	0

FIGURA 4. Acréscimo de temperatura devido a transmissão de calor do sol para superfícies opacas. [7]

A realização dos cálculos das cargas térmicas dos cubículos baseou-se na faixa de temperatura máxima na região próximo a Apodi-RN onde ficam localizadas a maioria das estações de petróleo da empresa abordada no estudo. Os dados utilizados foram retirados de um estudo que utilizou dados de 1980 até 2016 para caracterizar as condições meteorológicas características da região com base em uma análise estatística. Neste município, a temperatura máxima em 2023 foi de 39°C conforme aponta a Figura 5 [15].

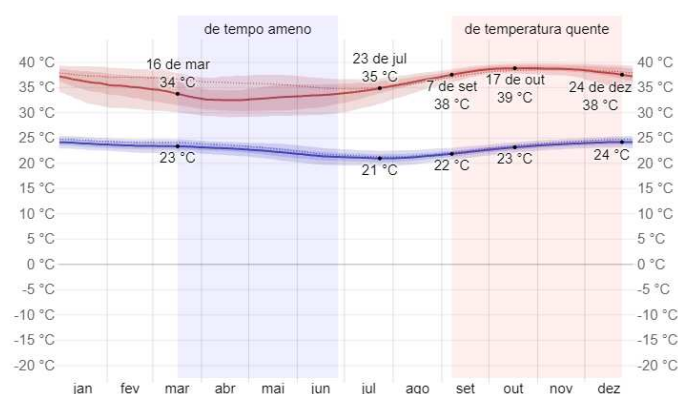


FIGURA 5. Temperatura máxima (linha vermelha) e mínima (linha azul) em Apodi-RN. [15]

Os painéis instalados em cada cubículo possuem formas construtivas parecidas; em geral são construídos em aço carbono SAE 1020, com altura de 220 cm e profundidade de 50 cm, a parte frontal do quadro varia de acordo com a quantidade de componentes internos instalados, variando sua largura de 100 cm (cubículos menores) à 300 cm para (cubículos maiores). Os cubículos estudados possuem disposição de painéis dependendo da aplicação na estação, alguns possuem CCM e UTR, outros possuem somente CCM ou somente UTR, isso implica diretamente na capacidade do painel na geração de calor e no seu tamanho, sendo os painéis

CCM maiores do que os painéis UTR. A Figura 6 apresenta os painéis CCM e UTR e a Figura 7 ilustra a disposição dos painéis no cubículo C06.

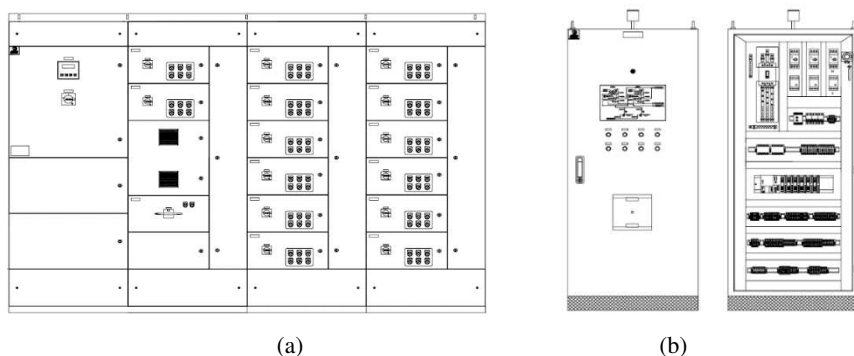


FIGURA 6. Desenhos dos painéis CCM e UTR: (a) Painel CCM; (b) Painel UTR. [14]

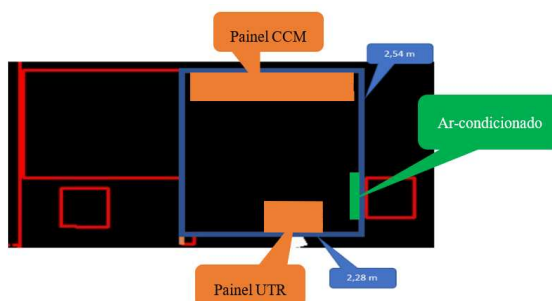


FIGURA 7. Layout do cubículo C06. Autoria própria.

