

Determinação da Carga Térmica de um Restaurante Corporativo: Estudo de caso – EVR2021-0002

Sampaio Takeo Aoki Araujo Martins ^{1,*}, Ana Paula Mattos ²

^{1,2} Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica
Belém, Pará, Brasil, 66075-110

* Autor para correspondência, sampaiotakeo@gmail.com

Resumo

O conforto térmico é essencial para manter um ambiente agradável, portanto é necessário o dimensionamento correto do sistema de climatização local. O atual trabalho utiliza, como estudo de caso, o refeitório de uma indústria de grande porte, situado em Barcarena/PA. A metodologia empregada no trabalho é baseada em uma revisão bibliográfica acerca dos conceitos que envolvem a refrigeração e climatização, seguida do cálculo da carga térmica do ambiente, utilizando dados e parâmetros referentes à norma ABNT NBR 16401. O estudo tem por objetivo determinar a carga térmica real requerida e propor melhorias no sistema de refrigeração do ambiente. Os resultados demonstram que a utilização de cortinas de ar nas portas de entrada e saída do ambiente e, o isolamento de portas abertas, reduzem significativamente a carga térmica de infiltração de ar exterior, proporcionando uma diminuição de R\$ 41.748,00 no valor inicial de investimento, além de uma atenuação de 17% no consumo energético mensal.

Palavras-chave: Carga térmica, Conforto térmico, Refrigeração, Restaurante.

Introdução

A utilização dos sistemas de refrigeração é indispensável para a conservação de alimentos e produtos, além de garantir o conforto, renovação e higienização necessária para o ambiente. Como consequência, o consumo energético no acionamento dos componentes elétricos é intensificado, exigindo maior exploração e esgotamento dos recursos naturais.

A função dos sistemas de climatização é atender e manter, dentro de limites pré-determinados, os parâmetros ambientais relacionados à temperatura, umidade relativa, qualidade e velocidade relativa do ar, nível de ruído e diferencial de pressão entre o ambiente condicionado e a vizinhança. No condicionamento do ar é necessário compreender os princípios e processos psicrométricos sofridos pelo mesmo e, garantir o tratamento, distribuição, ventilação e renovação do ar, consumindo o mínimo de energia sem comprometer o desempenho (Corrêa, 2007).

O conhecimento das condições de umidade e temperatura do ar é de grande importância para atingir o conforto térmico, dessa forma os aparelhos de ar-condicionado utilizam misturas de ar e vapor d'água para obter as condições necessárias para o ambiente (Martelozzo, 2009).

Conforme a ASHRAE (2010), o conforto térmico é a condição mental que expressa satisfação com o ambiente em meio a grandes alterações, fisiológicas e psicológicas, que variam para cada indivíduo. Dessa forma, considera-se o conforto térmico subjetivo, necessitando de condições específicas para a análise e concepção de um ambiente adequado às atividades humanas.

A carga térmica pode ser definida como a quantidade de calor sensível e latente que deve ser retirada de um ambiente, a fim de proporcionar as condições necessárias para conforto e para conservação de produtos e processos industriais. Segundo a ABNT NBR 16401-1, as cargas térmicas devem ser calculadas a partir das condições internas e externas do

ambiente, além da quantidade de horas do dia que forem necessárias para determinar as cargas máximas de cada zona (ABNT, 2008).

A seleção correta de equipamentos de condicionamento de ar é essencial para proporcionar a carga térmica necessária para obtenção do conforto térmico, minimizando ao máximo os custos de implantação do projeto. A fim de manter o nível de conforto no ambiente, é necessário estimar a capacidade dos diversos componentes do sistema, baseando-se em condições ambientais próximas dos extremos normalmente encontrados (Stoecker; Jones, 1985).

No intuito de se determinar a carga térmica requerida pelo ambiente, é admissível adotar o método ASHRAE CLTD/SCL/CLF de análise para sistemas com zona única ou número mínimo de zonas. A NBR 16401-1 define que o método é uma versão simplificada, adaptada para cálculo manual, do método TFM (Método das Funções de Transferência), que consiste em tabelas de fatores e coeficientes pré-estabelecidos para construções e situações típicas (ABNT, 2008).

