

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
MARIA LUIA NICOLINI BORGES**

**DETERMINAÇÃO DA CARGA TÉRMICA DE UMA EDIFICAÇÃO
CONTÊINER LOCALIZADA NA CIDADE DE ARARANGUÁ/SC**

**ARARANGUÁ
2018**

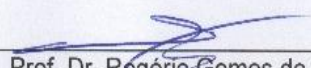
MARIA LUA NICOLINI BORGES

**DETERMINAÇÃO DA CARGA TÉRMICA DE UMA EDIFICAÇÃO
CONTÊINER LOCALIZADA NA CIDADE DE ARARANGUÁ/SC**

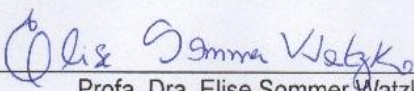
Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Universidade Federal de
Santa Catarina, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Engenheiro(a) de Energia.

Araranguá, 29 de novembro de 2018.

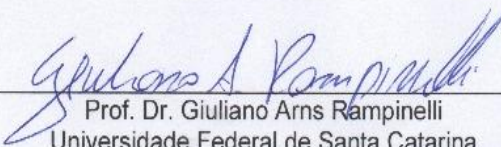
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Rogério Gomes de Oliveira
Universidade Federal de Santa Catarina



Profa. Dra. Elise Sommer Watzko
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Dr. Giuliano Arns Rampinelli
Universidade Federal de Santa Catarina

Aos meus pais, Geanny e Márcio

Aos meus irmãos, Luan e Kauli

Ao meu namorado, Heitor

E aos meus amigos

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Geanny e Márcio, pelo amor, constante apoio em cada etapa da minha vida e por não medirem esforços para realizar meus sonhos.

Ao meu irmão, Luan, pelo companheirismo, amizade e por sempre acreditar em mim.

Ao meu namorado, Heitor, pelo amor, carinho e compreensão.

Aos meus amigos de longa data, pela amizade que vai além da distância.

E também a todas amizades que foram construídas durante a graduação, com certeza a trajetória teria sido mais árdua sem vocês.

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina, em especial aos professores do Campus Araranguá, por todo conhecimento transmitido e dedicação.

Ao meu orientador, prof. Dr. Rogério, por me guiar na elaboração desse trabalho.

E, por fim, ao universo, por me levar a caminhos inimagináveis.

“Uma mente que se abre a uma nova ideia, jamais voltará para o seu tamanho inicial.” (Albert Einstein)

RESUMO

O uso de contêineres na construção civil iniciou-se com a necessidade de destinação de milhares de contêineres empilhados em portos nas regiões portuárias. É uma técnica sustentável de construção, pois se reutiliza uma matéria prima de alta qualidade, além de reduzir o consumo de recursos, como água, areia, tijolo, entre outros. Entretanto, devido à elevada condutividade térmica do principal constituinte, o aço corten, são necessárias alterações construtivas para adequar o contêiner como edificação e minimizar o desconforto térmico. A aplicação de estratégias construtivas para melhorar o comportamento termo-energético de edificações tem sido cada vez mais empregada nas construções atuais. Para analisar o impacto dessas estratégias no desempenho térmico de uma edificação, pode-se avaliar a carga térmica da mesma. Esta é definida como a quantidade de calor que deve ser retirada ou adicionada de um ambiente para manter condições de conforto térmico. Atualmente, existem diversos métodos e ferramentas para a determinação de carga térmica, sendo que a ASHRAE recomenda os métodos de balanço de calor (HBM) e das séries temporais radiantes (RTSM). Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo a determinação da carga térmica do projeto de uma edificação contêiner, que será a sede da associação Técnica sem Fronteiras Brasil, localizada em Araranguá/SC. Para a simulação térmica foi utilizado o *software EnergyPlus*, que tem como metodologia básica o método HBM. Além disso, avaliou-se a influência dos seguintes elementos construtivos no comportamento térmico da edificação: o uso de isolantes térmicos, uso de brises, orientação solar e a cor da envoltória. Com base na simulação, obteve-se uma diferença de 30% e 27% na carga térmica de resfriamento e aquecimento, respectivamente, quando comparado um contêiner bruto com a edificação contêiner estudada. Entre as estratégias construtivas analisadas, quando se trata de demanda de aquecimento, o uso de isolante térmico apresentou a maior influência. Em relação a carga térmica para resfriamento, a cor da envoltória e o uso de brises tiveram maior impacto.

Palavras-chave: Carga térmica. Contêiner. EnergyPlus. Conforto térmico.

ABSTRACT

The usage of containers in civil construction has begun with the necessity to destine many containers that are piled up in port regions. It is a sustainable technique of construction, because it reuses high quality raw material, besides reducing resources consumption, like water, sand, bricks, etc. However, due to the high thermal conductivity of its main component, Corten steel, constructive modifications are required to adequate the container as an edification and minimize thermal discomfort. The application of constructive strategies to improve the thermo-energetic behavior of edifications has been increasingly used in current constructions. To analyze the impact of these strategies in thermal performance of an edification, the thermal load can be evaluated. The thermal load can be defined as the amount of heat to be added or removed from the environment to keep thermal comfort conditions. Nowadays, there are different methods and tools to determine the thermal load, and ASHRAE recommends the Heat Balance Method (HBM) and Radiant Time Series Method (RTSM). Taking this into account, this undergraduate thesis had the purpose to determine the thermal load of a container edification project which will be the headquarter of Técnica sem Fronteiras Brasil, located in Araranguá/SC, Brazil. For the thermal simulation, the software Energyplus was used, which has as basic methodology the HBM method. Besides that, the influence of the following constructive elements was evaluated: use of thermal insulation, brises soleil, solar orientation and the outside color of the edification. Based on the simulation, a difference of 30% and 27% in the heating and cooling load, respectively, was obtained when compared the original and the studied container edification. Of the constructive strategies analyzed, when it is about the heating demand, the use of thermal insulation showed to have the greatest influence. In relation to the cooling load, the outside color and the use of brises soleis had the biggest impact.

Keywords: Thermal load. Container. EnergyPlus. Thermal comfort.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Efeito do armazenamento térmico na carga térmica devido à iluminação.	23
Figura 2 – Trocas de calor através de estruturas opacas.	25
Figura 3 – Trocas de calor através de fenestrações transparentes ou translúcidas.	27
Figura 4 – Esquema do método do balanço de calor (HBM) em uma zona térmica.	32
Figura 5 – Visão geral do Método das Séries Temporais Radiantes (RTSM) ..	36
Figura 6 – Interface principal (EP- Launch) do software EnergyPlus.	39
Figura 7 – Interface de edição de dados (Edit - IDF Editor) do software EnergyPlus.	39
Figura 8 – Características do uso de contêineres na construção civil.	41
Figura 9 – Fachada da sede da associação Técnica sem Fronteiras Brasil. ...	43
Figura 10 – Desenho da edificação contêiner no Google SketchUp.	43
Figura 11 – Brises horizontais e verticais na edificação contêiner.	46
Figura 12 – Carga térmica para aquecimento: comparação entre um contêiner bruto e a edificação contêiner em estudo.	53
Figura 13 – Carga térmica para resfriamento: comparação entre um contêiner bruto e a edificação contêiner em estudo.	54
Figura 14 – Influência do isolante térmico na carga térmica para aquecimento.	56
Figura 15 – Influência do isolante térmico na carga térmica para resfriamento.	57
Figura 16 – Influência da orientação solar na carga térmica para aquecimento.	58
Figura 17 – Influência da orientação solar na carga térmica para resfriamento.	59
Figura 18 – Influência da cor da envoltória na carga térmica para aquecimento.	60
Figura 19 – Influência da cor da envoltória na carga térmica para resfriamento.	60

Figura 20 – Influência das proteções solares na carga térmica para aquecimento.	61
Figura 21 – Influência das proteções solares na carga térmica para resfriamento.	62
Figura 22 – Influência das fenestrações na carga térmica para aquecimento.	63
Figura 23 – Influência das fenestrações na carga térmica para resfriamento. .	63
Figura 24 – Consumo energético anual na edificação contêiner.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ganho de calor por ocupantes em diferentes tipos e níveis de atividades.	22
Tabela 2 – Propriedades térmicas dos elementos construtivos do contêiner. .	45
Tabela 3 – Dados de entrada para simulação do telhado verde.	47
Tabela 4 – Perfil de ocupação da edificação contêiner.	48
Tabela 5 – Equipamentos elétricos da edificação contêiner.....	50
Tabela 6 – Perfil de utilização dos equipamentos elétricos em porcentagem. .	50
Tabela 7 – Alterações construtivas simuladas na edificação contêiner.....	51
Tabela 8 – Propriedades térmicas das modificações.	52
Tabela 9 – Carga térmica anual: comparação entre um contêiner bruto e a edificação contêiner em estudo.....	54
Tabela 10 – Máxima carga térmica para aquecimento e resfriamento.....	55
Tabela 11 – Capacidade do sistema de climatização do contêiner bruto e da edificação contêiner.	55
Tabela 12 – Influência de isolantes térmicos na carga térmica anual.	57
Tabela 13 – Influência da orientação solar na carga térmica anual.	59
Tabela 14 – Influência da cor da envoltória na carga térmica anual.	61
Tabela 15 – Influência das proteções solares na carga térmica anual.....	62
Tabela 16 – Influência das fenestraçãoes na carga térmica total.....	64
Tabela 17 - Síntese da análise térmica das estratégias construtivas.....	67

LISTRA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento e Ar Condicionado
AVAC	Aquecimento, ventilação e ar condicionado
CLTD/CLF/ SCL	Método da diferença de temperatura
COP	Coeficiente de Performance
CTF	Funções de transferência de condução
DOE	Departamento de Energia dos Estados Unidos da América
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ISO	Organização Internacional de Padronização
HBM	Método de balanço de calor
NBR	Norma Brasileira
RF	Fatores de resposta
RTSM	Método das séries temporais radiantes
TETD/TA	Método da diferença de temperatura total equivalente
TFM	Método da função de transferência
WF	Coeficientes de funções de transferência

LISTA DE SÍMBOLOS

Q	taxa de energia instantânea, W
U	coeficiente global de transferência de calor, W/m ² .K
A_{pf}	área total projetada de fenestração, m ²
t_{out}	temperatura do ar externo, °C
t_{in}	temperatura do ar interno, °C
$SHGV$	coeficiente de ganho de calor solar
E_t	irradiância total incidente, W/m ²
AL	infiltração de ar, m ³ /(s.m ²)
ρ	densidade do ar, kg/m ³
C_p	calor específico do ar, kJ/kg.K
q''_{ko}	fluxo de calor por condução na parede, W/m ²
$q''_{\alpha sol}$	fluxo de radiação solar direta e difusa absorvida, W/m ²
q''_{LWR}	fluxo de troca de calor por radiação entre o ar e o entorno,
W/m ²	
q''_{conv}	fluxo de troca de calor por convecção com o ar externo, W/m ²
q''_{LWX}	fluxo líquido de radiação entre as superfícies
internas da zona, W/m ²	
q''_{SW}	fluxo líquido de radiação das lâmpadas para as superfícies,
W/m ²	
q''_{LWS}	fluxo por radiação de ondas longas pelos equipamentos da
zona, W/m ²	
q''_{ki}	fluxo de condução através da parede, W/m ²
q''_{sol}	fluxo de radiação solar absorvida e transmitida na superfície,
W/m ²	
q''_{conv}	fluxo de calor convectivo para o ar interno, W/m ²
X_j	coeficiente externo CTF, j= 0,1,...nz
Y_i	coeficiente de transição CTF, j= 0,1,...nz
Z_j	coeficiente interno CTF, j= 0,1,...nz
Φ_j	coeficiente de fluxo CTF, j=1,2,...nq
T_i	temperatura da superfície interna
T_o	temperatura da superfície externa

q''_{ko}	fluxo de condução na superfície externa
q''_{ki}	fluxo de condução na superfície interna
x	vetor referente à variável de estado
u	vetor referente às informações de entrada
y	vetor referente às informações de saída
A, B, C e D	coeficientes matriciais
q_{θ}	taxa de calor condutivo horária para a superfície, W
A	área da superfície, m ²
Y_{pj}	fator de resposta para a superfície relativo à hora j
$t_{e,\theta-j\delta}$	temperatura SOL-AR, °C
t_{rc}	temperatura do ar do ambiente, °C
Q_{θ}	carga térmica para a hora atual, W
q_{θ}	taxa de ganho de calor por radiação na hora atual, W
$q_{\theta-n\delta}$	taxa de ganho de calor por radiação n horas antes, W
r_0, r_1, \dots, r_{23}	fatores de tempo radiante (RTFs)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	19
2.1	OBJETIVO GERAL	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3	REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1	CARGA TÉRMICA	20
3.2	GANHOS DE CALOR	21
3.2.1	Ganhos de calor interno	21
3.2.2	Ganhos de calor externo	23
3.3	CONFORTO TÉRMICO	28
3.4	MÉTODOS DE CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA	29
3.4.1	Método do balanço de calor (HBM)	31
3.4.2	Método das séries temporais radiantes (RTSM)	35
3.4.3	Programas atuais de simulação de cálculo de carga térmica	37
3.5	CONTÊINER	40
4	METODOLOGIA	42
4.1	EDIFICAÇÃO CONTÊINER	42
4.2	MODELAGEM 3D DA EDIFICAÇÃO	43
4.4	ELEMENTOS CONSTRUTIVOS	44
4.4.1	Brisas	45
4.4.2	Telhado verde	46
4.5	GANHOS DE CALOR	48
4.5.1	Perfil de ocupação	48
4.5.2	Iluminação	49
4.5.3	Equipamentos	49
4.5.4	Infiltração	50
4.6	CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO	51
4.7	MODIFICAÇÕES CONSTRUTIVAS	51
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
5.1	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO CONTÊINER BRUTO E COMO EDIFICAÇÃO	53
5.2	ANÁLISE TÉRMICA DAS ESTRATÉGIAS CONSTRUTIVAS	56
5.2.1	Influência do isolante térmico	56

5.2.2 Influência da orientação solar	58
5.2.3 Influência da cor da envoltória.....	59
5.2.4 Influência das proteções solares	61
5.2.5 Influência das fenestraçãoes	62
5.3 CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL	64
6 CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

O contêiner é um recipiente modular metálico normalizado pela International Organization for Standardization (ISO), sendo altamente resistente, o que possibilita uma ampla versatilidade na arquitetura e, além disso, proporciona uma grande redução de resíduos durante uma obra. Desta forma, a utilização de contêineres na construção civil tem se tornado cada vez mais frequente, e dentre diversas razões, destaca-se o caráter sustentável dessa técnica alternativa de construção, uma vez que reutiliza uma matéria-prima estrutural de alta qualidade (GUEDES; BUORO, 2015).