Para a realização dos cálculos foi considerado a transmitância térmica no valor de $5,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ para as chapas de aço pintadas dos painéis [16]. Os painéis possuem superfícies de cores claras, isso afeta o cálculo da carga térmica por radiação, conforme aponta a Equação 2. Foi adotado o valor de emissividade (ϵ) igual à 0,90 [17]. A temperatura máxima de operação dos painéis adotada nos cálculos será de 50°C de acordo com manuais dos fabricantes dos CLP's, além disso a faixa de operação dos painéis é de 0 a 50°C , desse modo foi adotada a temperatura de 25°C como temperatura ideal de operação sendo o a média entre o limite mínimo [6].

4. RESULTADOS

Para atender a demanda da ação da análise de falha foi necessário utilizar a Equação 1 e a Equação 2 para calcular as cargas térmicas geradas pelos painéis. O total da carga térmica gerada nos painéis é a soma dos resultados dos cálculos das Equações 1 e 2. O gráfico da Figura 8 mostra o resultado das cargas térmicas encontradas em cada painel.

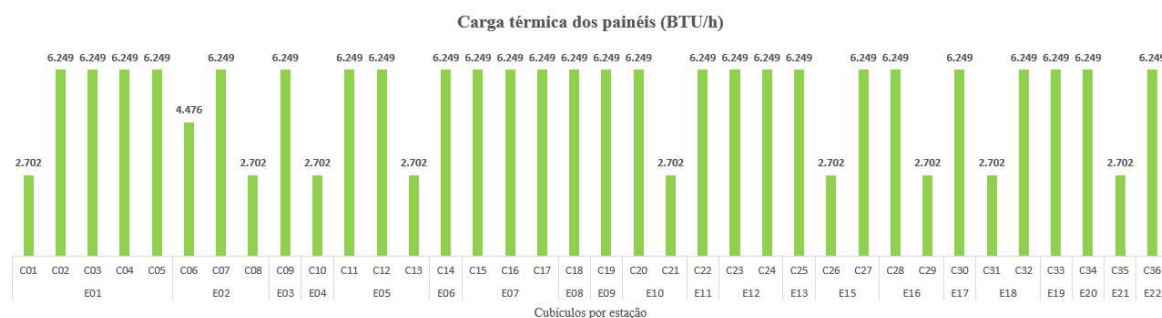


FIGURA 8. Gráfico das cargas térmicas dos painéis dos cubículos em BTU/h. Autoria própria.

No gráfico da Figura 8 é possível observar que em média, os painéis possuem carga térmica semelhantes, acima de 6000 BTU/h. Este fenômeno ocorre porque a característica construtiva dos painéis é similar dado à similaridade dos processos em cada estação. Os cubículos que possuem cargas térmicas acima de 6000 BTU/h são os que possuem painéis CCM e UTR instalados; os cubículos que apresentaram carga térmica menor possuem somente painéis UTR instalados, exceto o cubículo C06, que possui um painel CCM de tamanho menor além do painel UTR.

Em relação ao cálculo, foi possível observar que a transmissão de calor por radiação nos painéis é mínima, podendo ser até desconsiderada do cálculo. Isso se dá, devido à baixa emissividade da superfície dos painéis dado as cores e a proteção construtiva em cada unidade.

Utilizando a Equação 4 foi possível calcular as cargas térmicas das paredes e cobertura em cada cubículo. Essa equação leva em consideração a adição de calor por radiação solar que é transmitida para o recinto por condução e convecção. Para a realização do cálculo, é necessário ter conhecimento das plantas de cada estação para saber a localização de cada cubículo em relação aos pontos cardeais, pois é considerado um acréscimo de temperatura em relação a exposição das faces das paredes ao sol. Na Figura 9 é a posição do cubículo C07 em relação a orientação cardinal. O acréscimo de temperatura foi adotado utilizando os dados da Figura 4.

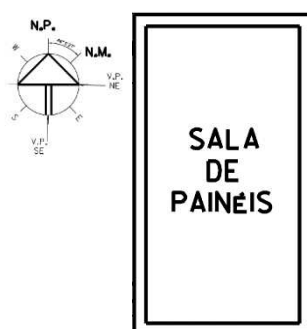


FIGURA 9. Disposição do cubículo C07 em relação aos pontos cardeais. Autoria própria.

As Figura 10 e 11 abordam os gráficos com os resultados dos cálculos das cargas térmicas por insolação das paredes e cobertura nos cubículos.

