

PARAMETRIZAÇÃO DA CARGA TÉRMICA DE UM RESTAURANTE ATRAVÉS DE UM CÓDIGO COMPUTACIONAL

PARAMETERIZATION OF THE THERMAL LOAD OF A RESTAURANT THROUGH A COMPUTATIONAL CODE

Felipe Mateus Laurentino da Silva¹
Rogério Soares da Silva²

RESUMO

Os sistemas de refrigeração são essenciais para o conforto térmico de pessoas, além de outras importantes aplicações existentes. O dimensionamento correto do equipamento de ar-condicionado representa eficiência energética do sistema e, conseqüentemente, melhor performance. Logo, este estudo trata de um desenvolvimento de um código computacional na plataforma EES (*Engineering Equation Solver*) para determinar o consumo de energia térmica das unidades evaporadoras (carga térmica) de um restaurante fictício de médio porte. O restaurante é localizado na cidade de Recife-PE, responsável por suportar 250 clientes e 17 funcionários, além de ter o seu interior dividido em ambientes fechados. O estudo também apresenta a inclusão de um estacionamento de superfície asfaltada e sua influência na entrada de energia através da radiação para o interior do restaurante, além de resultados parametrizados das conseqüências da variação do número de pessoas no interior do restaurante. Através deste dados, foi possível observar a influência dos clientes e funcionários na variação da carga térmica do restaurante, ao ponto de ser analisado a implementação do sistema de Volume de Refrigerante Variável (VRV) a variação constante da carga térmica. O roteiro utilizado para os cálculos de carga térmica obedece as normas vigentes, relacionadas a sistemas de refrigeração que visam o conforto térmico humano em locais fechados. Foi verificado que a inclusão do estacionamento de superfície asfaltada aumenta em mais 900% nos valores da insolação para o interior do restaurante. Dessa forma, conclui-se que o estudo computacional pode resultar em um sistema de refrigeração mais real e fidedigno a demanda do estabelecimento.

Palavras-chave: refrigeração; carga térmica; restaurante; estudo paramétrico.

ABSTRACT

Refrigeration systems are essential for the thermal comfort of people, in addition to other important existing applications. Correct sizing of air conditioning equipment represents system efficiency and, consequently, better performance. Therefore, this study deals with the development of a computational code in the EES (*Engineering Equation Solver*) platform to determine the energy consumption of the thermal door of the evaporator units (thermal load) of a fictitious medium-sized restaurant. The restaurant is located in Recife-PE, accepts 250 customers and 17 responsible employees, in addition to indoors. The study also presents the inclusion of a paved surface parking lot and its influence on energy input also through light into the restaurant's interior, in addition to parameterized results of the consequences of the number of people entering the restaurant's interior. From these data, it was possible to observe the customers and resources, through the thermal load of the restaurant, to the point of considering

¹ Bacharelado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho. 2022

² Doutor em Engenharia Mecânica – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho

the implementation of the Variable Refrigerant Volume (VRV) system at the point of reflection of the thermal load. The script used for the human comfort of load obeyed as current norms, related to systems that aim at the thermal in closed places. It was verified that the inclusion of a paved surface parking lot increases by 900% the insolation values for the interior of the restaurant. In this way, it is concluded that the computational study can result in a more real and reliable car system to the demand of the establishment.

Keywords: refrigeration; thermal load; restaurant; parametric study.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de refrigeração são aplicações que vieram com a demanda de conforto térmico de pessoas e equipamentos. A refrigeração precede historicamente a climatização com o uso do ar-condicionado. A partir do ano de 1880, nos Estados Unidos, usava-se o sistema de refrigeração como produtor de gelo artificial para competir comercialmente com o uso de gelo natural (o gelo originado por lagos, geleiras, entre outros). E somente na década de 1920 foi criado o ar-condicionado para a utilização de refrigeração com outros objetivos (Miller, et al., 2014).

Foi iniciado com a descoberta do ciclo de refrigeração por compressão a vapor e com o passar do tempo foram descobertos novos sistemas, materiais e fluídos refrigerantes que aumentavam constantemente a evolução do sistema (Silva, et al., 2018).

Segundo Çengel (2013) a refrigeração pode ser definida como a transferência de calor de uma região com temperatura mais baixa para outra mais alta. Estes tipos de sistemas podem ser aplicados na conservação de alimentos, como verduras legumes e carnes, no aumento da eficiência com a diminuição da temperatura de grandes centrais de computadores e etc. Porém, o sistema que vamos usar aqui é a refrigeração com o fim de estabelecer o conforto térmico de pessoas dentro de um ambiente fechado.

Podemos definir conforto térmico como a condição, sensação térmica ou sensação mental e física a qual o indivíduo se sente satisfeito no ambiente (Gagge, et

al., 1967). Através desta definição, pode-se dizer que é esperado que, num ambiente climatizado, haja maior aproveitamento das atividades executadas pelas pessoas inseridas nele (Silva, 2018).

Para que o projeto conceitual e a implantação do sistema de refrigeração sejam bem sucedidos, e assim o conforto térmico atingido, é necessário conhecer a demanda térmica (cargas térmicas) existentes no interior do ambiente a ser climatizado. A partir dos valores da carga térmica é possível estabelecer os equipamentos de ar-condicionado que supram a potência necessária (Latorre, et al., 2020).

A carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente que deve ser retirada ou colocada no ambiente com o objetivo de proporcionar as condições de conforto térmico. Ela pode ser identificada como: condução, insolação, dutos, pessoas, equipamentos elétricos, infiltração e renovação de ar, no recinto analisado (Creder, 2004).