Entretanto, um dos grandes desafios do aproveitamento de contêineres na construção civil é garantir o conforto térmico, uma vez que o aço corten, seu principal constituinte, possui alta condutividade térmica. Carbonari e Barth (2016) constataram que, entre as principais dificuldades técnicas e construtivas, destaca-se a falta de conhecimento e experiência na realização de adequações de contêineres como edificação.

O uso de estratégias construtivas na construção civil para reduzir os impactos ao meio ambiente, aumentar o aproveitamento de recursos naturais e, conseqüentemente, melhorar a eficiência energética em edificações, tem sido cada vez mais aplicado por arquitetos e engenheiros. Entre tais estratégias pode-se citar o uso de iluminação e ventilação natural, proteções solares, isolantes térmicos, entre outros. Para avaliar o impacto da aplicação de elementos construtivos no comportamento termo-energético de edificações, usualmente avalia-se a carga térmica da edificação.

A carga térmica é definida como a quantidade de calor sensível e latente que deve ser removida/adicionada de um ambiente com a finalidade de proporcionar aos ocupantes condições de conforto térmico (LOPES, 2013). A carga térmica é influenciada tanto por fatores internos (ocupação, nível de atividades, equipamentos, entre outros) quanto por fatores externos (condições climáticas, incidência solar, edificações vizinhas, entre outros). Sua determinação é de grande complexidade, dado que os fatores que nela influenciam variam durante o dia e o ano.

Hoje em dia, têm-se disponíveis diversos métodos de cálculo de carga térmica e *softwares* baseados em tais métodos, resultado da evolução da pesquisa na área junto ao desenvolvimento tecnológico. Cada uma dessas metodologias apresenta um grau de detalhamento distinto e uma aplicação mais aconselhada (HERNANDEZ NETO; TRIBESS; VITTORINO, 1999). A ASHRAE recomenda o método do balanço de calor (HBM) e o método das séries temporais radiantes (RTSM) como os métodos mais modernos e confiáveis para análise termo-energética de edificações. O HBM é o método mais detalhado, trata com maior rigor as características físicas da edificação, enquanto o RTSM é uma simplificação do HBM (MCQUISTON; PARKER; SPITLER, 2005).

O *software EnergyPlus* é utilizado para simulação energética e de carga térmica de edificações e tem como metodologia básica o método de balanço de calor (HBM). Foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, a partir dos programas DOE-2 e BLAST. Seu público-alvo são profissionais que desejam dimensionar equipamentos de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), desenvolver estudos de *retrofit* em edificações, otimizar o desempenho energético, entre outros (ENERGYPLUS, 2016).

Diante do exposto, o presente projeto tem como objetivo analisar o comportamento termo-energético de uma edificação contêiner que será localizada em Araranguá/SC com o auxílio do *software EnergyPlus*. A edificação em estudo é o projeto da sede da associação alemã Técnica sem Fronteiras, cujo primeiro grupo regional no Brasil será localizado na Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Araranguá.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo geral determinar a carga térmica e também analisar o comportamento energético de uma edificação com auxílio do *software EnergyPlus*.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar os fundamentos teóricos de cálculo de carga térmica;
- Descrever alguns métodos e ferramentas utilizadas para a determinação de carga térmica de edificações;
- Modelar e simular a edificação contêiner com o *software EnergyPlus* para levantamento de dados termo-energéticos, como carga térmica e consumo energético;
- Avaliar a influência dos elementos construtivos no comportamento térmico da edificação, tais como o tipo de isolamento, o uso de proteções solares, entre outros;
- Dimensionar um sistema simplificado de climatização;
- Diagnosticar do consumo energético anual.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, serão abordados os temas mais relevantes para a compreensão deste Trabalho de Conclusão de Curso.

3.1 CARGA TÉRMICA

Segundo a ASHRAE (2013), a carga térmica pode ser definida como a quantidade de calor que deve ser retirada/adicionada do ambiente com o objetivo de proporcionar condições de conforto térmico. Sendo esta, influenciada por diversos fatores externos e internos, podendo citar: condições ambientais externas, características térmicas das estruturas, tipo de atividade, taxa de ocupação, equipamentos, entre outros.

Em contrapartida, o ganho de calor instantâneo é a taxa de energia que é transferida para o ambiente mais a taxa que é gerada em seu interior. Estes ganhos apenas se tornam carga térmica quando são transferidos por convecção para o ar. Assim, as trocas de calor por radiação que ocorrem para e no interior do ambiente, primeiramente aquecem ou resfriam as superfícies dentro do recinto, tais como piso, mobílias e paredes. Quando as temperaturas dessas superfícies são maiores do que a temperatura do ar, ocorre a transferência de calor por convecção para o ar, transformando esses ganhos em carga térmica com certo atraso de tempo (MCQUISTON; PARKER; SPITLER, 2005). As características térmicas de armazenamento das superfícies e objetos irão determinar as taxas em que a temperaturas destes aumentam com o incremento do ganho de calor radiante, e assim, posteriormente, a quantidade de calor que será transferido por convecção para o ambiente (ASHRAE, 2013).

Além do mais, a carga térmica de um ambiente é o somatório da quantidade de calor sensível e latente. O calor sensível é aquele diretamente adicionado ao ambiente por condução, convecção ou radiação, ou ainda, por estas formas simultaneamente. Desta forma, a carga de calor sensível é aquela a qual deve ser retirada para manter a temperatura ambiente em um valor constante pré-definido. Quando a umidade é inserida ao ambiente, como por exemplo, pelo vapor d'água liberado pelos ocupantes e equipamentos, deve-se

considerar a quantidade de energia associada à mudança de fase de líquido a vapor e vice-versa, isto é, o calor latente. Para manter uma relação de umidade constante, o vapor d'água deve ser condensado em uma taxa equivalente a taxa de adição deste ao ambiente. Desta forma, a quantidade de calor associada a esse processo é chamada de carga de calor latente (ASHRAE, 2013).

A conversão do ganho de calor sensível em carga térmica não é instantânea, uma vez que uma porcentagem desse ganho de calor está na forma de energia radiante, sendo transferida para ao ambiente posteriormente. Já o ganho de calor latente é, usualmente, considerado instantâneo (LOPES, 2013).

3.2 GANHOS DE CALOR

3.2.1 Ganhos de calor interno

Os ganhos de calor interno – pessoas, iluminação, motores, eletrodomésticos e equipamentos – são, em geral, um componente significativa da carga térmica em edificações modernas (ASHRAE, 2013).

Em seguida, será apresentado como cada um dos fatores internos influência no cálculo da carga térmica de uma construção.

3.2.1.1 Pessoas

O ganho de calor pela presença de pessoas em uma edificação apresenta dois componentes: o sensível e o latente. A porcentagem de cada componente irá influenciar em quão rápida a carga térmica será afetada pela presença de ocupantes. O ganho total e a proporção de cada componente variam de acordo com o tipo e nível da atividade exercida (MCQUISTON; PARKER; SPITLER, 2005). Na Tabela 1, encontra-se a relação de diferentes níveis de atividade com o ganho de calor promovido, assim como a proporção de calor sensível e latente.

Tabela 1 – Ganho de calor por ocupantes em diferentes tipos e níveis de atividades.

Tipo de Atividade	Localização	Calor Total, Btu/h		Calor Sensível, Btu/h	Calor Latente, Btu/h
		Homem Adulto	Ajustado ^a , H/M		
Sentado no teatro	Teatro, diurno	390	330	250	105
Sentado no teatro, noite	Teatro, noturno	390	350	245	105
Sentado, trabalho leve	Escritórios, hotéis, apartamentos	450	400	245	155
Trabalho no escritório moderadamente ativo	Escritórios, hotéis, apartamentos	475	450	250	200
Em pé, trabalho leve; andando	Loja de departamento; loja de varejo	550	450	250	200
Andando, em pé	Farmácia, banco	550	500	250	250
Trabalho sedentário	Restaurante	490	550	275	275
Trabalho de bancada leve	Fábrica	800	750	275	475
Dança moderada	Salão de dança	900	850	305	545
Caminhando a 4,83 km/h; trabalho em maquinário leve	Fábrica	1000	1000	375	625
Jogando boliche	Espaço para jogar boliche	1500	1450	580	870
Trabalho pesado	Fábrica	1500	1450	580	870
Trabalho pesado em maquinário; levantamento	Fábrica	1600	1600	635	965
Atletismo	Ginásio de esportes	2000	1800	710	1090

^a Ganho de calor ajustado é baseado na porcentagem normal de homens, mulheres e crianças para as atividades listadas, com o postulado de que o ganho de uma mulher adulta é 85% daquele para um homem adulto, e o ganho de uma criança é de 75% daquele para um homem adulto.

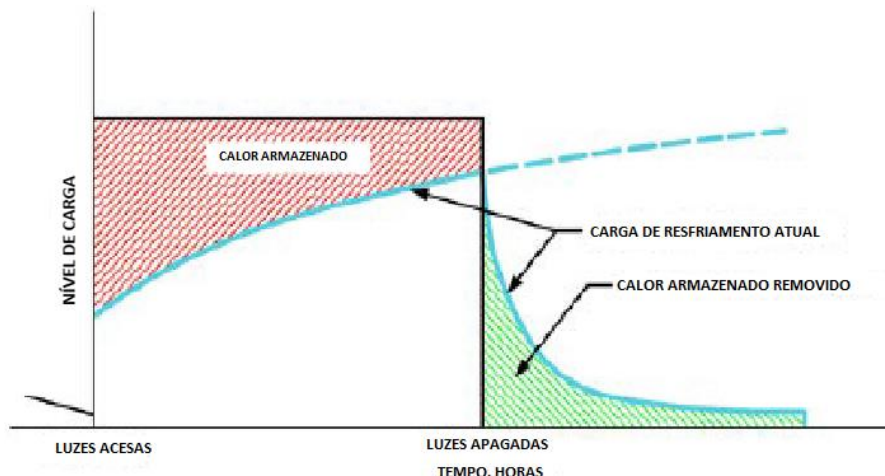
Fonte: (ASHRAE, 2013, adaptado pelo autor).

3.2.1.2 Iluminação

A iluminação tem um grande impacto na carga térmica de um ambiente, uma vez que costuma ser o componente interno com maior contribuição para esta. O modo como as lâmpadas são instaladas, o tipo de sistema de distribuição de ar e a massa da estrutura das luminárias irão influenciar no processo de troca de calor com o espaço (MCQUISTON; PARKER; SPITLER, 2005).

Somente uma parte da energia emitida pelas lâmpadas está na forma de calor convectivo, sendo assim instantaneamente transferida para a carga térmica. A fração restante está na forma de radiação, afetando o conforto térmico do ambiente apenas depois de ter sido absorvida e re lançada pelas paredes, pisos, móveis, etc. Esta energia absorvida contribui para o ganho de calor após um intervalo de tempo que é dependente das características térmicas do espaço interno, com alguma parte de tal energia ainda presente após a iluminação ter sido desligada (ASHRAE, 1997). Esta situação pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 1 – Efeito do armazenamento térmico na carga térmica devido à iluminação.



Fonte: (ASHRAE, 2013, traduzido pelo autor).

3.2.1.3. Equipamentos diversos

Para a determinação da carga térmica deve-se levar em consideração o ganho de calor de todos os tipos de equipamentos, sejam estes elétricos ou a gás. Em consequência da grande variedade de equipamentos, aplicações, usos e instalações, estimar o ganho de calor considerando a influência de cada equipamento pode ser altamente subjetivo (ASHRAE, 2013). Geralmente, a única informação sobre o comportamento térmico de um equipamento são os dados indicados pelo fabricante que, muitas vezes, pode superestimar o ganho de calor atual de muitos equipamentos (ASHRAE, 1997).

Metodologias para o cálculo da influência na carga térmica de diferentes equipamentos em diferentes aplicações, como equipamentos hospitalares e de escritórios, encontram-se na obra da ASHRAE (2013), Cap. 18 – *Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations*¹.