Os projetos de climatização em ambientes são condicionados às restrições e condições dos clientes, logo as modificações incorporadas ao projeto influenciam na carga térmica exigida.

Mediante ao exposto o objetivo deste trabalho é realizar o balanço energético do ambiente, a fim de promover o conforto térmico adequado com o menor consumo energético possível.

Metodologia

O objeto de estudo está localizado na rodovia PA 481, Km 12, distrito de Murucupi, município de Barcarena, estado do Pará, latitude 1°32'54" Sul, longitude 48°43'52" Oeste e altitude de 15 metros, dados disponibilizados pela ferramenta digital *Google Earth*. Considera-se as informações fornecidas pela Tabela A.3 da norma ABNT NBR 16401-1,

para a cidade de Belém, uma vez que os parâmetros listados mais se aproximam dos parâmetros climáticos da localidade de estudo.

De acordo com a planta baixa disponibilizada pela empresa, o espaço destinado para refeições de funcionários soma um total de, aproximadamente, 552 m². Além do salão, o edifício, de 1622,60 m² de área construída, contempla cozinha industrial e área de convívio dos funcionários.

A área de convívio dos funcionários é um local adjacente ao salão que apresenta condições térmicas similares ao ambiente exterior. Dessa forma, para fins de cálculo, as condições adotadas para o ambiente exterior ao salão serão consideradas iguais às condições da área de lazer dos funcionários.

O restaurante possui a capacidade máxima de aproximadamente 350 pessoas, com o fluxo variado por turno de trabalho. O arranjo físico do restaurante sofreu modificações ao longo dos anos, por sua vez os aparelhos de ar-condicionado permaneceram os mesmos, exceto em casos de equipamentos sucateados.

A atual configuração conta com duas splits piso teto de 60.000 BTUS e 48.000 BTUS, respectivamente, e um Splitão de 40 TR, somando um total de 49 TR. A distribuição de ar fornecida pelo Splitão ocorre a partir dutos metálicos, dispostos na parcela superior do salão, que apresentam ramificações com saídas de ar em vários pontos do ambiente. A Figura 1 apresenta a modelagem interior do refeitório.



Figura 1: Representação do interior do ambiente.

O cálculo da carga térmica de projeto é baseado, inicialmente, nos perfis teóricos de temperatura, de bulbo seco e úmido. Os perfis de temperatura externa de projeto são obtidos mediante à correção dos valores de TBS (Temperatura de Bulbo Seco) e TBU (Temperatura de Bulbo Úmido) em função da sua variação média (ΔT_{md}) e da fração de variação diária da temperatura externa, disponível na Tabela 6 da ASHRAE (2017).

Carga Térmica de Transmissão em Paredes Externas e Cobertura

A carga de refrigeração devido a transmissão em paredes externas e cobertura é obtida a partir da Equação (1):

$$Q_{p,c} = U \cdot A \cdot [CLTD + (25,5 - t_{ac}) + (\bar{t}_{ae} - 29,4)] \quad (1)$$

A temperatura média do ar externo é obtida a partir da Equação (2):

$$\bar{t}_{ae} = t_{ae} - \left(\frac{\Delta t_{md}}{2} \right) \quad (2)$$

Tem-se que: U: Coeficiente de transferência de calor da parede ou cobertura (W/m²·°C); A: Área da superfície (m²); CLTD: Valor tabelado da diferença de temperatura em paredes e cobertura (°C); t_{ac} : Temperatura de projeto do ambiente condicionado (°C); $\bar{t}_{ae}$: Temperatura média do ar externo ao longo do dia (°C); t_{ae} : Temperatura do ar externo (°C); Δt_{md} : Variação média diária da temperatura externa no mês mais quente (°C).

Carga Térmica de Transmissão em Superfícies Transparentes

A carga térmica em superfícies transparentes (Q_{st}), tais como janelas de vidro e claraboias, é obtida a partir da soma das parcelas de transmissão por condução, conforme Equação (1), e radiação, conforme Equação (3):

$$Q_{rad} = A \cdot SC \cdot SCL \quad (3)$$

SCL: Fator de carga térmica da radiação solar transmitida (W/m²); SC: Fator de sombreamento.