O objetivo deste estudo é a identificação das origens das cargas térmicas no interior de um restaurante hipotético, localizado na cidade de Recife-PE, mostrando seus valores através dos parâmetros estabelecidos pelas normas vigentes de refrigeração.

Como o estabelecimento analisado se encontra em um município situado numa região tropical, o calor calculado será retirado do local através de um sistema de refrigeração.

Os cálculos da carga térmica foram realizados através de um código computacional no *software* EES (*Engineering Equation Solver*), que possui

bibliotecas com propriedades importantes para a termodinâmica, como: entalpia, energia interna, entropia entre outros. Além disto, o EES dispõe de tabelas de ferramentas visuais como tabelas e gráficos, onde é possível analisar o comportamento térmico em locais, objetos e pessoas, que é o foco deste estudo.

A escolha da utilização de uma ferramenta computacional se deu com o intuito de simplificar o processo matemático que, segundo Latorre et al. (2020), o cálculo da carga térmica é extenso e complexo, pois, dependendo da quantidade de fontes de calor, e se forem realizados os cálculos de forma manual, pode levar um tempo considerável e aumentar os erros nos resultados obtidos, diminuindo, assim, a confiabilidade do projeto.

Além disso, é apresentado o estudo parametrizado da variação do número de pessoas no interior do restaurante, que serão apresentadas mais adiante, para a adaptação dos cálculos às características de outros ambientes onde o sistema de refrigeração pode ser implantado. Através disto pode-se visar melhorias de eficiência energética do sistema com a análise dos resultados.

O trabalho foi desenvolvido em conjunto com o estudo de caso de Carvalho (2022), onde foi realizado a escolha dos tipos equipamentos e o dimensionamento do sistema de refrigeração à partir dos resultados obtidos com a implementação do código computacional.

METODOLOGIA

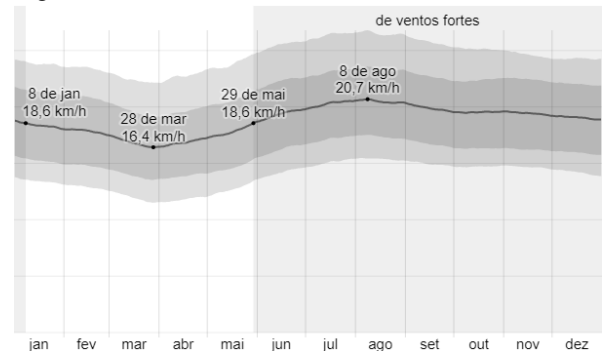
Premissas do projeto

O dimensionamento do sistema de refrigeração de um restaurante foi baseado nas suas características geográficas, número de pessoas, equipamentos elétricos existentes, entre outros, localizado na cidade de Recife-PE. O local do estabelecimento foi selecionado de forma aleatória, podendo ser qualquer local que possui os mesmos parâmetros térmicos, como temperatura média do ambiente e velocidade dos ventos. Foi estabelecida a

quantidade de 250 clientes e 17 funcionários por dia, para fins de cálculo.

Segundo a ABNT NBR 16401-1 (2008), a temperatura máxima do Recife, com o objetivo de calcular a carga térmica, é de 32,6°C, a umidade relativa interna recomendada é de 50%. A velocidade média dos ventos na cidade varia entre 16,4 à 20,7 km/h durante o ano, com os ventos a Sul e Leste (Weather Spark, 2022). A variação da velocidade dos ventos durante o ano na cidade do Recife é apresentada na Figura 1. O peso específico do ar é de 1,225 kg/m³.

Figura 1 - Velocidade Média do vento em Recife



Fonte: (Weather Spark, 2022)

A temperatura ideal para restaurantes está na faixa entre 24 à 26°C, pensando no conforto térmico do cliente. No nosso estudo será utilizada a temperatura de 24°C.

Dimensões do restaurante

As dimensões do restaurante foram estabelecidas para que o ambiente em questão funcionasse como um estabelecimento de porte médio.

O estabelecimento é dividido em: sala de jantar 1, sala de jantar 2, sala de jantar 3, bar, recepção, corredor de saída dos fundos, banheiros feminino e masculino, e cozinha. A cozinha, porém, não foi considerada para ser um cômodo refrigerado. Nela foi incluído um sistema de refrigeração que está à parte deste estudo em específico.

As dimensões dos ambientes climatizados são apresentadas, em ordem alfabética, na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Áreas dos ambientes do restaurante

Nº	Ambiente	Área (m ²)
1	Sala de Jantar 1	76,26
2	Sala de Jantar 2	111,93
3	Sala de Jantar 3	234,09
4	Bar	169,28
5	Recepção	145,35
6	Corretor	23,87
7	Banheiro Mas.	15,40
8	Banheiro Fem.	15,40
9	Cozinha	110,11

Fonte: O autor

Além das áreas dos ambientes do restaurante, é necessário conhecer as dimensões das superfícies externas do estabelecimento. O calor do sol adentra o interior do restaurante através dessas superfícies. Estas áreas são apresentadas na Tabela 2.