3.2.2 Ganhos de calor externo

3.2.2.1 Envoltória

Conforme a ASHRAE (2013, cap. 25, p. 1) “A envoltória de uma edificação fornece a separação física entre os ambientes internos e externos”. A envoltória

¹ Cap. 18 – Cálculos de carga de resfriamento e aquecimento não-residenciais.

exerce um papel fundamental nas condições térmicas de uma edificação, uma vez que atua como um mediador entre as condições climáticas externas e as condições internas. É uma fronteira dinâmica, que atua como um mecanismo de controle do fluxo de calor que entra ou sai do ambiente (BRADSHAW, 2006 apud SILVA, 2017).

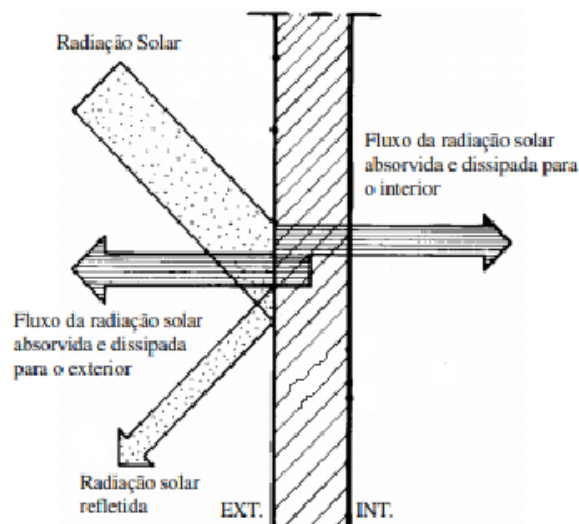
A envoltória é composta por estruturas opacas e fenestrações. O termo fenestração será apresentado na seção 3.2.2.2. As paredes e coberturas são as estruturas opacas, ou seja, são as estruturas que não transmitem a radiação incidente de forma direta, ao contrário das fenestrações. Uma vez que a envoltória atua como mediador das trocas térmicas entre o ambiente externo e interno, as propriedades termofísicas dos materiais das camadas que formam as estruturas opacas irão influenciar na transferência de calor por difusão. Além disso, estas propriedades determinam a quantidade de calor que é armazenada em seu interior, influenciando o fluxo de calor que é transferido para o ambiente interno, isto é, a inércia térmica da estrutura. A inércia térmica está associada ao nível de amortecimento e ao atraso do fluxo de calor através de uma estrutura, sendo influenciada pela densidade, a condutividade térmica e o calor específico do material (SILVA, 2017).

Uma elevação de temperatura na face externa da envoltória, resulta em um fluxo de calor em direção ao ambiente interno. Este fluxo de calor não atravessa a estrutura imediatamente, pois parte deste fluxo é armazenado na estrutura, aquecendo-a, e outra parte é devolvida para o ambiente externo. Devido ao efeito da inércia térmica, o calor que é armazenado na estrutura é transferido ao ambiente interno com um atraso, sendo este dependente das propriedades termofísicas do material. Quanto maior a inércia térmica, maior a quantidade de energia retida na estrutura (SILVA, 2017).

Os processos de transferência de calor que ocorrem com a incidência de radiação solar, seja ela direta ou difusa, na face externa de uma envoltória podem ser visualizados na Figura 2. Da radiação solar total incidente parte é absorvida pela envoltória e outra parte é refletida, a proporção que é absorvida ou refletiva irá depender da absorvância da superfície externa. Desta radiação absorvida, uma fração é dissipada para o meio externo e outra para o meio

externo por difusão. Sendo que, o fluxo de energia para o interior irá depender da inércia térmica da estrutura, como abordado anteriormente.

Figura 2 – Trocas de calor através de estruturas opacas.



Fonte: (FROTA; SCHIFFER, 2001, adaptada pelo autor).

Desta forma, nota-se que a orientação solar e a escolha dos materiais que irão compor a envoltória de uma edificação é de grande importância para a eficiência termo-energética desta. Carlo (2008) destaca que, entre as características da envoltória que podem influenciar a carga térmica de um edifício pode-se citar: as cores, propriedades térmicas de materiais e componentes, e a exposição ao ambiente externo (sombreamento, percentual da área de contato da superfície da edificação com o exterior, etc.). Fossati e Lamberts (2010) constataram que, em muitos casos, estudos e medidas simples podem implicar em uma redução significativa no consumo de energia de um edifício. A melhoria da eficiência energética da envoltória e a interação da edificação com o meio em que está inserida pode contribuir significativamente para a diminuição da carga térmica de uma edificação.

3.2.2.2 Fenestração e infiltração

Fenestração é um termo arquitetônico que se refere às estruturas de portas, janelas e claraboias. Estes componentes desempenham o papel de uma conexão física e/ou visual entre o meio interno e externo, tal como um meio de

entrada para a radiação solar e ventilação natural. Fenestração afeta o consumo de energia de uma edificação a partir de quatro mecanismos: transferência de calor, ganho de calor solar, infiltração de ar e iluminação natural (ASHRAE, 2013). As fenestrações aqui examinadas são constituídas por materiais transparentes ou translúcidos, ou seja, transmitem parte da radiação solar incidente de forma direta para o ambiente interno.

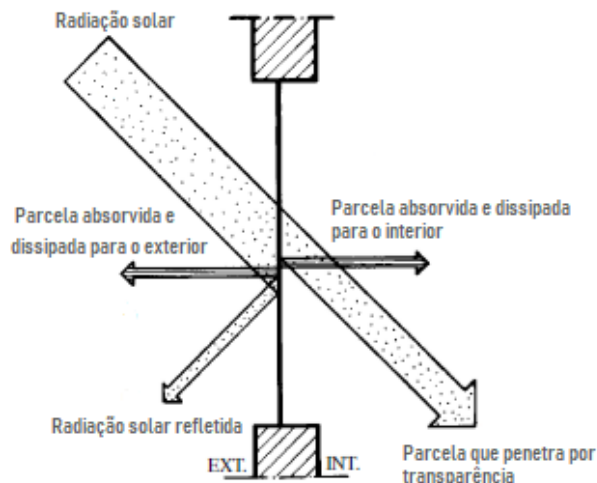
Conforme a NBR 16401 (ABNT, 2008), infiltração é o fluxo de ar externo para dentro de uma edificação através de frestas e outras aberturas não intencionais, e também, através do uso convencional de portas e janelas localizadas na fachada. Essa situação ocorre, normalmente, em consequência da incidência de ventos e de diferenças de pressão devido ao efeito chaminé. Quando não se mantém a infiltração sob controle, pode implicar em uma taxa adicional de ar exterior e, em consequência, um aumento/diminuição da carga térmica do sistema.

A vazão de ar devido à infiltração varia com a qualidade construtiva da edificação, com a direção e magnitude do vento, com a diferença das temperaturas internas e externas, com a pressão interna do edifício e com o uso de portas e janelas pelos ocupantes (ASHRAE, 2013). Uma vez que depende de diversas variáveis circunstanciais, é impossível prever com precisão as taxas de infiltração de um edifício. Métodos para estimar as vazões máximas de ar infiltrado podem ser obtidos no *ASHRAE Handbook of Fundamentals* (2013), Cap. 16 – *Ventilation and infiltration*².

Na Figura 3, observam-se os mecanismos de troca de calor pela incidência de radiação solar em uma fenestração, sendo esta sujeita a uma determinada diferença de temperatura entre o meio externo e interno. Da radiação solar incidente, seja direta ou difusa, parte é refletida e outra parte penetra no meio interno por transparência. A parcela de energia que penetra de forma direta irá depender da transmitância dos materiais da estrutura.

² Cap. 16 – Ventilação e infiltração.

Figura 3 – Trocas de calor através de fenestraçãoes transparentes ou translúcidas.



Fonte: (FROTA; SCHIFFER, 2001, adaptado pelo autor).

De acordo com a ASHRAE (2013), para estimar o ganho de calor pela presença de fenestraçãoes devem-se considerar os seguintes processos: a transferência de calor por convecção e condução devido a diferença de temperatura entre o ar externo e interno; trocas de calor por radiação entre as fenestraçãoes e seus arredores; radiação solar direta e difusa; e a infiltração de ar através das fenestraçãoes. Para simplificar, considera-se que as trocas por radiação são aproximadas assumindo que todas as superfícies radiantes (incluindo o céu) estão na mesma temperatura que o ar externo. Considerando todos os processos e a simplificação, a equação básica para o fluxo de energia de estado estacionário através de uma fenestração é:

$$Q = UA_{pf}(t_{out} - t_{in}) + (SHGC)A_{pf}E_t + (AL)A_{pf}\rho C_p(t_{out} - t_{in}) \quad (1)$$

onde:

Q : taxa de energia instantânea [W];

U : coeficiente global de transferência de calor [$W/m^2.K$];

A_{pf} : área total projetada de fenestração [m^2];

t_{out} : temperatura do ar externo [$^{\circ}C$];

t_{in} : temperatura do ar interno [$^{\circ}C$];

$SHGC$: coeficiente de ganho de calor solar;

E_t : irradiância total incidente [W/m^2];

AL : infiltração de ar [$\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$];

ρ : densidade do ar [kg/m^3];

C_p : calor específico do ar [$\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$];

O coeficiente de ganho de calor solar (SHGC) é a fração de radiação solar que entra através de uma janela, porta ou claraboia, que é transmitida diretamente e/ou absorvida e, posteriormente, liberada para dentro do ambiente aquecendo-o. O clima, orientação solar e sombreamento da edificação determinará o SHGC mais adequado para uma determinada abertura. Quanto menor o SHGC, menor o ganho de calor solar pelas aberturas solares e, conseqüentemente, menor impacto na carga térmica do ambiente (ENERGY SAVER, 2018).

Fenestraçãoes podem ser projetadas de tal forma a auxiliar na eficiência energética de uma edificação, devido à, principalmente, utilização passiva de recursos naturais. Entre tais medidas, pode-se citar: utilização de iluminação natural durante o dia, sombreamento das aberturas por brises e uso de películas refletoras para evitar a radiação solar direta, posicionamento das fenestraçãoes de forma a promover ventilação natural, entre outras.

3.3 CONFORTO TÉRMICO

De acordo com a ASHRAE (2010, p. 4)

O conforto térmico é aquela condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico. Como existem grandes variações, tanto fisiológica quanto psicológica, de pessoa para pessoa, é difícil satisfazer a todos em um mesmo espaço. As condições ambientais requeridas para o conforto não são as mesmas para todos.

Existem seis aspectos fundamentais que devem ser abordados quando deseja-se avaliar as condições de conforto térmico de um espaço, de acordo com a abordagem estática de Fanger. Entre as variáveis ambientais que influenciam diretamente no conforto térmico têm-se: a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), a temperatura radiante ($^{\circ}\text{C}$), a umidade relativa (%) e a velocidade do ar (m/s).

Além destas, deve-se considerar as variáveis individuais: nível de atividade e vestimenta (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

O nível de atividade está relacionado à quantidade de calor gerado pelo metabolismo. Quanto maior o nível atividade física, tanto maior será o calor. A análise da vestimenta utilizada pelos ocupantes é necessária devido à resistência oferecida às trocas de calor entre o corpo e o ambiente, através do isolamento térmico. Quanto maior a resistência térmica da roupa, menor serão as trocas de calor do corpo com o meio (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Para obter maiores detalhes sobre diferentes atividades e seus respectivos metabolismos, além de valores da resistência térmica de diferentes vestimentas, pode-se consultar à ISO 7730 (2005).

Outra abordagem de como avaliar o conforto térmico, conhecida como abordagem adaptativa, considera o homem como um agente ativo que interage com o ambiente em resposta às suas sensações e preferências térmicas. O modelo adaptativo foi proposto em 1979 por Michael Humphreys e considera além dos fatores físicos e psicológicos que interagem na percepção térmica. Entre os fatores analisados podem incluir características inerentes à demografia (gênero, idade, classe social), contexto (composição da edificação, estação, clima) e cognição (atitudes, preferências e expectativas) (LAMBERTS, 2016).

3.4 MÉTODOS DE CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

Atualmente, existem diversos métodos de cálculo da carga térmica e, em qualquer um deles, é necessário caracterizar o ambiente de forma criteriosa, para que a carga térmica total gerada seja representativa, de tal forma a levar em conta todas as peculiaridades da edificação analisada (GOMES, 2012).

De acordo com Lopes (2013), durante um dia inteiro a carga térmica de um recinto pode ter grandes variações em razão de diversos fatores: posição em relação ao sol, condições ambientes externas, equipamentos, ocupação, iluminação interna, infiltração, condução de calor pelas estruturas do prédio, entre outros. Sendo esse um cálculo de grande complexidade. Por consequência, existem métodos mais simples, que agilizam o processo de

cálculo, e outros mais detalhados, que demandam tempo e uma maior riqueza de dados do projetista.

A ASHRAE (2013) indica o método de balanço de calor (HBM) e o método das séries temporais radiantes (RTSM) como os métodos mais modernos e comprovados para o cálculo de carga térmica de edificações. O princípio básico dos dois métodos consiste em um balanço de energia para cada superfície contida no ambiente e um balanço de energia para o ar interno, o qual determina os ganhos de calor que realmente se tornam carga térmica. O HBM é o método mais detalhado, que trata com maior critério as características físicas da edificação analisada, enquanto o RTSM é uma aproximação simplificada do HBM (LOPES, 2013).