Carga Térmica em Paredes Internas e Divisórias

Em ambientes adjacentes não condicionados, ou condicionados em temperaturas diferentes, a carga térmica de transmissão nos elementos construtivos que os separam é dada pela Equação (4):

$$Q_{div} = U \cdot A \cdot (\bar{t}_{adj} - t_{ac}) \quad (4)$$

$\bar{t}_{adj}$: Temperatura média do ambiente adjacente na hora considerada (°C).

Carga Térmica de Ocupação

O calor dissipado por ocupantes constitui uma parcela significativa dos ganhos de calor numa edificação, as taxas médias de dissipação de calor por pessoa dependem de sua atividade, podendo ser dominantes em ambiente com altas razões de ocupação (Corrêa, 2014). A carga de ocupação é obtida pela parcela de calor sensível, Equação (5), e pela parcela de calor latente, Equação (6):

$$Q_{oc,s} = N \cdot C_s \cdot CLF \quad (5)$$

$$Q_{oc,l} = N \cdot C_L \quad (6)$$

N: Quantidade de ocupantes; C_s : Taxa de dissipação de calor sensível, em função da atividade (W/pessoa); C_L : Taxa de calor latente, em função da atividade (W/pessoa); CLF: Fator de carga de resfriamento.

Carga Térmica de Iluminação Artificial

A carga térmica advinda da iluminação artificial é obtida a partir de taxas típicas de dissipação de calor, disponibilizadas pela ABNT NBR 16401-1, variando de acordo com o tipo de iluminação do ambiente. A carga térmica de iluminação é obtida a partir da Equação (7):

$$Q_{ilu} = P_{ilu} \cdot CLF \quad (7)$$

P_{ilu} : Potência instalada de iluminação (W);

Carga Térmica de Equipamentos e Utensílios Diversos

Os cálculos de carga térmica de equipamentos e utensílios são mais subjetivos comparados as demais fontes internas, no entanto não devem ser desprezados. As taxas de dissipação de calor para equipamentos e utensílios diversos são disponibilizadas pela ABNT NBR 16401-1. A carga térmica advinda de equipamentos e utensílios diversos é calculado a partir da Equação (8):

$$Q_{eq} = P_{eq} \cdot CLF \quad (8)$$

P_{eq} : Potência instalada do equipamento (W);

Carga Térmica Devido à Vazão de Ar Exterior

A carga térmica devido à vazão de ar exterior é obtida por meio da soma de duas parcelas: ventilação e infiltração.

A vazão eficaz de ar de ventilação é constituída pela soma de duas parcelas distintas, avaliadas em relação às pessoas e à área ocupada. A vazão eficaz é calculada pela Equação (9):

$$\dot{V}_{ae} = N \cdot F_p + A_{ac} \cdot F_a \quad (9)$$

F_p : Vazão por ocupante (L/s.pessoa); F_a : Vazão por área útil ocupada (L/s.m²); A_{ac} : Área útil ocupada no ambiente condicionado (m²).

A vazão de ar a ser suprida, na zona de ventilação, é definida pela vazão eficaz corrigida pela eficiência da distribuição de ar na zona. A vazão de ar é definida pela Equação (10):

$$\dot{V}_z = \frac{\dot{V}_{ae}}{E_z} \quad (10)$$

$\dot{V}_z$: Vazão de ar exterior a ser suprida na zona de ventilação (L/s); E_z : Eficiência da distribuição de ar na zona.

As taxas de infiltração de ar são obtidas a partir de valores aproximados e tabelados, disponíveis na ABNT NBR 6401, ABNT (1980). A norma disponibiliza dados aproximados para casos típicos de infiltração de ar em ambientes.