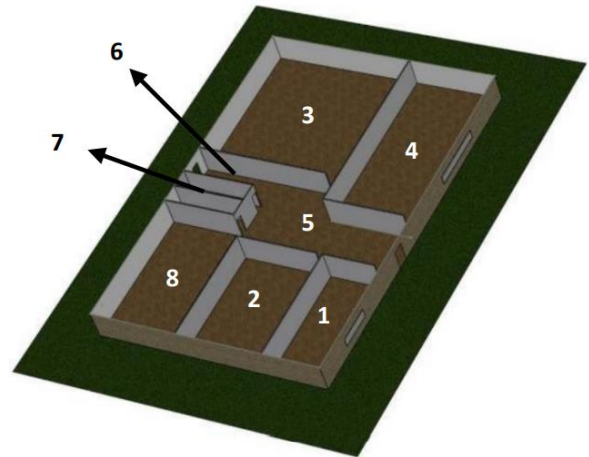
Tabela 2 - Áreas das superfícies externas do restaurante

Superfície	Área (m ²)
Parede do lado Sul	98,96
Parede do lado Leste e Oeste	73,8
Parede do lado Norte	108,51
Cobertura	905,28
Porta Principal	2,52
Porta dos Fundos	1,89
Janela da Sala de Jantar 1	3,35
Janela do Bar	5,57

Fonte: O autor

A Figura 2 apresenta o desenho em 3D de toda a planta do restaurante com as numerações dadas na Tabela 1. A cobertura do restaurante foi suprimida com o objetivo de melhorar a visualização do interior do restaurante.

Figura 2 - Desenho 3D (Planta do restaurante)



Fonte: O autor

Cálculo das cargas térmicas

O cálculo da carga térmica é indispensável para o dimensionamento de um sistema de refrigeração. Os valores foram determinados com base na metodologia apresentada em (Creder, 2004), que consiste na identificação das origens da carga térmica no ambiente estudado, e, após a identificação, é possível realizar os cálculos do calor gerado por estas fontes. Esta metodologia é representada de forma simplificada pelas equações a seguir.

Carga térmica devida ao fluxo solar ou insolação

A carga térmica por radiação através da insolação é dividida em duas: carga térmica através de superfícies transparentes, sendo no nosso caso, o vidro; e a carga térmica através de superfícies opacas, sendo determinadas pelas equações 1 e 2, respectivamente.

$$Q_T = A \times f \quad (1)$$

$$Q_o = A \times U[(T_e - T_i) + \Delta T] \quad (2)$$

sendo, Q_T e Q_o a carga térmica pelas superfícies transparentes e opacas, respectivamente, A a área superficial do local estudado, f é o coeficiente de transmissão do vidro, U o coeficiente global de transferência de calor, T_e temperatura externa, T_i a temperatura interna, e ΔT o acréscimo ao diferencial de temperatura.

Segundo Creder (2004), os coeficientes de transmissão do vidro, considerando o período mais quente do ano no Recife, para as paredes viradas para o Norte, Sul, Leste e Oeste, são 114, 38, 489 e 448 kcal/h, respectivamente. E o acréscimo do diferencial de temperatura estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Acréscimo ao diferencial de temperatura em °C

Superfície	Tom de cor	ΔT (°C)
Telhado	Cor escura	25
Parede L ou O	Cor média	11,1
Parede N	Cor média	5,5
Parede S	Cor média	0

Fonte: (Creder, 2004), adaptado

Podemos definir o coeficiente global U com a equação 3 (Gomes, 2019).

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{h_e}} \quad (3)$$

sendo, h_i o coeficiente de convecção superficial interna, h_e o coeficiente de convecção superficial externa e R a resistência térmica da transferência térmica por condução que é definida pelo inverso da condutividade térmica ou da condutância térmica, dependendo do material.

Os valores médios das condutâncias superficiais são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valor médio da condutância superficial

Condição do vento	h (kcal/h)/(m ² .°C)
Ar parado	7,13
Ar a 24 km/h	29,3

Fonte: (Creder, 2004)

Carga térmica devida às pessoas

A carga térmica liberada pelas pessoas é definida pela soma do calor sensível e calor latente, emitidas pelas

mesmas, e é diretamente proporcional ao número de pessoas no ambiente, sendo determinada pela equação 4. A quantidade de calor liberado pelas pessoas depende da quantidade de movimento realizado por elas e este tipo de movimento deve ser definido para os cálculos.

$$Q_P = N \times (C_L + C_S) \quad (4)$$

sendo, Q_P a carga térmica devido às pessoas, N o número de pessoas no ambiente, C_L o calor latente, e C_S o calor sensível.

Os valores dos calores liberados pelas pessoas foram obtidos na ABNT NBR 16401-1 (2008) e no Creder (2004), considerando os clientes no interior do restaurante em trabalho sedentário com o ajuste do calor médio liberado por um prato de comida por pessoa e o trabalho moderado para os funcionários. Os valores do calor latente e do calor sensível, para uma temperatura de 24°C, são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Calores sensível e latente liberadas pelas pessoas no restaurante

Tipo de pessoa	Calor Sensível (W)	Calor Latente (W)
Cliente	80 ^[1]	80 ^[1]
Funcionário	84 ^[2]	109 ^[2]

Fonte: [1] (ABNT NBR 16401-1, 2008); [2] (Creder, 2004)

Carga térmica devida à iluminação

Logo após estabelecer o número de lâmpadas para cada ambiente do estabelecimento, através do método dos lúmens – também conhecido como método de fluxo luminoso (Ayres, et al., 2018), que consiste em saber o fluxo luminoso que é emitido pelas luminárias no ambiente e o fluxo luminoso que o ambiente necessita (da Silva, et al., 2020), é necessário analisar o calor gerado por estas lâmpadas.

O calor dissipado é demonstrado na equação 5. Já a carga térmica é expressa pela equação 6.

$$P = L \times h \times p \quad (5)$$

$$Q = P \times f_1 \quad (6)$$

sendo, Q a carga térmica, P a potência dissipada das lâmpadas, L é o número de luminárias no ambiente, h o número de lâmpadas que a luminária escolhida suporta, p a potência da lâmpada e f_1 número de multiplicação do tipo de reator disponibilizado pelo fabricante.