De acordo com Sousa (2013), as origens desses e de outros métodos, surge no ASHRAE – *Handbook of Fundamentals* de 1967, quando, pela primeira vez, é utilizado o método da diferença de temperatura total equivalente (TETD/TA). O TETD/TA calcula os ganhos de calor pela multiplicação do coeficiente global de transferência de calor por uma diferença de temperatura equivalente (TETD), que computa as variações de temperaturas e os efeitos de amortecimento e atraso térmico associados às características térmicas de envoltórias opacas. Já o fator TA é utilizado para converter os diversos ganhos de calor em carga térmica (THRELKELD, 1998, OH; HABERL, 2016 apud SILVA, 2017). No entanto, este método apresentava algumas limitações, uma vez que não abordava de forma rigorosa o fenômeno de inércia térmica e, conseqüentemente, o efeito transiente (MITALAS; STEPHESEN, 1967 apud SOUSA, 2013).

Em 1972, surge, no livro da ASHRAE, o método das funções de transferência (TFM), sendo neste incorporado o efeito da inércia térmica, e assim, atrasar o efeito do ganho de calor radiante na carga térmica (SOUSA, 2013). O TFM é um método que se divide em duas etapas: a primeira determina os ganhos de calor do ambiente e, a segunda, converte tais ganhos em carga térmica através dos coeficientes de funções de transferência (WR). Além disso, para calcular os ganhos de calor em paredes e coberturas, utilizam-se os fatores de resposta (RF) e as funções de transferência de condução (CTF) (THRELKELD, 1998, OH; HABERL, 2016 apud SILVA, 2017).

Seguidamente, em 1975, emergiu o método da diferença de temperatura (CLTD/CLF/SCL), sendo este bastante semelhante ao TETD/TA, porém com mais informações agregadas do TFM (SOUSA, 2013). O CLTD/CLF/SCL é um método de cálculo manual, que necessita de apenas uma etapa de cálculos. O fator CLTD (diferença de temperatura de carga de resfriamento) é utilizado para calcular a carga térmica a partir dos ganhos de calor das superfícies opacas e fenestrações. O fator de carga de resfriamento (CLF) é usado para calcular o efeito na carga térmica causado por iluminação artificial, ocupação e equipamentos. Já o fator de carga de aquecimento solar (SCL) determina a carga térmica resultante dos ganhos de calor por radiação solar (OH; HABERL, 2016 apud SILVA, 2017).

Entretanto, existia ainda uma insatisfação com os métodos disponíveis, uma vez que, o método TFM é de difícil compreensão e aplicação, e os métodos CLTD/CLF/SCL e TETD/TA produzem resultados limitados e exigem experiência por parte do utilizador (CARTAS, 2011 apud SOUSA, 2013). Diante disso, em 1996 a ASHRAE lança o método do balanço de calor (HBM) e o método das séries temporais radiantes (RTSM) com o objetivo de substituir os três métodos de cálculo anteriores (SOUSA, 2013).

Em seguida será apresentado maiores detalhes sobre os métodos RTSM e HBM.

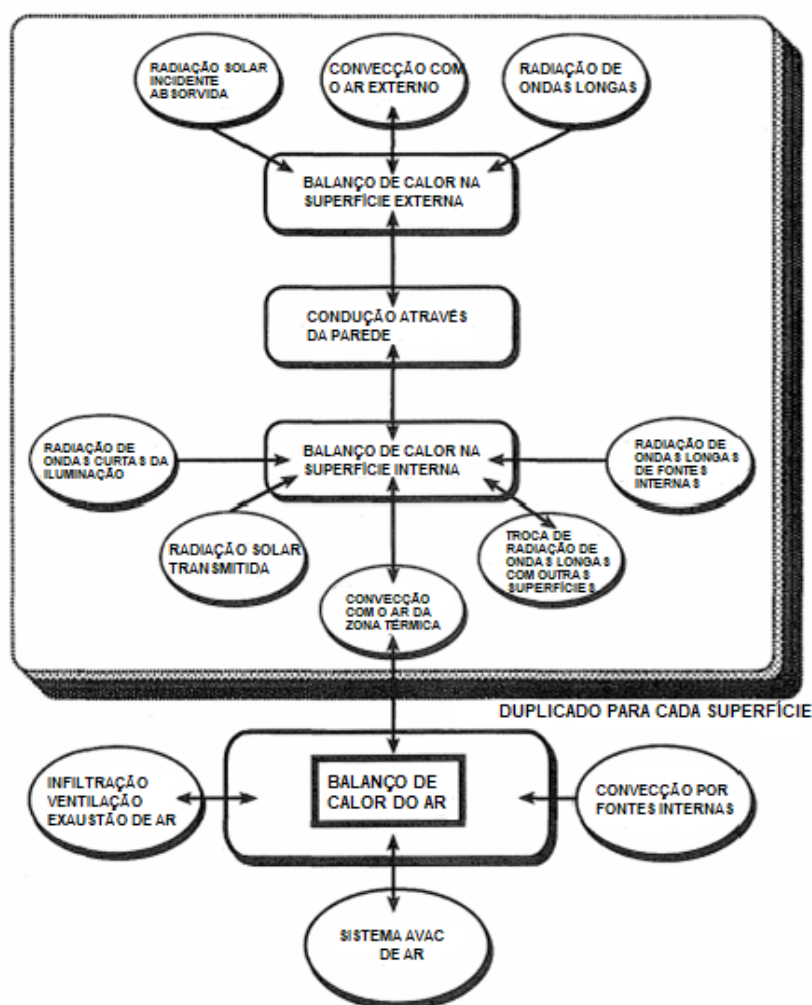
3.4.1 Método do balanço de calor (HBM)

O método de balanço de calor (HBM) Essas equações de balanço de energia são combinadas com equações de transferência de calor por condução transiente através das paredes e coberturas, e também com algoritmos ou dados das condições climáticas, como: temperatura externa do ar de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, radiação solar e assim por diante (MCQUISTON; PARKER; SPITLER, 2005). Este método determina a carga térmica de forma direta pela solução de quatro processos: balanço de energia na superfície externa, condução de calor no interior da parede, balanço de energia na superfície interna e balanço de energia para o ar interno (SILVA, 2017).

A metodologia do HBM foi apresentada por Pedersen, Fisher e Liesen (1997). Para a formulação, a suposição fundamental é adotar o ar como bastante agitado de tal forma que, a temperatura é uniforme em cada zona térmica do ambiente. Além disso, adota-se que as superfícies interiores de cada zona têm temperatura uniforme, as irradiações são uniformes nos comprimentos de ondas longas e curtas, as superfícies irradiam difusamente e a condução de calor no interior da zona é unidimensional.

Na Figura 4, visualiza-se o esquema do método HBM em uma zona.

Figura 4 – Esquema do método do balanço de calor (HBM) em uma zona térmica.



Fonte: (PEDERSEN; FISHER; LIESEN, 1997, traduzido pelo autor).

O balanço de calor na face externa de cada superfície pode ser modelado conforme a Equação 2. O componente de radiação solar de comprimento de onda curta, direta e difusa, é influenciado pela orientação geográfica da edificação, as propriedades dos materiais da envoltória e as condições

climáticas. A radiação de comprimento de onda longo é resultante das trocas de calor por radiação entre as superfícies de entorno da edificação e o céu (MCQUISTON; PARKER; SPITLER, 1997).

$$q''_{\alpha sol} + q''_{LWR} + q''_{conv} - q''_{ko} = 0 \quad (2)$$

onde:

q''_{ko} : fluxo de calor por condução na parede [W/m²];

$q''_{\alpha sol}$: fluxo de radiação solar direta e difusa absorvida [W/m²];

q''_{LWR} : fluxo de calor por radiação de onda longa entre o ar e o entorno [W/m²];

q''_{conv} : fluxo de troca de calor por convecção com o ar externo [W/m²].

Segundo Pedersen, Fisher e Liesen (1997), o balanço de calor envolvendo as faces internas das zonas térmicas é a parte fundamental do HBM. Tanto a radiação de ondas longas quanto de ondas curtas é importante, bem como a convecção interna e condução. O balanço de calor interno para cada superfície pode ser escrito do seguinte modo:

$$q''_{LWX} + q''_{SW} + q''_{LWS} + q''_{ki} + q''_{sol} + q''_{conv} = 0 \quad (3)$$

onde:

q''_{LWX} : fluxo líquido de radiação entre as superfícies internas da zona [W/m²];

q''_{SW} : fluxo líquido de radiação das lâmpadas para as superfícies [W/m²];

q''_{LWS} : fluxo radiante dos equipamentos da zona [W/m²];

q''_{ki} : fluxo de condução através da parede [W/m²];

q''_{sol} : fluxo de radiação solar absorvida e transmitida na superfície [W/m²];

q''_{conv} : fluxo de calor convectivo para o ar interno [W/m²].

O processo de condução de calor na parede desempenha um papel fundamental no procedimento geral do balanço de calor, uma vez que conecta os balanços de calor externos e internos. É o processo que regula a dependência da carga térmica com o tempo, uma vez que leva em consideração os efeitos da inércia térmica. O processo de condução da parede é modelado utilizando as funções de transferência de condução (CTF), as quais relacionam os fluxos de

calor condutivo às temperaturas da superfície atual e passada e também, aos fluxos de calor passados (PEDERSEN; FISHER; LIESEN, 1997). Estas equações formam um sistema de tal forma a determinar as temperaturas das faces internas e externas, sendo estas resolvidas a cada instante de tempo. As equações das temperaturas das faces são resolvidas simultaneamente para todas as envoltórias opacas ao longo de 24 horas, para finalmente calcular a carga térmica (SILVA, 2017). A fórmula básica para o cálculo de condução utilizando CTF é apresentada abaixo:

$$q''_{ki}(t) = -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ki,t-j\delta} \quad (4)$$

$$q''_{ko}(t) = -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ko,t-j\delta} \quad (5)$$

onde:

X_j : coeficiente externo CTF, $j= 0,1,\dots,nz$;

Y_i : coeficiente de transição CTF, $j= 0,1,\dots,nz$;

Z_j : coeficiente interno CTF, $j= 0,1,\dots,nz$;

Φ_j : coeficiente de fluxo CTF, $j=1,2,\dots,nq$;

T_i : temperatura da superfície interna;

T_o : temperatura da superfície externa;

q''_{ko} : fluxo de condução na superfície externa;

q''_{ki} : fluxo de condução na superfície interna.

Os dois limites de soma, nz e nq , dependem da construção da parede e também do método usado para calcular as CTFs. Os valores de nz e nq são geralmente determinados de forma a minimizar o cálculo computacional. As CTFs são uma série finita de coeficientes que representam os ganhos de calor nas faces da envoltória da edificação. Na obra da ASHRAE (2013), encontra-se a formulação completa das CTFs.

3.4.2 Método das séries temporais radiantes (RTSM)

O método das séries temporais radiantes (RTSM) baseia-se em uma série de fatores de resposta de 24 termos para calcular o ganho de calor condutivo através de estruturas opacas e, também, conta com uma série temporal radiante de 24 termos para converter o ganho radiante instantâneo em carga térmica (SPITLER; FISHER; PEDERSEN, 1997). O método é derivado do HBM, no entanto, foi desenvolvido com o intuito de ser um método confiável, mas que não necessite de cálculos iterativos como o HBM. Toda a metodologia deste método foi descrita na obra de Spittle, Fisher, Pedersen (1997).

Para a formulação do RTSM, não se utiliza os balanços de energia nas superfícies para contabilizar os efeitos de radiação e convecção, ao invés disso, o efeito desses processos é combinado e modelado pela temperatura SOL-AR. A temperatura SOL-AR é uma função da quantidade de radiação solar incidente na superfície e da cor da superfície, isto é, superfícies mais claras absorvem menor quantidade de radiação solar que superfícies mais escuras (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014).

Para tornar os cálculos sequenciais e não iterativos, assume-se as seguintes suposições: as variações das condições internas e externas são periódicas; a temperatura do ar interno é constante; os coeficientes de transferência de calor dos ambientes interno e externo são invariáveis e incluem as trocas de calor por convecção e radiação; a radiação solar direta incidente é distribuída apenas no piso, enquanto que as radiações de ondas longas e curtas no interior são distribuídas uniformemente em todas as superfícies do espaço (IU *et al.*, 2003, MCQUISTON, 2005, apud SILVA, 2017). Na Figura 5, mostra-se a sequência do método RTSM.