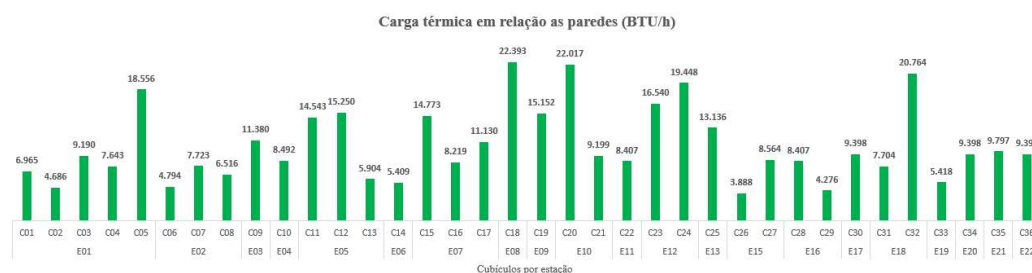


FIGURA 10. Gráfico das cargas térmicas em relação a insolação as paredes dos cubículos BTU/h. Autoria própria

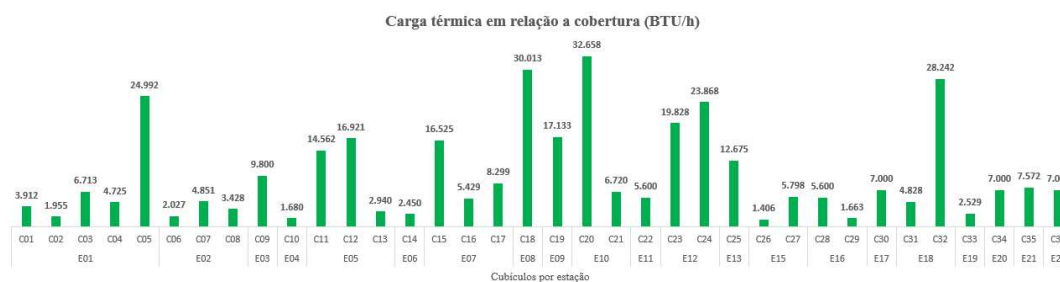


FIGURA 11. Gráfico das cargas térmicas em relação a insolação da cobertura dos cubículos BTU/h. Autoria própria

Observando os gráficos das Figuras 10 e 11 é possível relacionar o aumento da carga térmica em relação a área de cada cubículo, ou seja, os cubículos maiores possuem maior área exposta ao sol, consequentemente, possuem maiores cargas térmicas. Um exemplo é o cubículo C20 da estação E10, o qual possui a maior área construída dentre os cubículos, com 93,3 m², o que implica em uma ampla área de troca de calor exposta ao sol.

Após a realização dos cálculos, é possível confrontar os dados obtidos em relação a soma total das cargas térmicas calculadas em para aos painéis, paredes e cobertura dos cubículos, com a capacidade das centrais de ar-condicionado instaladas nos cubículos por meio de uma análise comparativa. A Tabela 1 apresenta um comparativo entre cargas térmicas e a capacidade das centrais instaladas em BTU/h.

Estação	Cubículos	Área construída (m ²)	Painel	Ar-condicionado instalado (BTU/h)	Carga térmica total (BTU/h)
E01	C01	11,2	UTR	-	13579
E01	C02	5,6	CCM	-	12891
E01	C03	19,2	CCM	-	22152
E01	C04	13,5	CCM	24000	18618
E01	C05	71,4	CCM	60000	49797
E02	C06	5,8	CCM/UTR	12000	11297
E02	C07	13,9	CCM	60000	18824
E02	C08	9,8	UTR	-	12647
E03	C09	28,0	CCM/UTR	24000	27430
E04	C10	4,8	CCM	18000	12875
E05	C11	41,6	CCM/UTR	18000	35355
E05	C12	48,3	CCM	60000	38420
E05	C13	8,4	UTR	12000	11547
E06	C14	7,0	CCM/UTR	18000	14108
E07	C15	47,2	CCM/UTR	36000	37548
E07	C16	15,5	CCM/UTR	18000	19897
E07	C17	23,7	CCM/UTR	36000	25679
E08	C18	85,7	CCM	60000	58655
E09	C19	49,0	CCM/UTR	60000	38535
E10	C20	93,3	CCM	60000	60924
E10	C21	19,2	UTR	-	18622
E11	C22	16,0	CCM/UTR	18000	20256
E12	C23	56,7	CCM	60000	42617
E12	C24	68,2	CCM	60000	49565
E13	C25	36,2	CCM	24000	32060
E15	C26	4,0	UTR	-	7997
E15	C27	16,6	CCM/UTR	24000	20611
E16	C28	16,0	CCM	18000	20256
E16	C29	4,8	UTR	-	8641
E17	C30	20,0	CCM/UTR	24000	22647
E18	C31	13,8	UTR	-	15235
E18	C32	80,7	CCM	60000	55255
E19	C33	7,2	CCM	12000	14196
E20	C34	20,0	CCM/UTR	24000	22647
E21	C35	21,6	UTR	21000	20071
E22	C36	20,0	CCM	24000	22647