A potência da lâmpada escolhida para o sistema é de 26W, o número de multiplicação do reator, dado pelo fabricante, é 0,9. As quantidades de lâmpadas nos ambientes do restaurante são apresentadas na Tabela 6, considerando uma luminária que suporta duas lâmpadas na sua estrutura.

Tabela 6 - Quantidade de lâmpadas por ambiente do restaurante

Ambiente	Número de lâmpadas
Sala de Jantar 1	8
Sala de Jantar 2	10
Sala de Jantar 3	22
Bar	16
Recepção	22
Banheiro Mas.	4
Banheiro Fem.	4
Total	86

Fonte: O autor

Carga térmica devida aos equipamentos elétricos

Por conta das irreversibilidades comuns a todos os equipamentos elétricos parte da energia elétrica é transformada em calor, logo esta energia dissipada em forma de calor precisa ser analisada para que o sistema de refrigeração supra o calor no interior do ambiente onde esses equipamentos estão dispostos.

A Tabela 7 mostra as quantidades de calor liberados pelos equipamentos

dispostos no interior do restaurante. Estes equipamentos foram escolhidos para que os cálculos de carga térmica sejam mais condizentes com a realidade.

Tabela 7 - Potência dissipada dos equipamentos elétricos

Equipamentos	Potência W)
Secador de mãos	1800
Cafeteira elétrica	600
Bomba elétrica do aquário	15
Cortina de vento	240

Fonte: O autor

Esta potência dissipada foi calculada considerando que os equipamentos estão ligados durante todo o expediente, através de uma pesquisa de mercado.

Carga térmica devida à infiltração nas frestas das portas e janelas

Este tipo de carga se dá pela penetração do ar que vem do ambiente externo para o ambiente interno do ambiente refrigerado, causando a variação na demanda de calor no ambiente (Torres, 2019).

Segundo Creder (2004), existem dois métodos para o cálculo deste tipo de carga térmica: o método da troca de ar, que consiste na suposição da quantidade de troca de ar por hora nos recintos, de acordo com o número de janelas e portas; e o método das frestas, que diz que a penetração do ar exterior no interior do recinto depende da velocidade do vento. O último método será usado neste estudo, por conta da sua flexibilidade de itens, como os tipos de portas de janelas que serão utilizados no restaurante.

Considerando as portas e janelas do restaurante bem ajustadas, as infiltrações pelas frestas possuem os valores apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores da infiltração de ar

Item	Vazão por metros de fresta (m)
Janela	3
Porta	6,5
Porta vai-e-vem	4

Fonte: (Creder, 2004), adaptado

O modo de calcular o calor sensível e latente devido às frestas são representados pelas equações 7 e 8, respectivamente.

$$q_s = 0,29V(t_e - t_i) \quad (7)$$

$$q_L = 583C \quad (8)$$

sendo, q_s o calor sensível, t_e a temperatura externa, t_i a temperatura interna, q_L o calor latente, $C = (U_{E2} - U_{E1}) \times \gamma \times V$, U_{E2} umidade específica do ar no interior, U_{E1} umidade específica do ar no exterior, γ peso específico do ar e V a vazão do ar nas frestas.

Segundo a ABNT NBR 16408 (2008), as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido na cidade do Recife são 32°C e 26°C, respectivamente. Consultando a carga psicrométrica (ASHRAE, 1992), a umidade específica no interior e no exterior do restaurante é de 0,0095 kg de água/kg de ar seco e 0,0186 kg/kg de ar seco, respectivamente.

Carga térmica devida à renovação de ar por pessoa

A vazão da renovação de ar por pessoa no restaurante deve ser de 35 m³/h (Creder, 2004). Os objetivos desta renovação de ar em locais fechados são: evitar o aumento do CO₂ e completar as perdas por frestas e aberturas do ambiente (Rocha, et al., 2010). Geralmente, esta renovação é feita ventilando o ar exterior para o interior do recinto, trazendo, assim carga térmica.

Os calores sensível e latente são calculados pelas equações 7 e 8, respectivamente, onde a vazão é calculada pela equação 9.

$$V = N \times v \quad (9)$$

sendo, N o número de pessoas presentes no restaurante e v a vazão ideal para o tipo de ambiente. Por segurança, para os cálculos, será acrescentado um erro de 10% a mais do número de funcionários e clientes, ficando 19 funcionários e 275 clientes com o total de 294 pessoas no interior do restaurante.

Carga térmica total

Considerando as cargas térmicas apresentadas, para obter as condições de conforto desejadas, basta somá-las e assim é encontrado a carga térmica total (Creder, 2004).

Análise da carga térmica devida à insolação com o estacionamento

Para que os cálculos da carga térmica devida à insolação seja considerada o mais próximo da realidade, foi adicionado um estacionamento, com superfície asfaltada, ao redor do estabelecimento estudado.

Nesta seção será considerada a irradiação pertencente a superfície asfaltada para as superfícies externas das paredes. Para os cálculos será considerada as geometrias e orientação entre as superfícies, as propriedades radiantes e temperaturas (Incropera, et al., 2008).

Segundo o site Tribuna de Jundiá (2019), a temperatura do asfalto para a temperatura ambiente de 31 e 25°C, é de 62 e 52°C, respectivamente. Realizando a extrapolação é possível observar que para a temperatura ambiente de 32,6°C, o asfalto tem uma temperatura superficial aproximada de 65°C.