Neste método, os ganhos de calor por condução são calculados para cada tipo de parede e teto utilizando 24 fatores de respostas, referentes a cada hora do dia. Os fatores de resposta fornecem uma solução de séries temporal para o problema de transferência de calor por condução unidimensional e transitória (SPITLER; FISHER; PEDERSEN, 1997). Para qualquer hora do dia o ganho de calor condutivo para cada superfície é dado pela soma dos fatores de resposta

multiplicados pela diferença de temperatura na superfície, conforme a equação abaixo:

$$q_{\theta} = A \sum_{j=0}^{23} Y_{pj}(t_{e,\theta-j\delta} - t_{rc}) \quad (6)$$

onde:

q_{θ} : transferência de calor condutiva horário para a superfície [W];

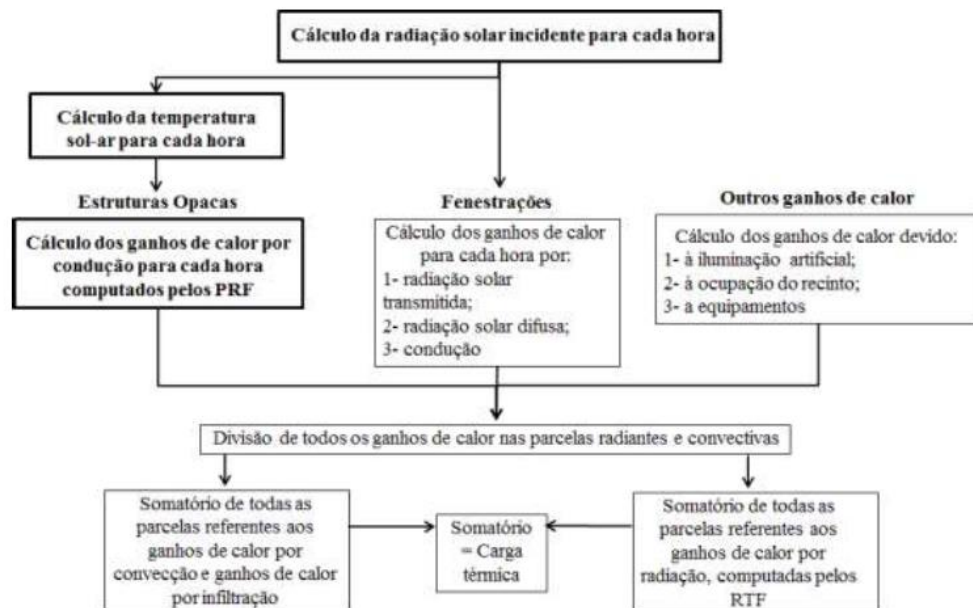
A : área da superfície [m²];

Y_{pj} : fator de resposta para a superfície relativo à hora j ;

$t_{e,\theta-j\delta}$: temperatura SOL-AR [°C];

t_{rc} : temperatura do ar do espaço, que se assume como constante [°C].

Figura 5 – Visão geral do Método das Séries Temporais Radiantes (RTSM)



Fonte: (SILVA, 2017 adaptado de ASHRAE, 2013).

A determinação dos ganhos internos de calor do ambiente deve ser feita de hora em hora. É necessário que tais ganhos sejam expressos em suas componentes radiativas e convectivas. A componente convectiva do ganho de calor é incorporada instantaneamente. Para a determinar os ganhos radiativos na carga térmica, aplica-se as séries de tempo radiante, de forma a tratar tais ganhos através de fatores ponderativos (MCQUISTON; PARKER; SPITLER,

2005). A série resultante representa a porção de energia radiativa convertida em carga térmica a ser transmitida ao espaço por convecção em cada hora:

$$Q_{\theta} = r_0 q_{\theta} + r_1 q_{\theta-\delta} + r_2 q_{\theta-2\delta} + r_3 q_{\theta-3\delta} + \dots + r_{23} q_{\theta-23\delta} \quad (7)$$

onde:

Q_{θ} : carga térmica para a hora atual [W];

q_{θ} : taxa de ganho de calor por radiação na hora atual [W];

$q_{\theta-n\delta}$: taxa de ganho de calor por radiação n horas antes [W];

r_0, r_1, \dots, r_{23} : fatores de tempo radiante (RTFs).

Os RTFs são únicos para cada tipo de zona, uma vez que dependem de diversos fatores como a geometria da zona, das construções presentes, massa térmica, objetos, ocupação, além da distribuição da radiação solar dentro do ambiente. Existem dois tipos diferentes de RTFs, um para a radiação solar e outro para a não-solar. Esta diferença é necessária devido a distribuição de cada tipo de radiação, a solar, normalmente é emitida pelas fenestraçãoes e a não-solar tende a ser distribuída por todas as superfícies das zonas (LOPES, 2013).

3.4.3 Programas atuais de simulação de cálculo de carga térmica

Atualmente, existem diversos *softwares* nacionais e internacionais disponíveis para o cálculo de carga térmica, avaliação das condições de conforto térmico e desempenho energético de edificações. A escolha da ferramenta computacional irá depender da aplicação e do profissional responsável pela análise termo-energética. O uso de *softwares* para simulação tem contribuído em muito na busca de soluções para esta área. Seja na escolha e dimensionamento de um sistema de condicionamento de ar eficiente; no projeto de proteções solares; na instalação de um sistema de cogeração ou até mesmo na análise do efeito da carga térmica no consumo final de energia elétrica de uma edificação.

O *software EnergyPlus*[®] tem como metodologia básica o HBM, com CTFs calculadas pelo método do espaço de estado. O programa TRNSYS também

utiliza o HBM. Os *softwares* DOE-2, eQUEST e HAP utilizam o método das funções de transferência (TFM). Enquanto que, o programa TRACE permite cálculos pelos métodos TETD/TA, CLTD/CLF/SCL, RTSM E TFM (SILVA, 2017).

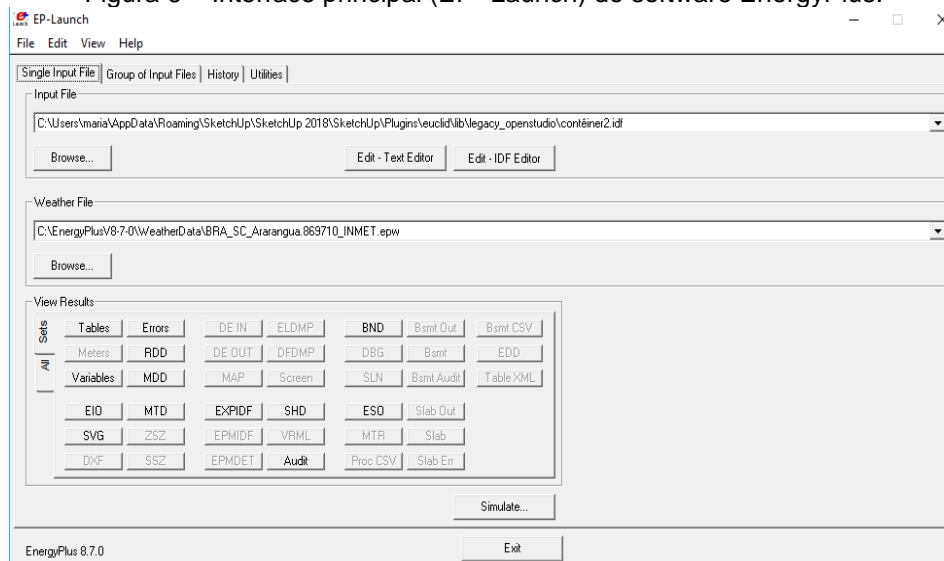
3.4.3.1 *EnergyPlus*

O *EnergyPlus* é um *software* desenvolvido para simulação de carga térmica e análise energética de edificações, que possibilita o detalhamento de sistemas de condicionamento de ar, luminotécnicos, elétricos e construtivos. Foi elaborado através da fusão dos programas DOE-2 e BLAST sob coordenação do Departamento de Energia dos Estados Unidos da América (DOE). É baseado na descrição pelo usuário das características físicas da construção e dos sistemas mecânicos e elétricos associados à edificação, permitindo calcular as cargas de refrigeração necessárias para manter as condições de conforto térmico, temperaturas superficiais internas e externas do edifício, o desempenho energético, bem como outras características (ENERGYPLUS, 2016).

A simulação no programa *EnergyPlus* é realizada através de uma interface principal (*EP-Launch*), onde tem acesso às interfaces de edição e aos resultados em diversos formatos (err, dxf, html, entre outros). A entrada de dados para a construção e modelagem da edificação são realizadas na interface de edição do programa (*Edit - IDF Editor*) ou através do editor de texto (*Edit – Text Editor*). A interface principal e de edição de dados podem ser visualizadas nas Figuras 6 e 7, respectivamente

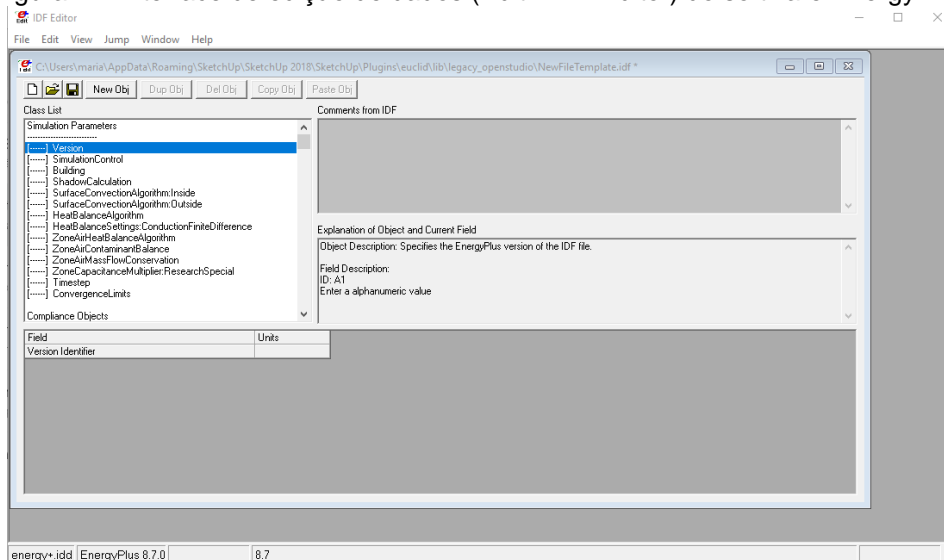
O *IDF Editor* é um editor que utiliza o dicionário de dados do EnergyPlus (IDD) e permite a criação/revisão de arquivos de entrada EnergyPlus (IDF) de uma forma razoavelmente simples. No arquivo .idf armazena-se todos os dados de entrada da edificação, através da adição de objetos em classes, tais como parâmetros de simulação, localização e clima, elementos de construção das superfícies, ganhos internos, entre outras. A quantidade de objetos em um arquivo IDF pode variar dependendo da complexidade da edificação modelada.

Figura 6 – Interface principal (EP- Launch) do software EnergyPlus.



Fonte: (do autor, 2018).

Figura 7 – Interface de edição de dados (Edit - IDF Editor) do software EnergyPlus.



Fonte: (do autor, 2018).

O método de cálculo de carga térmica utilizado pelo EnergyPlus é o método de balanço de calor (HBM) e, para o cálculo das CTFs o método do estado de espaço. Segundo Lopes (2013), o sistema do método do estado de espaço é definido pelas seguintes equações matriciais:

$$\frac{d[x]}{dt} = [A][x] + [B][u] \quad (8)$$

$$[y] = [C][x] + [D][u] \quad (9)$$

onde:

x : vetor referente à variável de estado, sendo neste caso a diferença finita de temperatura dos nós;

u : vetor referente às informações de entrada, sendo neste caso T_i e T_o que são as temperaturas interior e exterior;

y : vetor referente às informações de saída, sendo neste caso q''_i e q''_o que são os fluxos de calor interno e externo;

A, B, C e D : coeficientes matriciais, sendo neste caso responsáveis para obter as CTFs.

O uso da matriz permite que as temperaturas nodais (temperaturas dentro das superfícies) possam ser eliminadas para se chegar a uma equação matricial que entrando com os dados das temperaturas internas e externas, obtém os dados de saída (fluxos de calor). Logo, CTF é um método eficaz para calcular os fluxos de calor de superfície porque eliminam a necessidade de conhecer as temperaturas e os fluxos dentro da superfície (LOPES, 2013).

3.5 CONTÊINER

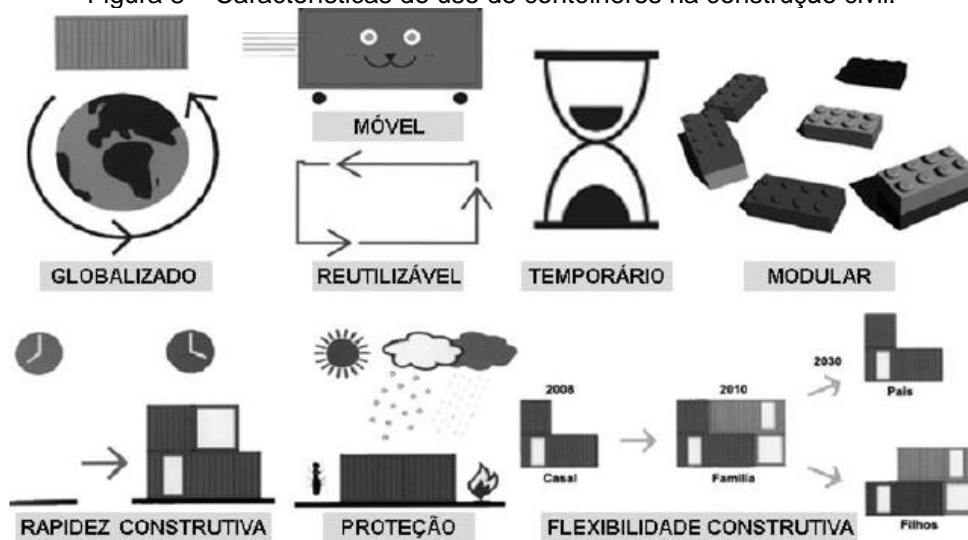
Os contêineres são recipientes metálicos amplamente utilizados no transporte marinho e terrestre, sua estrutura apresenta elevada resistência mecânica e grande durabilidade em razão de serem projetados para suportar condições climáticas extremas (CARBONARI, 2015). Segundo a World Shipping Council (2018), a frota mundial de contêineres alcançou 32.9 milhões em 2012. Entretanto, a vida útil do uso de contêineres para transporte de mercadorias é de apenas 10 a 15 anos. Após este período, acumulam-se em depósitos não operacionais nas regiões portuárias.