TABELA 1. Comparativo entre a capacidade das centrais de ar-condicionado instaladas e a carga térmica total calculada nos cubículos. Autoria própria.

Analisando os dados da Tabela 1 é possível observar que a maioria dos cubículos que possuem centrais de ar-condicionado atendem as demandas de cargas térmicas encontradas nos recintos, porém é visto que os cubículos C09, C11, C15, C16, C20, C22, C25, C28 e C33 possuem valores de cargas térmica acima das centrais de ar-condicionado instaladas, isso implica que para estes cubículos as centrais estão subdimensionadas. Percentualmente, 68% dos cubículos que possuem centrais de ar-condicionado possuem capacidades adequadas com as cargas térmicas geradas e 32% estão subdimensionados. Além disso, foram obtidos os valores das cargas térmicas dos cubículos C01, C02, C03, C08, C21, C26, C29 e C31, logo, com esses valores é possível especificar centrais de ar-condicionado que consigam suprir a demanda de refrigeração de forma que os cubículos consigam ser refrigerados. O cálculo das cargas térmicas para o cubículo C06 obteve resultado abaixo da capacidade da central de ar-condicionado instalada, porém o resultado obtido é muito próximo da capacidade da central, isso implica que, para eventuais picos de temperatura externa, a central de ar-condicionado pode

ficar subdimensionada, desse modo é recomendado instalar um ar-condicionado com maior capacidade de refrigeração.

Na Tabela 2 é possível observar sugestões de centrais de ar-condicionado com capacidades para suprir as demandas de refrigeração dos cubículos subdimensionados e dos que não possuem centrais de ar-condicionado instaladas.

Cubículos	Área construída (m ²)	Painel	Carga térmica (BTU/h)	Capacidade Ar-condicionado (BTU/h)
C01	11,2	UTR	13579	18000
C02	5,6	CCM	12891	18000
C03	19,2	CCM	22152	24000
C06	5,8	CCM/UTR	12000	18000
C08	9,8	UTR	12647	18000
C09	28,0	CCM/UTR	27430	36000
C11	41,6	CCM/UTR	35355	48000 ou 2x 24000
C15	47,2	CCM/UTR	37548	48000 ou 2x 24000
C16	15,5	CCM/UTR	19897	24000
C20	93,3	CCM	60924	2x 36000
C21	19,2	UTR	18622	24000
C22	16,0	CCM/UTR	20256	24000
C25	36,2	CCM	32060	36000
C26	4,0	UTR	7997	12000
C28	16,0	CCM	20256	24000
C29	4,8	UTR	8641	12000
C31	13,8	UTR	15235	18000
C33	7,2	CCM	14196	18000

TABELA 2. Recomendação de centrais de ar-condicionado para instalação nos cubículos subdimensionados e sem centrais instaladas. Autoria própria.

4. CONCLUSÃO

Nesse estudo foram realizados os cálculos das cargas térmicas para os 36 cubículos distribuídos nas 22 estações de petróleo de uma empresa do ramo de exploração e produção do petróleo e gás natural. O propósito do estudo foi sanar uma ação de análise de falha que ocorreu em um ar-condicionado no cubículo C06 na estação E02, onde iniciou-se um princípio de incêndio na unidade evaporadora da central de ar-condicionado. A ação imposta para o setor de engenharia foi analisar se os equipamentos de ar-condicionado instalados nos cubículos estão subdimensionados em relação a carga térmica gerada em cada recinto.