Tendo em mãos a temperatura superficial do asfalto, é necessário realizar o cálculo do calor emitido pela equação 10 (Incropera, et al., 2008).

$$\dot{Q}_e = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (10)$$

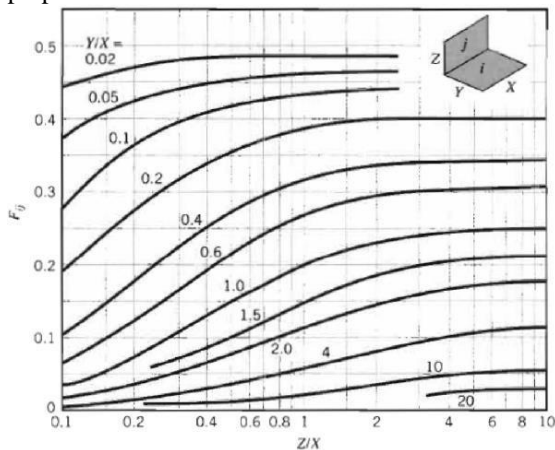
sendo, Q_e o calor emitido, ε a emissividade do asfalto de 0,93 (Çengel, et al., 2011), σ a

constante de *Stefan-Boltzmann* de $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$, A_s a área superficial do asfalto e T_s a temperatura superficial do asfalto em Kelvin.

Segundo Incropera, et al. (2008), para calcular a troca radiante entre duas superfícies quaisquer é necessário conhecer o fator de forma, que é definido como a fração da radiação que deixa a superfície i e é interceptada pela superfície j , asfalto e parede do restaurante, respectivamente.

O valor do fator de forma será calculado através da Figura 3 considerando a largura do estacionamento de 8m. Esta largura foi baseada nas dimensões médias de um carro popular no Brasil.

Figura 3 - Fatores de forma para retângulos perpendiculares com uma aresta comum



Fonte: (Incropera, et al., 2008)

Após o cálculo do fator de forma e do calor emitido, a equação 11 é usada para o cálculo do calor por radiação emitido pelo asfalto do estacionamento que é interceptado pela parede do restaurante (Çengel, et al., 2011).

$$F_{12} = F_{A_1 \rightarrow A_2} = \frac{\dot{Q}_{A_1 \rightarrow A_2}}{\dot{Q}_{A_1}} \quad (11)$$

sendo, $F_{A_1 \rightarrow A_2}$ o fator de forma que depende da geometria e posição das superfícies, $\dot{Q}_{A_1 \rightarrow A_2}$ o calor por radiação interceptada pela superfície A_2 (área externa da parede do restaurante) e \dot{Q}_{A_1} o calor por radiação emitido pela superfície A_1 (área do

estacionamento perpendicular a parede que será analisada) e é encontrada pela equação 4.

Para os cálculos de carga térmica, o calor considerado é o que passa para o interior do restaurante, pois parte da radiação que chega na superfície é refletida de volta ao ambiente e outra parte é absorvida (Incropera, et al., 2008).

O calor absorvido pela superfície pode ser calculado pela relação:

$$\dot{Q}_{abs} = \alpha \dot{Q}_{A_1 \rightarrow A_2} \quad (12)$$

sendo, Q_{abs} é o calor absorvido pela superfície, α é a absorvidade do material da superfície, que, para tijolos aparentes, é 0,55 (Ikematsu, 2007).

Critérios do estudo parametrizado

Para o estudo parametrizado foi feita a variação dos clientes e funcionários para que os comportamentos das cargas térmicas devida às pessoas e devida à renovação de ar fossem observados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos, através dos códigos computacionais, das cargas térmicas com as devidas discussões dos mesmos.

Carga térmica devida ao fluxo solar ou insolação

Na Tabela 9 são mostradas as cargas térmicas devida ao fluxo solar das superfícies externas do restaurante.

Tabela 9 - Resultado da carga térmica devida à insolação

Superfície	Carga Térmica (kW)	
Parede Sul	0,5327	2,32%
Parede Leste	0,9066	3,94%
Parede Norte	1,195	5,19%
Parede Oeste	0,8581	3,73%
Cobertura	18,927	82,26%
Vidros	0,589	2,56%
Total	23	100%

Fonte: O autor

Verifica-se que a maior parcela deste tipo de carga térmica é a da cobertura do restaurante, que corresponde a 82,26% da demanda devida à insolação.

Carga térmica devida às pessoas

A Tabela 10 e a Tabela 11 apresenta os valores das cargas térmicas devida aos clientes e funcionários, respectivamente.

Tabela 10 - Resultado da carga térmica devida aos clientes

Carga Térmica dos clientes (kW)	
Calor Sensível	20
Calor Latente	20
Total	40

Fonte: O autor

Tabela 11 - Resultado da carga térmica devida aos funcionários

Carga térmica dos funcionários (kW)	
Calor Sensível	1,853
Calor Latente	1,428
Total	3,281

Fonte: O autor

Sendo o total de calor liberado pelas pessoas no interior do restaurante a soma da carga térmica liberada pelos clientes e pelos funcionários: 43,281 kW.

É possível notar que por conta da alta quantidade de clientes no restaurante, o valor da carga térmica é influenciado de forma significativa, sendo 92,42%.

Carga térmica devida à iluminação

A Tabela 12 apresenta os valores da carga térmica liberadas pela iluminação distribuídas em cada ambiente do restaurante.