O uso de contêineres na construção civil surgiu como uma alternativa para a de destinação de milhares de contêineres sem utilização nos portos. Esta técnica sustentável de construção preserva recursos naturais, promove a reutilização de materiais de qualidade e reduz etapas construtivas (GUEDES; BOURO, 2015). Além disso, trazem versatilidade para construção de edifícios, dado que são pré-fabricados, modulares, facilmente combinados com outros contêineres, podem ser trasladados e instalados provisoriamente, além de serem resistentes às intempéries climáticas (CARBONARI, 2015). A Figura 8

ilustra as características da utilização de contêineres na construção. Os contêineres vêm sendo empregados de diversas formas na construção civil, desde edificações temporárias a permanentes, edifícios residenciais ou comerciais, depósito de materiais em canteiros de obra, vestiários, banheiros, entre outras aplicações (CALORY, 2015).

Contudo, um dos grandes desafios para a utilização de contêineres como edificação diz respeito ao seu desempenho térmico e, conseqüentemente, ao desempenho energético. Isso acontece devido à alta condutividade térmica do seu principal constituinte, o aço corten. Dessa forma, é necessário adequações construtivas em relação as características térmicas da estrutura, de forma a assegurar o conforto térmico dos ocupantes. Andreolli (2017) constatou que, contêineres com isolamento térmico apresentaram condições de conforto térmico satisfatórias de acordo com as normas de desempenho térmico, embora ainda possam ter melhores desempenhos com a implantação de outras alternativas construtivas como telhado verde, brises, ventilação natural, etc.

Figura 8 – Características do uso de contêineres na construção civil.



Fonte: (CARBONARI, 2015).

4 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada para a realização da simulação termo-energética da edificação contêiner no *software EnergyPlus*. Primeiramente, são mostradas as características inseridas na simulação do projeto original da edificação contêiner. Na seção 4.7, são apresentadas as alterações no projeto para avaliar o impacto de diferentes elementos construtivos na carga térmica da edificação.

4.1 EDIFICAÇÃO CONTÊINER

A edificação contêiner em estudo é o projeto da sede da associação Técnica sem Fronteiras Brasil (TsF), a qual será localizada na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Campus Araranguá. A associação Técnica sem Fronteiras é uma associação alemã cujo principal objetivo é promover a implementação de tecnologias de baixo custo, replicáveis e com impacto social positivo em regiões em desenvolvimento. As áreas de atuação são: água, energia, resíduos e educação. A associação foi fundada em 2010 por engenheiros alemães aposentados e, atualmente, existem 16 grupos regionais na Alemanha, 2 em Gana-África e 1 em Araranguá-Brasil (TECHNIK OHNE GRENZEN, 2017).

O projeto da edificação foi elaborado por estudantes da UFSC membros da TsF com o apoio de um escritório de arquitetura da região. Empregou-se estratégias construtivas (telhado e parede verde, brises horizontais e verticais, isolamento térmico, entre outros) com o objetivo de melhorar as características térmicas da edificação e, conseqüentemente, torná-la energeticamente mais eficiente.

O contêiner utilizado para o projeto é um *Standard* de 40 pés, com dimensões de 12,2 por 2,4 metros e altura de 2,6 metros. O projeto consiste em 2 ambientes: uma sala de reunião e uma sala de cursos. A divisão dos ambientes é feita apenas por um armário, não havendo uma parede dividindo o espaço. Na Figura 9, apresenta-se um desenho da fachada do projeto da edificação.

Figura 9 – Fachada da sede da associação Técnica sem Fronteiras Brasil.

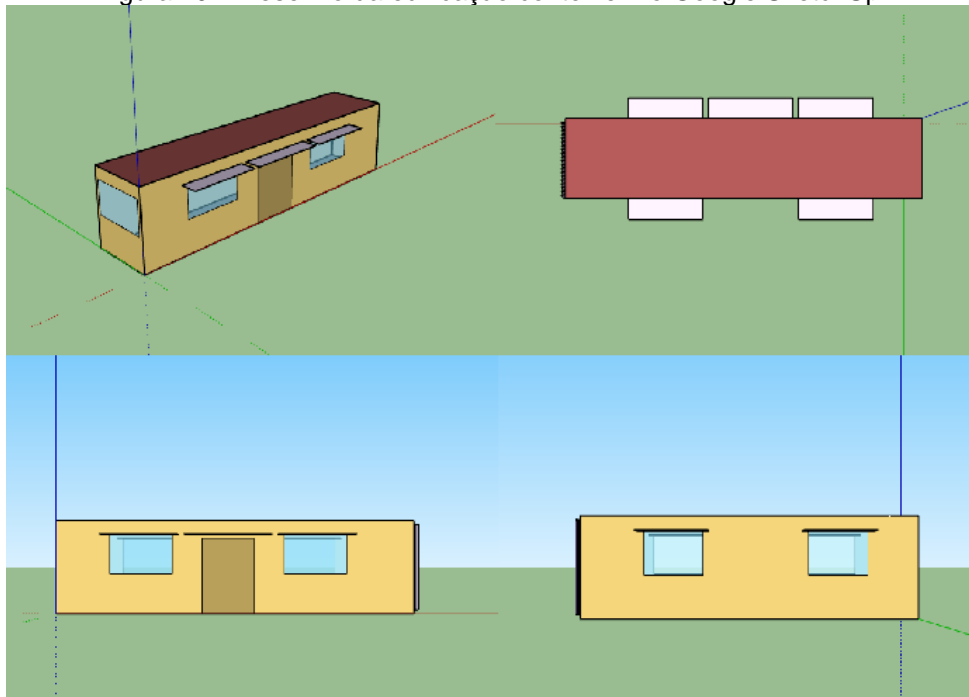


Fonte: (TÉCNICA SEM FRONTEIRAS BRASIL, 2018)

4.2 MODELAGEM 3D DA EDIFICAÇÃO

Para a modelagem tridimensional da edificação contêiner, utilizou-se o *software Google SketchUp 2018*. Através da extensão *Euclid*, o *EnergyPlus* consegue processar os elementos construtivos inseridos no *SketchUp*, criando um arquivo no formato *.idf*.

Figura 10 – Desenho da edificação contêiner no Google SketchUp.



Fonte: (do autor, 2018).

Inicialmente, modelou-se somente a envoltória, aberturas e proteções solares. Como não existe uma divisão física e tampouco uma grande diferença nas condições de conforto térmico entre os dois ambientes do contêiner, considerou-se apenas uma zona térmica. O desenho 3D no *SketchUp* da edificação pode ser visualizado na Figura 10.

Após a modelagem no software *SketchUp*, importou-se o arquivo *.idf* para o *EnergyPlus*, onde foram adicionadas as demais informações para a simulação.

4.3 CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Um dos parâmetros fundamentais para a simulação térmica são as condições climáticas. Na simulação com o *EnergyPlus*, tais dados devem estar incluídos em um arquivo EPW (*EnergyPlus Weather File*) da localização da edificação. No site oficial do *software*, é possível obter dados climáticos de diversas cidades do mundo.

O arquivo climático de cada cidade apresenta dados de temperatura, umidade, radiação solar, entre outros, ao longo de um ano inteiro. Estes valores correspondem à um Ano Meteorológico Típico (TMY, da sigla em inglês). Um TMY consiste na determinação estatística dos meses individuais de dados meteorológicos que melhor representam as condições meteorológicas de um local, tomando como base a climatologia de um período de 30 anos (LUIZ *et al.*, 2012).

Para o presente estudo, utilizou-se um arquivo *.epw* da cidade de Araranguá – Santa Catarina obtido no site do *EnergyPlus* ([2018]), cujos dados tem como fonte as estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para analisar o comportamento termo-energético da edificação optou-se por uma simulação anual, iniciando em 01/01 e com término em 31/12.

4.4 ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

Vale lembrar que, os dados aqui apresentados são os do projeto original da edificação contêiner, as modificações propostas para avaliar o efeito na carga

térmica serão apresentadas na seção 4.7. Para melhor adequação do contêiner como uma edificação, a equipe do escritório de arquitetura e membros do projeto optaram por utilizar nas paredes e no teto uma camada de lã de PET (isolante térmico) e uma camada de gesso cartonado (revestimento interno). Para o piso, escolheu-se apenas uma camada de piso laminado (*High Density Fiberboard - HDF*).

Nas aberturas, optaram por utilizar vidros duplos nas janelas e vidro simples na porta. Os vidros usados para a simulação possuem espessura de 6 milímetros e a câmara de ar de 8 milímetros.

As características físicas e térmicas dos elementos construtivos estão listadas na Tabela 2. As espessuras foram definidas de acordo com padrões estabelecidos por fabricantes.

Tabela 2 – Propriedades térmicas dos elementos construtivos do contêiner.

Material	Espessura	Condutividade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)	Referência
Aço	2 mm	55	7800	460	ABNT NBR 15220-2
Lã de PET	50 mm	0,034-0,039	15-60	1200	ASDRUBALI et. al, 2015
Gesso acartonado	13 mm	0,35	750-1000	840	ABNT NBR 15220-2
Piso laminado	8 mm	0,2	850	2300	ABNT NBR 15220-2
Vidro comum	6 mm	1,0	2500	840	ABNT NBR 15220-2

Fonte: (do autor, 2018).

As superfícies externas e internas do contêiner serão pintadas de branco de forma a diminuir a absorção à radiação solar. De acordo com a NBR 15220-2, a absorção à radiação solar de uma superfície branca é de 0,20.

4.4.1 Brises

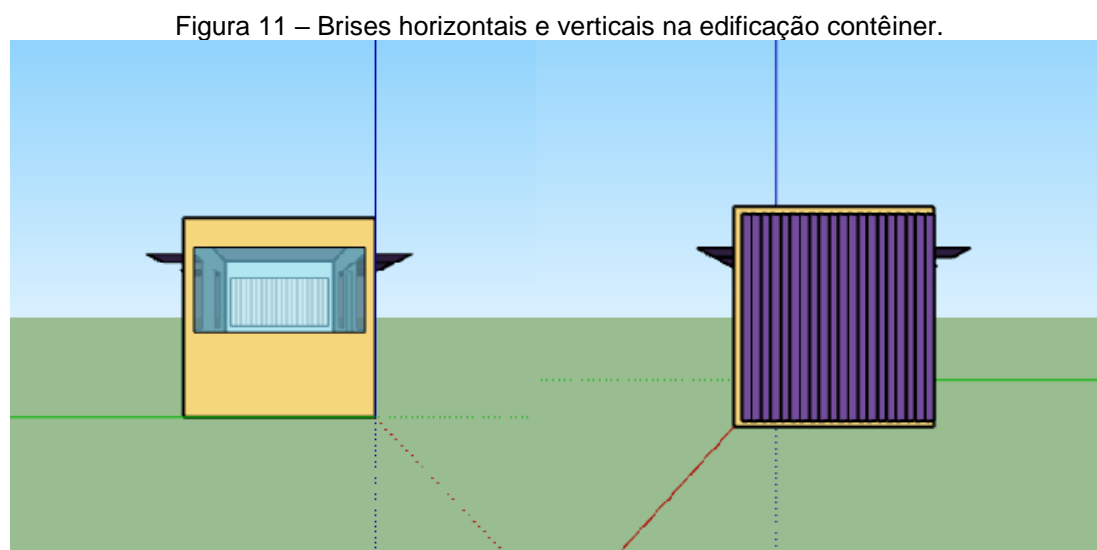
Os brises são elementos arquitetônicos utilizados para impedir a entrada de radiação solar direta no interior de ambientes, principalmente, por aberturas e assim evitar um aumento indesejável da carga térmica (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), as melhores orientações para as fachadas principais de uma edificação são Norte-Sul, devido ao melhor aproveitamento de iluminação natural e maior facilidade de sombreamento de

aberturas. As orientações Leste-Oeste recebem radiação solar direta com maior intensidade no verão e menor intensidade no inverno, dificultando o projeto de proteções solares.

Desta forma, a orientação das fachadas principais da edificação será Norte-Sul, com aplicação de brises horizontais fixos em todas as aberturas. Já nas fachadas laterais, apenas na fachada Oeste, optou-se por utilizar brises verticais fixos na janela, uma vez que o sol da tarde na fachada Oeste tem um impacto maior na carga térmica, devido ao efeito da inércia térmica.

A entrada de dados sobre os brises foi feita na primeira etapa, no desenho 3D no *Google SketchUp*. Na Figura 11, pode-se visualizar os brises horizontais nas fachadas principais (Norte-Sul) e os brises verticais na fachada Oeste.



Fonte: (do autor, 2018).

4.4.2 Telhado verde

Telhado verde é um elemento construtivo que além de auxiliar na drenagem pluvial do meio urbano, atua como um isolante termo e acústico. Conforme a espessura do substrato e tipo de vegetação, pode ser classificado como: intensivo, semi-intensivo e extensivo. Os sistemas extensivos são coberturas leves, projetadas para comportar plantas resistentes às situações climáticas severas. Já os telhados verdes intensivos, a profundidade do solo é mais significativa (15 cm a 90 cm), o que permite a utilização de plantas de maior

porte, podendo ser empregados arbustos e até mesmo árvores (TASSI et al., 2014).