Definida a vazão de ar, de ventilação e/ou infiltração, calcula-se a carga térmica associada à vazão de ar exterior, composta pela parcela de calor sensível, Equação (11), e pela parcela de calor latente, Equação (12).

$$Q_{ae,s} = \frac{\dot{V}_{ae}}{v_{ae}} \cdot c_{p_{ae}} \cdot (t_{ae} - t_i) \quad (11)$$

$$Q_{ae,l} = \frac{\dot{V}_{ae}}{v_{ae}} \cdot (W_{ae} - W_i) \cdot h_{lv} \quad (12)$$

$\dot{V}_{ae}$: Vazão total de ar externo (m³/s); v_{ae} : Volume específico do ar externo (m³/kga); $c_{p_{ae}}$: Calor específico do ar externo à pressão constante (J/kg.°C); W_{ae} : Umidade absoluta do ar externo (kgv/kga); W_i : Umidade absoluta do ar no ambiente condicionado (kgv/kga); h_{lv} : Calor latente de vaporização da água (J/kg).

Resultados

A partir dos dados disponibilizados pela NBR 16401-1, ABNT (2008), e pelos fatores fornecidos por Corrêa (2014), é definida a carga térmica resultante do ambiente, conforme Figura 1.

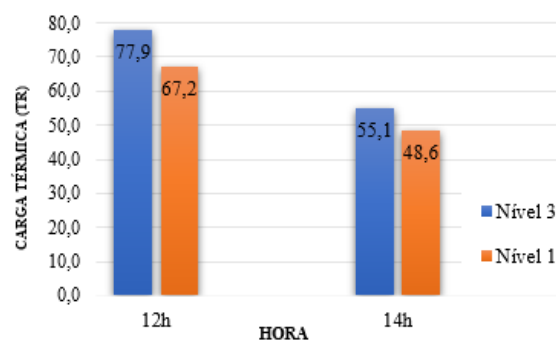


Figura 2: Carga térmica resultante.

A Figura 3 contém as parcelas térmicas específicas para cada período do dia.

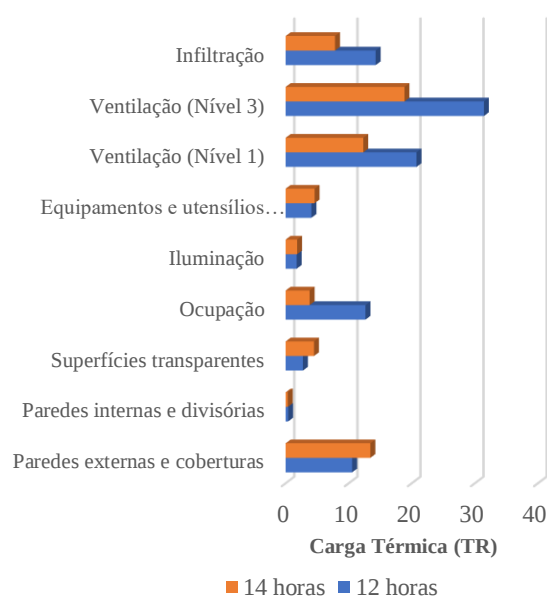


Figura 3: Carga térmica específica por meio de transmissão de calor.

Conforme os resultados obtidos nas Figuras 2 e 3, destacam-se as parcelas térmicas de infiltração e ventilação. A ventilação de nível 3, segundo a NBR 16401-3, contém evidências de redução de reclamações e manifestações alérgicas, ABNT (2008). Desse modo, adota-se tal nível para o estudo em questão.

O estudo baseia-se nos resultados apresentados por Martins (2020). A partir dos dados disponibilizados, propõe-se modificações no ambiente, a fim de reduzir a carga térmica resultante. As alterações estão relacionadas à infiltração de ar exterior em portas automáticas e na porta aberta.

A utilização de cortinas de ar de 120 cm nas portas automáticas de entrada e saída são suficientes para inviabilizar a infiltração de ar exterior no ambiente. Do mesmo modo, o isolamento da porta aberta, utilizando o mesmo material da parede interna, inviabiliza a infiltração de ar da cozinha para o salão, reduzindo a carga térmica requerida pelo meio. Tais modificações são suficientes para reduzir consideravelmente a carga térmica requerida pelo ambiente, conforme a Figura 4.