Tabela 12 - Resultado da carga térmica devida à iluminação

Ambientes	Carga térmica (kW)	
Sala de Jantar 1	0,25	9,30%
Sala de Jantar 2	0,31	11,63%
Sala de jantar 3	0,69	25,58%
Bar	0,50	18,60%
Banheiro Mas.	0,13	4,65%
Banheiro Fem.	0,13	4,65%
Recepção	0,63	23,26%
Corredor	0,06	2,33%
Total	2,70	100%

Fonte: O autor

É possível verificar que a carga térmica devido à iluminação, em comparação com os outros valores de carga térmica apresentados, dependendo da aplicação, podem até ser desconsiderados nos cálculos, pois, graças à tecnologia, as lâmpadas tiveram uma redução considerável de calor gerado com o sistema de iluminação por LED's.

Carga térmica devida aos equipamentos elétricos

A Tabela 13 apresenta a demanda térmica liberada pelos equipamentos elétricos que estão no interior do restaurante.

Tabela 13 - Resultado da carga térmica devida aos equipamentos elétricos

Equipamento	Carga Térmica (kW)
Secador de mãos	2,09
Cafeteira elétrica	0,69
Bomba elétrica do aquário	0,01
Cortina de vento	0,27
Total	3,06

Fonte: O autor

É possível notar neste resultado que o secador de mãos tem uma parcela considerável na quantidade de calor emitido para o ambiente interno do restaurante. Isto se

dá, pois o secador de mãos usa um jato de ar de alta temperatura para realizar a secagem.

Carga térmica devida à infiltração nas frestas das portas e janelas

A Tabela 14 mostra os resultados da carga térmica que adentra no interior do restaurante, por conta do calor levado pelo ar externo.

Tabela 14 - Resultado da Carga térmica devido à infiltração nas frestas das portas e janelas

Local da entrada de ar	Calor Latente (kW)	
Janela da Sala de Jantar 1	0,30	5,42%
Janela do bar	0,44	7,96%
Porta principal	0,45	8,14%
Porta dos fundos	0,41	7,41%
Abertura da porta	3,93	71,07%
Total	5,53	100%

Fonte: O autor

Sendo o total da carga térmica liberada pelas pessoas a soma do calor sensível com o calor latente, sendo assim 5,53 kW.

Através dos resultados apresentados nota-se que a abertura das portas, considerando o pior caso que é a abertura da porta principal, abrange a maior parte da entrada de calor no interior do estabelecimento, sendo 71,30% da carga térmica devida à infiltração.

Carga térmica devida à ventilação por pessoa

O resultado da carga térmica devida à ventilação por pessoa é apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 - Resultados da carga térmica devida à ventilação por pessoa

Tipo de calor	Valor (kW)
Calor Latente	66,88
Calor Sensível	25,66
Total	92,54

Fonte: O autor

Foi visto que, por conta da entrada constante de ar quente dentro do restaurante, a carga térmica devida à renovação de ar tem um valor significativo nos resultados.

Carga térmica total

A Tabela 16 apresenta os valores das cargas térmicas calculadas neste estudo de caso.

Tabela 16 - Apresentação das cargas térmicas presentes no restaurante

Tipo de CT	Valor (kW)	
Fluxo solar	23	13,52%
Pessoas	43,28	25,44%
Iluminação	2,70	1,59%
Equipamentos elétricos	3,06	1,80%
Infiltração de ar	5,52	3,25%
Renovação de ar	92,54	54,4%
Total	170,10	100%

Fonte: O autor

Pelos resultados obtidos é observado que o projetista do sistema de refrigeração deve se atentar para o número de pessoas no local analisado. Pois se o estabelecimento possuir um pequeno fluxo solar para o interior do local a carga térmica devida às pessoas no interior do restaurante exerce a maior parte da carga térmica total.

Carga térmica devida à insolação com o estacionamento

Resolvendo a equação 4, obtém-se o valor do calor emitido pela superfície asfaltada do estacionamento. A Tabela 17 mostra os resultados do calor emitido pelas superfícies asfaltadas nos quatro cantos do restaurante.

Tabela 17 - Calor emitido pela superfície asfaltada do estacionamento

Superfície	Calor emitido (kW)
Norte e Sul	69,6
Leste e Oeste	46,5
Total	116,1

Fonte: O autor

Consultando a Figura 3 para as paredes voltadas para o Norte e Sul com

Y/X e Z/X iguais a 0,2174 e 0,08152, respectivamente, é observado que o fator de forma é igual a 0,21, ou seja, 21% do calor que emitido pelo asfalto é recebido pelas superfícies da parede.

Já para as superfícies Leste e Oeste com Y/X e Z/X iguais 0,3252 e 0,122, respectivamente, o fator de forma é de 0,33.

Os valores dos calores recebidos pelas superfícies das paredes são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Calor recebido pelas superfícies externas

Superfície	Calor recebido (kW)	
	Norte	
Tijolo	14,36	
Vidro	0,250	
	Sul	
Tijolo	13,1	
Vidro	1,513	
	Leste e Oeste	
Tijolo	15,35	

Fonte: O autor

O calor absorvido pela superfície da parede, considerando-a composta de tijolos aparentes e janelas e portas de vidro é apresentado na Tabela 19. Usando a absorvância do tijolo vermelho como 0,55 (Ikematsu, 2007) e o fator solar do vidro de 0,82 (Westphal, 2012).

Tabela 19 - Calor absorvidos pelas superfícies externas

Superfície	Calor absorvido (kW)	
	Norte	
Tijolo	7,898	
Vidro	0,205	
	Sul	
Tijolo	7,205	
Vidro	1,241	
	Leste e Oeste	
Tijolo	8,443	

Fonte: O autor

A Tabela 20 mostra a comparação da carga térmica devida à insolação sem considerar o asfalto e considerando o

asfalto.