Desta forma, no caso da edificação contêiner em estudo, o tipo de telhado verde empregado foi um extensivo, com espessura do solo de 15 cm. Além disso, foi preciso inserir diversos dados de entrada, conforme Tabela 3. Para maiores informações sobre cada parâmetro pode-se consultar o documento auxiliar do próprio *software: Input Output Reference*³ (ENERGYPLUS, 2016). Os valores utilizados foram os recomendados pelo documento.

Tabela 3 – Dados de entrada para simulação do telhado verde.

Altura das plantas	0,2 m
Área da folha projetada	1
Refletividade da folha	0,22
Emissividade da folha	0,95
Resistência estomática mínima	180 s/m
Condutividade do solo seco	0,35 W/m. K
Densidade do solo seco	1100 kg/m ³
Calor específico do solo	1200 J/kg. K
Absortância térmica	0,9
Absortância solar	0,7
Absortância visível	0,75
Teor volumétrico de saturação de umidade da camada do solo	0,3
Teor volumétrico residual de umidade da camada do solo	0,01
Teor volumétrico de umidade inicial da camada do solo	0,1

Fonte: (do autor, 2018).

Ademais, foi empregado um sistema de irrigação inteligente (*SmartSchedule*), o qual não permite que ocorra irrigação quando o solo já estiver úmido. Para isso, adotou-se uma umidade de saturação de 60%, ou seja, caso o percentual de água esteja maior ou igual a 60%, não irá irrigar o telhado.

Devido a aplicação de telhado vegetado, recomenda-se que o intervalo de tempo de simulação (*timestep*) mínimo seja 12 por hora, ou seja, de 5 em 5 minutos (ENERGYPLUS, 2016).

³ Referência de dados de entrada e saída.

4.5 GANHOS DE CALOR

O perfil de ocupação e a utilização da iluminação e equipamentos devem ser expressas em fração ao longo do dia em relação ao valor máximo. Devido à edificação ainda estar em fase de implantação, foi necessário fazer uma estimativa desse perfil.

4.5.1 Perfil de ocupação

A edificação contêiner será utilizada por alunos e professores membros da associação para reuniões, pesquisa e aplicação de cursos. Desta forma, estimou-se que a ocupação da edificação ocorrerá das 8:00 às 18:00 horas em dias úteis. A ocupação máxima definida foi de 10 pessoas. O perfil de ocupação em percentual pode ser visualizado na Tabela 4.

Além disso, considerou-se os feriados da cidade de Araranguá e o período de férias de verão e inverno da Universidade Federal de Santa Catarina, tendo como base o ano de 2018. O horário de verão também foi considerado, já que impacta na utilização de energia elétrica da edificação.

Tabela 4 – Perfil de ocupação da edificação contêiner.

Horário	Percentual de ocupação (%)
0h – 7h	0
8h	30
9h	50
10h – 11h	100
12h	50
13h	30
14h – 16h	40
17h – 18h	30
19h – 0h	0

Fonte: (do autor, 2018).

O tipo de atividade considerada foi atividade de escritório, cuja taxa de ganho de calor é de 120 kcal/h por indivíduo (ABNT,1980). A fração de calor radiante adotada foi de 0,3, que é o valor padrão sugerido pelo *software*, já a fração de calor sensível foi auto calculada.

A resistência térmica da roupa também é de grande importância na sensação de conforto térmico dos ocupantes. A variável de medida é o “clo”, do inglês *clothing*, sendo que 1 clo equivale à resistência térmica de um terno completo e representa uma resistência térmica de 0,155 m².°C/W. Para a simulação, se utilizou uma resistência térmica de 1 clo para outono e inverno e 0,5 clo para primavera e verão, conforme Águas (2001).

4.5.2 Iluminação

Como a utilização da edificação será apenas em horário comercial, não foi considerado o uso de iluminação interna e artificial no período noturno. Além disso, para simplificar, foi considerado que a iluminação natural seria o suficiente para atender a demanda de iluminação durante o horário de uso da edificação em todos os dias do ano.

Em relação a iluminação externa, considerou-se 2 lâmpadas de LED de 40 W, totalizando 80W. Além disso, a iluminação externa seria utilizada todos os dias das 18 às 5 horas.

4.5.3 Equipamentos

Para estimar a potência total de equipamentos elétricos, foram selecionados equipamentos frequentemente usados em ambientes acadêmicos. Na Tabela 5 pode-se verificar a potência e quantidade de cada equipamento, obtendo-se uma potência total de 1425 Watts.

Na Tabela 6 mostra-se o perfil de utilização destes equipamentos em porcentagem. O único equipamento que fica constantemente ligado, inclusive nos finais de semanas e feriados, é o roteador cuja potência é 10W, representando 0,71% da potência total instalada.

Tabela 5 – Equipamentos elétricos da edificação contêiner.

Quantidade	Equipamento	Potência (W)
1	Cafeteira	600
1	Projektor	280
4	Computador Desktop	100
1	Roteador	10
1	Impressora	15
4	Notebook	30
Total		1425 W

Fonte: (do autor, 2018).

Tabela 6 – Perfil de utilização dos equipamentos elétricos em porcentagem.

Horário	Equipamentos (%)
0h – 7h	0,71
8h – 9h	44,91
9h – 10h	9,82
10h – 11h	77,89
11h – 12h	35,79
12h – 13h	2,81
13h – 14h	3,86
14h – 15h	47,02
15h – 16h	4,91
16h – 17h	47,02
17h – 18h	4,91
18h – 0h	0,71

Fonte: (do autor, 2018).

4.5.4 Infiltração

Para contabilizar a influência da infiltração na carga térmica, foi considerado uma taxa de 1,5 de troca de ar por hora, ou seja, todo o volume de ar zona é trocado uma vez e meia a cada hora (ABNT,1980). Para obter a vazão de ar nominal correspondente, calculou-se o volume correspondente da edificação e dividiu por 3600 segundos, equivalente a 1 hora. Foi obtida uma vazão de 0,0321 m³/s.

Além de determinar a vazão de ar nominal, foi preciso definir o período em que esta vazão de ar está ocorrendo. Para simplificar, considerou-se que o processo de infiltração de ar ocorre em todas as horas do ano com a vazão nominal determinada.

4.6 CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO

Com o objetivo de estudar a performance da edificação contêiner sem ter que modelar um sistema de AVAC, foi utilizado um recurso do EnergyPlus que se chama *ZoneHVAC:IdealLoadsAirSystem*. Este recurso é usado para determinar a carga térmica de edificações, a partir de um sistema ideal de ar condicionado, ou seja, sem considerar as perdas inevitáveis de sistemas reais de condicionamento ambiental.

Para o uso desse recurso, foi necessário a determinação das condições de conforto térmico. Neste recurso não é considerada condições de umidade relativa, apenas de temperatura. Foi adotada a temperatura constante de 24°C ao longo de todo o ano. Sendo assim, quando a temperatura interna da edificação for maior que 24°C, é calculada a carga térmica necessária para aquecimento do ambiente e, quando a temperatura for inferior a 24°C, é calculada a carga térmica para aquecimento.

4.7 MODIFICAÇÕES CONSTRUTIVAS

Para avaliar o impacto no comportamento termo-energético dos elementos construtivos implementados no projeto da edificação contêiner, foram simuladas variações destes, conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Alterações construtivas simuladas na edificação contêiner.

	Simulação	Alteração
Contêiner original	1	-
Lã de Rocha	2	Trocou o isolante para Lã de Rocha
Lã de Vidro	3	Trocou o isolante para Lã de Vidro
Sem isolamento	4	Retirou o isolante
Orientação L-O	5	Orientou as fachadas principais para Oeste e Leste
Cor Vermelha	6	Alterou a pintura externa para vermelho
Cor Preta	7	Alterou a pintura externa para preto
Sem brises	8	Retirou os brises
Câmara de ar de 16mm	9	Manteve o vidro duplo, porém com câmara de ar de 16 mm
Vidro simples	10	Colocou vidro simples
Contêiner bruto	11	Retirou todas as modificações construtivas

Fonte: (do autor, 2018).

As simulações foram realizadas apenas alterando o elemento construtivo, os demais dados de entrada foram conservados.

As propriedades térmicas das modificações aplicadas nas novas simulações encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 – Propriedades térmicas das modificações.

Modificação	Propriedade
Lã de Rocha	Densidade: 20 -200 kg/m ³ ; Condutividade: 0,045 W/m.K; Calor específico: 750 J/kg.K
Lã de Vidro	Densidade: 10 -100 kg/m ³ ; Condutividade: 0,045 W/m.K; Calor específico: 700 J/kg.K
Cor vermelha	Absortância: 0,74
Cor preta	Absortância: 0,97

Fonte: (do autor, 2018).

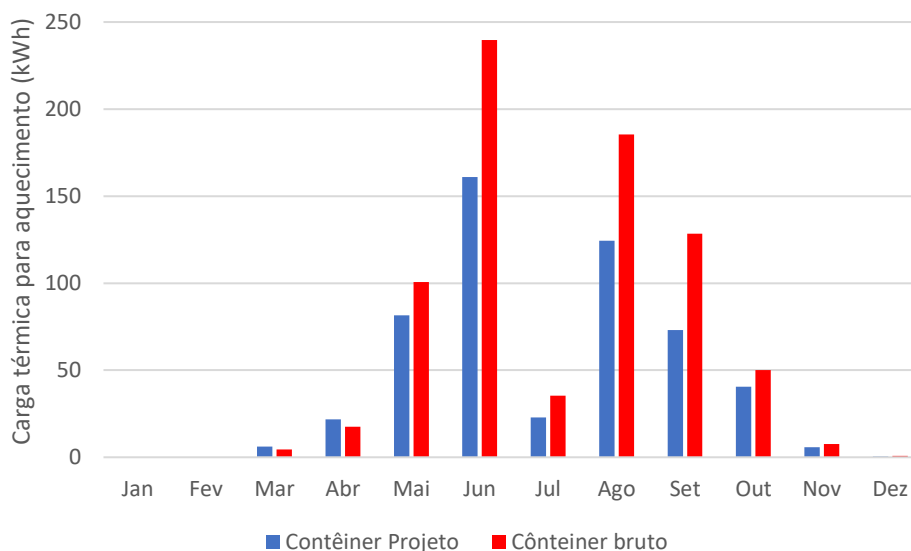
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os principais resultados alcançados com base na simulação com o *software EnergyPlus*. Primeiramente, é apresentada uma comparação entre um contêiner bruto e a edificação contêiner conforme projetada originalmente. Em seguida, mostra-se a influência dos diferentes aspectos construtivos. As análises realizadas foram feitas baseadas na carga térmica para aquecimento e para resfriamento.

5.1 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO CONTÊNER BRUTO E COMO EDIFICAÇÃO

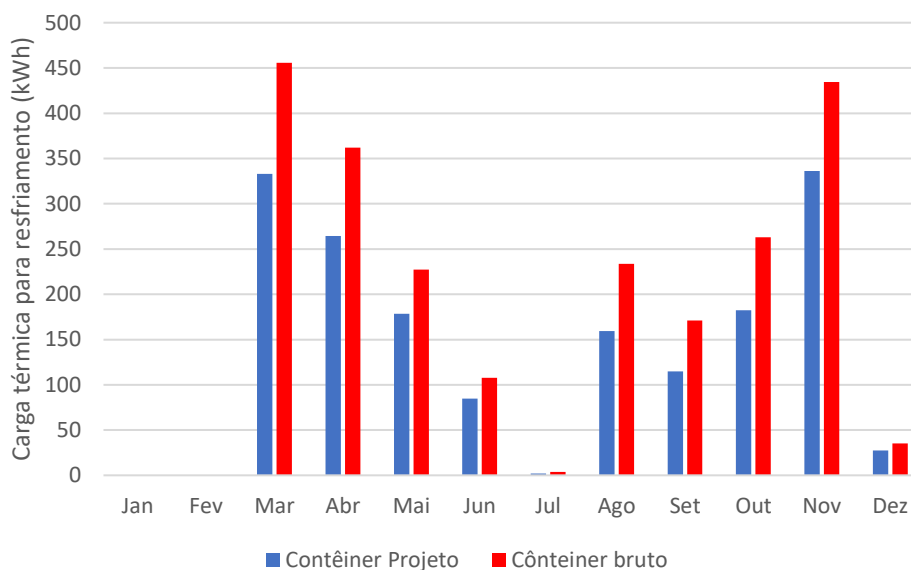
Com base no perfil de carga térmica tanto para aquecimento quanto para resfriamento (Figuras 12 e 13) pode-se concluir que a aplicação das estratégias construtivas para melhorar o comportamento térmico do projeto da edificação contêiner é eficaz em ambas as condições, principalmente nos meses com maior demanda.

Figura 12 – Carga térmica para aquecimento: comparação entre um contêiner bruto e a edificação contêiner em estudo.



Fonte: (do autor, 2018).

Figura 13 – Carga térmica para resfriamento: comparação entre um contêiner bruto e a edificação contêiner em estudo.



Fonte: (do autor, 2018).

Na Tabela 9, encontra-se a carga térmica anual para aquecimento e resfriamento de ambos os cenários. Confirma-se que a aplicação das estratégias auxiliaria no desempenho térmico da edificação nos meses com altas e baixas temperaturas, sendo responsável por uma redução de 30% na carga térmica para aquecimento e 27% na carga térmica para resfriamento em relação a um contêiner bruto, o que equivale a 233 kWh e 612 kWh, respectivamente.

Tabela 9 – Carga térmica anual: comparação entre um contêiner bruto e a edificação contêiner em estudo.