Os resultados do cálculo das cargas térmicas mostraram-se válidos para elucidar a empresa em questão sobre as capacidades de refrigeração dos seus cubículos de automação, pois com essa base de dados é possível observar quais cubículos estão com centrais de ar-condicionado subdimensionadas podendo assim realizar a programação para a troca das unidades. Além disso, foi obtido valores das cargas térmicas dos cubículos que não possuem centrais de ar-condicionado instaladas, porém é necessário realizar a instalação devido o aumento da temperatura interna dos painéis, uma vez que o trabalho dos painéis em temperaturas elevadas pode prejudicar a vida útil dos CLP's.

O estudo comparativo também evidenciou que alguns cubículos, que não estão subdimensionados, possuem margem entre a capacidade de refrigeração da central de ar-condicionado e as cargas térmicas bem baixa, ou seja, caso a empresa precise instalar algum outro painel, ou dispositivo eletrônico, que seja fonte de dissipação de calor, provavelmente, será necessário realizar a troca da central afim de suprir a demanda de refrigeração daquele recinto.

Em relação análise de falha, o estudo elucidou que o cubículo C06 na estação E02 não estava subdimensionado, porém, a margem de diferença entre a carga térmica calculada (11297 BTU/h) e a central de ar-condicionado (12000 BTU/h) instalada é pequena (703 BTU/h), isso implica que caso haja picos de temperatura externa acima do normal, é possível que a central de ar-condicionado fique sobrecarregada, pois não há margem de segurança para tal situação. Para concluir a análise seria necessário realizar uma análise mais precisa em termos de histórico de manutenções acerca dessa unidade em específico afim de detectar anomalias que levassem ao encontro da causa raiz da falha catastrófica.

REFERÊNCIAS

1. GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. 3. ed. [S.l.]: Pearson Education do Brasil, 2011. 581 p.
2. TAGLIARI, I. B. **SISTEMA DE SUPERVISÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS ATRAVÉS DE COMPUTADOR PESSOAL**. Universidade Estadual Paulista. Sorocaba-SP, p. 91. 2010.
3. AFONSO, E. R.; ABDULLAH, M. O. A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Golden-CO, v. 60, p. 1185-1205, jul. 2016.
4. ERICKSON, K. T. Programmable logic controllers. **IEEE Potentials**, v. 15, n. 1, p. 14-17, mar. 1996. ISSN 1558-1772.
5. KILINDJIAN, C. Thermal study of LV electric switchboards. **Cahier technique n° 145**, p. 28, dez. 1997.
6. WEG. Controlador Lógico Programável PLC300. **WEG**, 2024. Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Control-Industrial/Controle-de-Processos/Controladores-L%C3%B3gicos-Program%C3%A1veis/Controlador-L%C3%B3gico-Program%C3%A1vel-PLC300/Controlador-L%C3%B3gico-Program%C3%A1vel-PLC300/p/MKT_WDC_BR>.
7. CREDER, H. **Instalações de Ar-condicionado**. 6ª. ed. Rio de Janeiro-RJ: LTC, 2004.
8. ABNT. **NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.], p. 8. 2005.
9. ABNT. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.], p. 36. 2005.
10. ABNT. **NBR 16401-1: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.], p. 66. 2008. (ISBN 978-85-07-00889-7).
11. ABNT. **NBR 16655-3: Instalação de sistemas residenciais de ar condicionado**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.], p. 22. 2019. (ISBN 978-85-07-08118-0).
12. MOSER, O. H. **Análise Térmica em Painéis Elétricos Devido a uma Fonte de Calor Interna**. Faculdade Anhaguera Jaraguá do Sul. Jaraguá do Sul-SC, p. 13. 2018.
13. IEC TR 60890. **A method of temperature-rise verification of low-voltage switchgear and controlgear assemblies by calculation**. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. [S.l.]. 2022.
14. LAVILL. **Conjuntos de manobra e comando de baixa tensão: Painéis Elétricos e CCM's de Baixa Tensão**. São Paulo-SP. 2003.
15. WEATHER SPARK. Clima e condições meteorológicas médias em Apodi no ano todo. **Weather Spark**, 2016. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/31219/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Apodi-Brasil-durante-o-ano#Figures-Temperature>>.
16. DRAWINGREVIEW. Cálculo para Climatização de Painelelétrico. **DrawingReview**: Engenharia de Painéis, maio 2022. Disponível em: <<https://dwgreview.com/wp-content/uploads/2022/05/calculoparaclimatizacaodepaineleletrico.html>>.
17. ABNT. **Projeto 02:135.07-001/2:2003: Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. RIo de Janeiro-RJ. 2003.