Tabela 20 - Comparação entre a carga térmica devida à insolação do restaurante com estacionamento e sem estacionamento

Superfície	Estacionamento	
	Sem (kW)	Com (kW)
Parede Sul	0,53	7,735
Parede Leste	0,91	9,353
Parede Norte	1,20	9,098
Parede Oeste	0,86	9,303
Vidros	0,60	2,046
Total	4,10	37,949

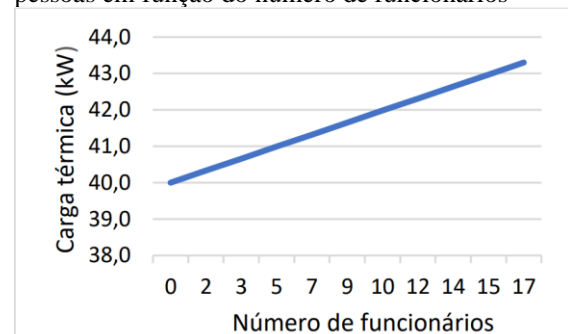
Fonte: O autor

Através destes resultados é possível observar que o ambiente ao redor do estabelecimento deve ser considerado de forma prioritária. O calor emitido pelo estacionamento com superfície asfaltada influencia de forma relevante na carga térmica devida à insolação. Tendo um aumento de mais de 900%.

Análise do comportamento da carga térmica devida às pessoas e à renovação de ar

A Figura 4, representa o resultado da variação da carga térmica devida às pessoas em função do número de funcionários no interior do restaurante.

Figura 4 - Variação da carga térmica devida às pessoas em função do número de funcionários

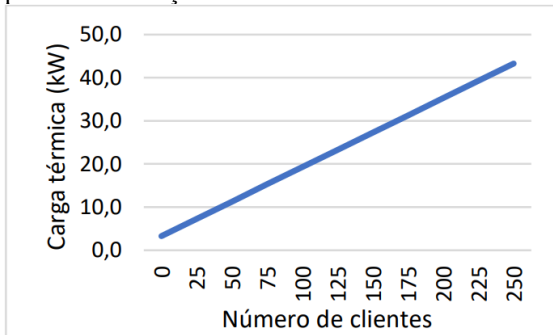


Fonte: O autor

É observado na figura 4 um aumento de carga térmica a uma taxa de 0,194 W à partir dos 40kW pertencente ao número de clientes existentes no interior do restaurante.

A Figura 5, representa a variação da carga térmica devida às pessoas em função do número de clientes.

Figura 5 - Variação da carga térmica devida às pessoas em função do número de clientes

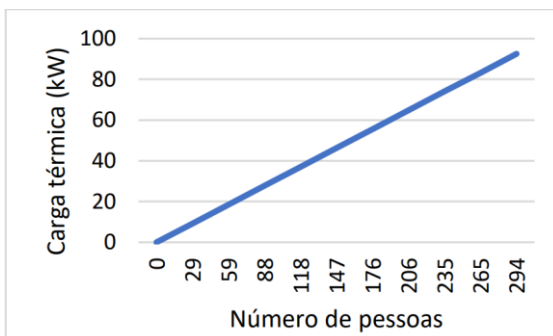


Fonte: O autor

Na Figura 5 é visto um aumento de 0,16kW de energia por cliente com o início em 3,3kW pertencente ao número de funcionários no interior do restaurante.

A Figura 6 representa o comportamento da variação da carga térmica devida à renovação de ar por pessoa em função do número de pessoas.

Figura 6 - Variação da carga térmica devida às pessoas em função do número de clientes



Fonte: O autor

Nota-se na Figura 6 uma taxa crescente de 0,32kW para cada pessoa presente no estabelecimento.

Através dos resultados desta seção é visto que as pessoas são uma variável importante para o valor da demanda térmica do sistema. Dependendo da quantidade de pessoas a carga térmica aumenta ou diminui consideravelmente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresenta como produto a análise de carga térmica em um restaurante fictício considerando diversas fontes de calor para projetos de refrigeração de restaurantes que possuem um prédio fechado. O modelo apresentado foi validado para um caso específico de propriedades termodinâmicas e psicrométricas da cidade de Recife-PE. Com o código, foi possível realizar um estudo do quanto a inclusão da irradiação do estacionamento sobre as superfícies externas do restaurante nos cálculos é relevante. Além disto foi feito um estudo parametrizado da parcela de carga térmica devida às pessoas e à renovação de ar em função do número de clientes e funcionários no interior do restaurante.

Com a adição dos calores da carga térmica devida à irradiação da superfície asfaltada do estacionamento, conclui-se que, dependendo da aplicação, é importante incluí-la no dimensionamento do sistema, tendo um aumento de mais de 900% da carga térmica por radiação que adentra o interior do restaurante. Ademais, foi visto que a quantidade de pessoas presentes no interior do estabelecimento influencia significativamente na variação de carga térmica existentes dentro de um restaurante.

Tendo em mãos os resultados do comportamento da carga térmica, o projetista pode selecionar equipamentos mais adequados para este tipo de situação. Por exemplo o sistema de volume de refrigerante variável (VRV) que distribui fluido refrigerante dependendo da demanda térmica do ambiente através de automação, diminuindo, assim, o custo de energia elétrica.

Este estudo trouxe a oportunidade de aplicar em um problema real, conhecimentos adquiridos ao longo da graduação em engenharia mecânica: termodinâmica, transferência de calor, refrigeração, linguagem de programação, engenharia de projetos e entre outros vividos até então.