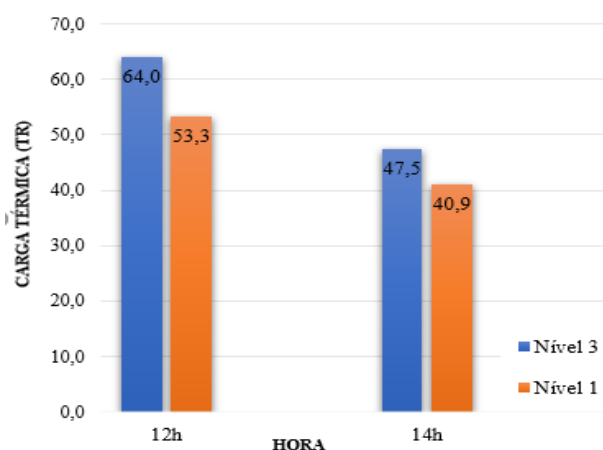


Figura 4: Carga térmica total após modificações.

Segundo a Figura 4, a carga térmica resultante, considerando a ventilação de nível 3 e o horário com maior carga de refrigeração exigida, será de 64 TR, 13,9 TR menor que o estudo realizado por Martins (2020). A Tabela 1 contém os dados dos equipamentos de refrigeração para o local de estudo, além do consumo energético para um funcionamento de 12 horas por dia.

Tabela 1: Especificação dos equipamentos de refrigeração local.

Fabricante	Tipo	Quant.	Carga (TR)	Consumo mensal (kWh/mês)
Carrier	Split Piso Teto	1	4	1684,80
Carrier	Split Piso Teto	1	5	2183,40
Hitachi	Splitão	1	40	14479,20
Carrier	Splitão	1	15	5752,80
Utilização (h)		12		

Dessa forma, estima-se que os custos com aquisição e instalação do aparelho de ar-condicionado de 15 TR, modelo

40MSE180236VH, e dos aparelhos do tipo cortina de ar, modelo ACF12S5, considerando os preços médios de mercado, serão R\$ 35.230,50, redução de R\$ 41.748,00 em relação ao equipamento proposto por Martins (2020). Além da redução nos custos de aquisição e instalação, o equipamento proposto, em destaque na Tabela 1, apresenta uma redução mensal de aproximadamente 17% no consumo energético dos equipamentos de refrigeração.

Conclusões

Neste estudo, foi possível identificar e aplicar melhorias no sistema de refrigeração de um restaurante industrial. A partir dos cálculos de carga térmica e, considerando as modificações propostas no trabalho de Martins (2020), identificou-se uma diferença significativa de aproximadamente 13,9 TR em relação ao sistema de climatização proposto. Sob o ponto de vista econômico, as modificações propostas no estudo proporcionam uma redução de R\$ 41.748,00 no custo inicial do projeto, além de uma diminuição mensal de aproximadamente 17% no consumo energético dos equipamentos de refrigeração.

Referências

- ABNT. (2008). NBR 16401-1: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos das instalações. Rio de Janeiro.
- ABNT. (2008). NBR 16401-3: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 3: Qualidade do ar interior. Rio de Janeiro.
- ABNT. (1980). NBR 6401: Instalações centrais de ar-condicionado para conforto – Parâmetros básicos de projeto. Rio de Janeiro.
- ASHRAE. (2017). Handbook: Fundamentals. Atlanta.
- ASHRAE. (2010). STANDAR 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta.
- Corrêa, J. E. (2007). Refrigeração e Climatização. Notas de aula. Universidade Federal do Pará.
- Corrêa, J. E. (2014). Climatização do Ambiente Construído. Notas de aula. Universidade Federal do Pará.
- Martelo, F. R. (2009). Manutenção Básica em Sistemas de ar Condicionado. Infraero.
- Martins, S.T.A.A. (2020). Análise de um Sistema solar fotovoltaico aplicado à refrigeração de um restaurante industrial. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Pará.
- Stoecker, W. F., Jones, J. W. (1985). Refrigeração e Ar Condicionado. Editora McGraw-hill.

Aviso de responsabilidade

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste documento.