Sugere-se para trabalhos futuros: (a) Avaliação energética para diferentes fluidos

refrigerantes; (b) implementação de avaliação de sensibilidade econômica ao

código computacional desenvolvido.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE psychrometric chart N°1**. Georgia: ASHRAE, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16401-1**: instalações de ar-condicionado: sistemas centrais e unitário: Parte 1: projetos das instalações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

AYRES, Tereza. *et al.* Avaliação da iluminação artificial em salas de aulas em uma escola da rede de ensino pública de Nova Venécia-Es. **IfesCiência**, Nova Venécia, v. 4, n. 2, p. 68-83, 15 dez. 2018. Disponível em: <https://ojs.ifes.edu.br/index.php/ric/article/view/344>. Acesso em: 13 mai. 2022.

CARVALHO, Harlane. **Projeto e dimensionamento do sistema AVAC para um restaurante localizado em Recife-PE**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Cabo de Santo Agostinho, 2021.

ÇENGEL, Yunus A; Ghajar, Afshin J. Transferência de calor por radiação. *In*: ÇENGEL, Yunus A; Ghajar, Afshin J. **Transferência de calor e massa: Uma abordagem prática**. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. p. 731-794.

ÇENGEL, Yunus; Boles, Michael. Ciclos de refrigeração. *In*: ÇENGEL, Yunus; Boles, Michael. **Termodinâmica**. 7. ed. São Paulo: AMGH Editora Ltda, 2013. p. 611-660.

CLIMA e condições meteorológicas médias

em Recife no ano todo. San Francisco: Weather Spark, 2022. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/31432/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Recife-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 26 Mar. 2022.

CREDER, Hélio. Cálculo da carga térmica. *In*: CREDER, Hélio. **Instalações de ar condicionado**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. p. 88-137.

GAGGE, A. P, STOLWIK, J. A. J; HARDY, J. D. Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures. **Environmental Research**, New Haven, v. 1, n. 1, p. 1-20, jun. 1967. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0013935167900023>. Acesso em: 13 mai. 2022.

GOMES, António. Comportamento térmico de elementos opacos: paredes. **Revista Internacional de Ciências, Tecnologia e Sociedade**, Vila Real, v. 2, n. 4, ed. 5, p. 1-17, 31 dez. 2019. Disponível em: <https://ri.cts.mundis.pt/index.php/ri.cts/article/view/18>. Acesso em: 06 mai. 2022.

IKEMATSU, Paula. **Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Construção Civil e urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-26122008-105228/publico/DissertacaoIkematsu2007.PDF>. Acesso em: 20 mai. 2022.

INCROPERA, Frank, *et al.* Radiação: processos e propriedades. *In*: INCROPERA, Frank, *et al.* **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: Gen & LTC, 2008. p. 459-

512.

INCROPERA, Frank, *et al.* Troca de radiação entre superfícies. *In:* INCROPERA, Frank, *et al.* **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: Gen & LTC, 2008. p. 513-558.

LATORRE-HERNÁNDEZ, Martha; FLÓREZ, Elkin; SERRANO, Juan. Desarrollo de un software académico para el cálculo de carga térmica para la asignatura de Aires acondicionados en la Universidad de Pamplona. **Revista UIS Ingenierías**, Pamplona, v. 19, n. 3, p. 87-96, 18 mai. 2020. Disponível em: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/10765>. Acesso em: 10 mai. 2022.

MILLER, Rex; MILLER, Mark. 2014. Desenvolvimento da refrigeração. *In:* MILLER, Rex; MILLER, Mark. **Ar-condicionado e refrigeração**. 2. ed. Barueri: LTC, 2014. p. 106-122.

ROCHA, Rafael; DE ALMEIDA, Rafael. **Desenvolvimento de ferramenta computacional em visual basic para estimar de carga térmica segunda a NBR 16401**. 2010. Trabalho de Conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, jun. 2010. Disponível em: https://mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2010-1_rafael_campos_e_rafael_de_almeida.pdf. Acesso em: 07 mai. 2022.

SILVA, Diego da; FREITAS, Sergio; GARCIA, Marcus. Análise e soluções para o sistema de iluminação da empresa de costura Pinheirinhos Ltda. **Caleidoscópio**, Pinheirinhos, v. 11, n. 1, p. 41-46, 06 abr. 2020. Disponível em: <https://ojs.eniac.com.br/index.php/Anais/article/view/681>. Acesso em 07 mai. 2022.

SILVA, Marco, **Avaliação experimental do desempenho do R32 como substituto do R410A em um sistema de refrigeração**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Porto Alegre, 2018. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/24827/3/AvaliacaoExperimentalDesempenho.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2022.

SILVA, Monaliza. **Controle de sistemas de refrigeração visando conforto térmico e eficiência energética**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/18926>. Acesso em: 10 mai. 2022.

TORRES, Érica. **Levantamento de carga térmica: novo software nacional incluindo renovação de ar (ABNT 16401)**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/43034/1/TCCR%20-%20C3%89RICA%20VALESKA%20GURGEL%20T%20C3%94RRES.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2022.

TRIBUNA DE JUNDIAÍ. **Temperatura do asfalto pode queimar a pata dos cachorros**. Jundiaí: 2019. Disponível em: [Temperatura do asfalto pode queimar a pata dos cachorros \(tribunadejundiai.com.br\)](http://tribunadejundiai.com.br). Acesso em: 20 out. 2022.

WESTPHAL, Fernando Simon. **Vidros de controle solar: ARQ5658 – Eficiência energética e sustentabilidade em edificações**. [S. l.: s. n.], 2012. Disponível em: Slide 1 (ufsc.br). Acesso em: 14 Mai. 2022