Carga térmica anual	Contêiner Projeto (kWh)	Contêiner Bruto (kWh)	Diferença
Aquecimento	537,55	770,32	30%
Resfriamento	1682,65	2294,21	27%

Fonte: (do autor, 2018).

5.1.1.1 Dimensionamento do sistema de climatização

Como o foco desse trabalho não foi o dimensionamento de um sistema de climatização, foi feito um cálculo considerando-se a carga térmica máxima horária anual para aquecimento e resfriamento do contêiner bruto e do projeto. Para simplificar, considerou-se que Coeficiente de Desempenho (COP) de aquecimento e resfriamento é constante para todo o ano.

Na Tabela 10 pode ser visualizado os valores máximos obtidos, em btu/h, da carga térmica para aquecimento e resfriamento. Os valores em btu foram obtidos multiplicando-se as cargas térmicas em kWh por 3412,14.

Tabela 10 – Máxima carga térmica para aquecimento e resfriamento.

Condição	Máxima carga para aquecimento btu/h	Máxima carga para resfriamento btu/h
Contêiner projeto	18701,9	14395,9
Contêiner bruto	16783,5	21930,1

Fonte: (do autor, 2018).

Nota-se que, apesar de em um cenário anual o contêiner bruto apresentar maior carga térmica para aquecimento, o maior pico obtido de carga térmica para aquecimento foi no contêiner modificado com 18701,9 btu/h, uma diferença de 1917,5 btu/h com o bruto. Entretanto, no cenário de demanda de carga térmica para resfriamento, como esperado, o contêiner bruto apresentou o maior pico, no valor de 21930,1 btu/h, uma diferença de 7534,2 btu/h com a edificação contêiner.

O sistema de climatização dimensionado deve ter capacidade para atender o pior cenário de demanda de aquecimento e resfriamento. Além disso, considerou-se um fator de ajuste de, aproximadamente, 20% para garantir o atendimento da demanda térmica em situações excepcionais. Foram considerados, para cada caso, dois equipamentos para evitar a dependência em apenas uma máquina. Na Tabela 11 é apresentado o sistema de climatização calculado para ambos os casos. Se obteve uma diferença de capacidade climatização de 6000 btu/h entre o contêiner bruto e a edificação contêiner.

Tabela 11 – Capacidade do sistema de climatização do contêiner bruto e da edificação contêiner.

Condição	Capacidade do sistema de climatização
Contêiner projeto	21000 btu/h (9000 btu/h + 12 000 btu/h)
Contêiner bruto	27000 btu/h (12000 btu/h + 15000 btu/h)

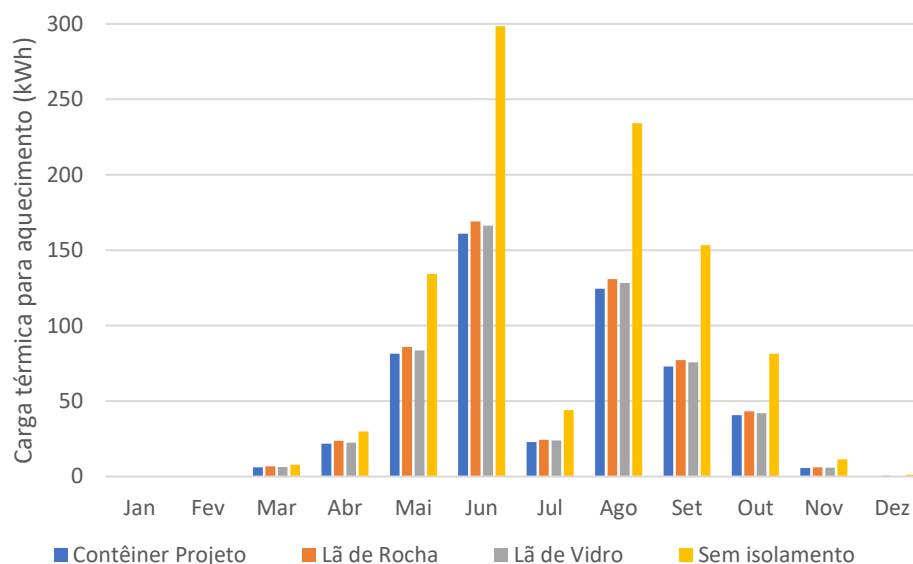
Fonte: (do autor, 2018).

5.2 ANÁLISE TÉRMICA DAS ESTRATÉGIAS CONSTRUTIVAS

5.2.1 Influência do isolante térmico

Em relação ao uso de isolantes térmicos, verifica-se que a maior interferência ocorre na carga térmica para aquecimento, como pode ser observado na Figura 14. Nota-se que, principalmente nos meses mais frios, o uso de isolamento proporcionou um maior amortecimento térmico em relação as condições externas, dificultando as perdas de calor para o ambiente, o que auxilia na manutenção das temperaturas internas.

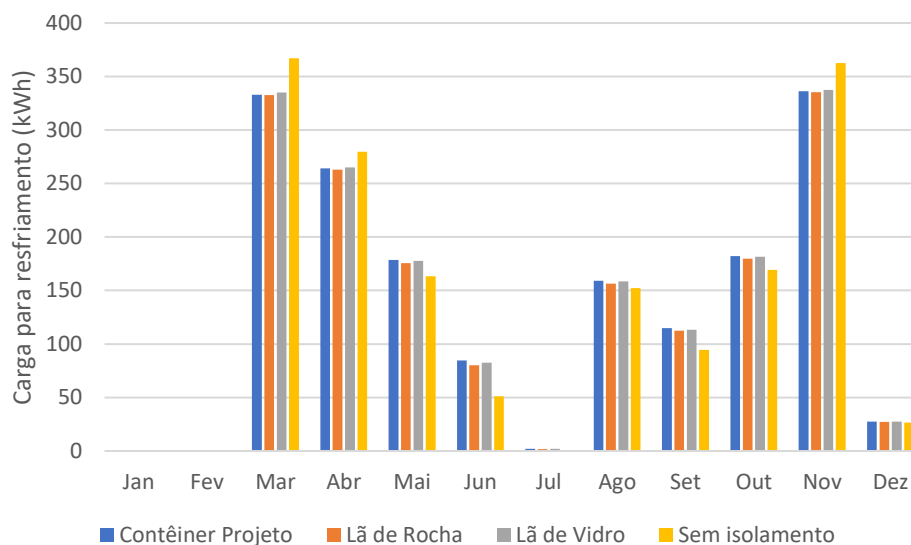
Figura 14 – Influência do isolante térmico na carga térmica para aquecimento.



Fonte: (do autor, 2018).

Acerca da carga térmica para resfriamento (Figura 15), verifica-se um perfil de demanda de carga térmica semelhante tanto para as condições com aplicação de isolantes térmicos quanto sem isolamento, principalmente nos meses mais frios. Nos meses com maiores temperaturas, nota-se uma demanda levemente superior na simulação sem isolamento.

Figura 15 – Influência do isolante térmico na carga térmica para resfriamento.



Fonte: (do autor, 2018).

O resultado da carga térmica anual para cada simulação pode ser verificado na Tabela 12. Vale ressaltar que todas as diferenças são calculadas em relação ao projeto original, com uso de lã de PET. Confirma-se que o maior impacto do uso de isolamento é na carga térmica para aquecimento, uma diferença de 85% entre o projeto em estudo e o contêiner sem isolamento. Já no cenário de carga térmica para resfriamento, o contêiner sem isolamento apresentou uma carga térmica 1% inferior que a do projeto original.

Tabela 12 – Influência de isolantes térmicos na carga térmica anual.

Simulação	Carga térmica		Carga	
	para aquecimento (kWh)	Diferença aquecimento	térmica para resfriamento (kWh)	Diferença resfriamento
Contêiner projeto	537,55	–	1682,65	–
Contêiner com Lã de Rocha	567,27	6%	1664,55	-1%
Contêiner com Lã de Vidro	554,85	3%	1680,74	0%
Contêiner sem Isolamento	995,78	85%	1666,5	-1%

Fonte: (do autor, 2018).

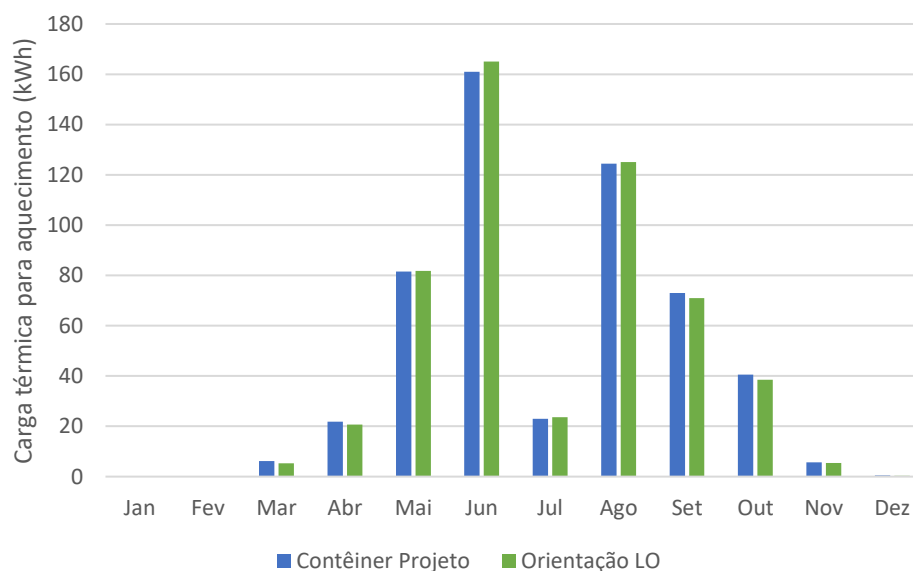
Outro aspecto importante que se pode concluir é que os tipos de isolantes térmicos não mostraram uma diferença significativa na carga térmica de aquecimento e resfriamento da edificação, mesmo para a lã de PET, que possui uma condutividade térmica menor que a lã de Rocha e lã de Vidro. O comportamento térmico da edificação com cada um dos três tipos de isolantes

se apresentou bastante semelhante durante todo o ano, ou seja, a escolha entre um deles, em relação ao desempenho térmico, é arbitrária. No entanto, outros fatores devem ser considerados como sustentabilidade, durabilidade, inflamabilidade, custo, entre outros.

5.2.2 Influência da orientação solar

Com relação à influência da orientação solar da fachada principal da edificação contêiner, pode-se verificar que o perfil da carga térmica para aquecimento mostrou-se bastante similar durante o ano (Figura 16).

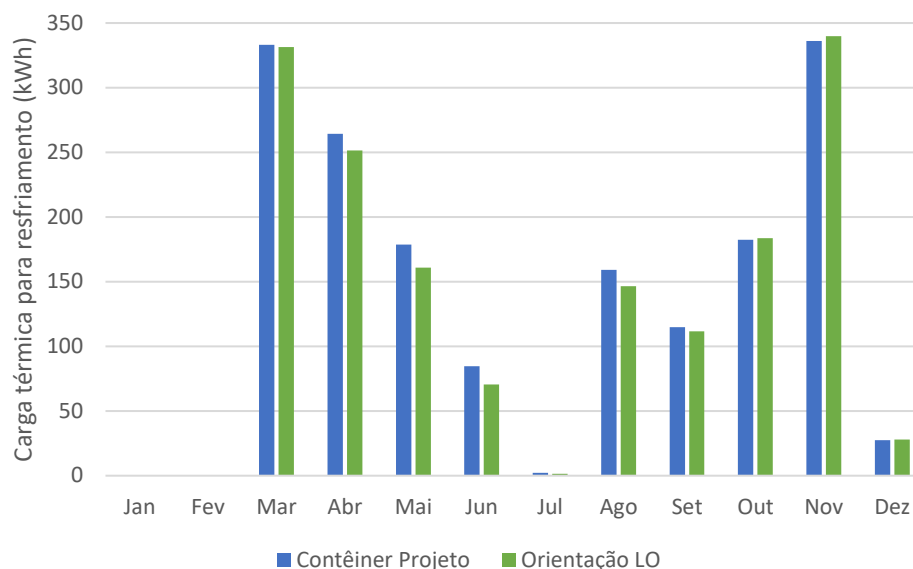
Figura 16 – Influência da orientação solar na carga térmica para aquecimento.



Fonte: (do autor, 2018).

Já em relação a carga térmica para resfriamento (Figura 17), obteve-se uma demanda ligeiramente maior quando o contêiner está orientado Norte-Sul, nos meses de abril, maio, junho e agosto. Isso ocorre devido à menor incidência de radiação solar direta nas fachadas Leste-Oeste durante o inverno, o que reflete diretamente na carga térmica da edificação.

Figura 17 – Influência da orientação solar na carga térmica para resfriamento.



Fonte: (do autor, 2018).

Com base na carga térmica anual para aquecimento e resfriamento das duas orientações (Tabela 13), certifica-se que a orientação solar não influencia expressivamente na carga térmica da edificação. Existe uma pequena diferença de 4% na carga térmica para resfriamento a favor da orientação Leste-Oeste, como foi visualizado na figura acima.

Tabela 13 – Influência da orientação solar na carga térmica anual.

Carga térmica anual	Contêiner Projeto (kWh)	Contêiner L-O (kWh)	Diferença
Aquecimento	537,55	536,89	0%
Resfriamento	1682,65	1625,3	-3%

Fonte: (do autor, 2018).

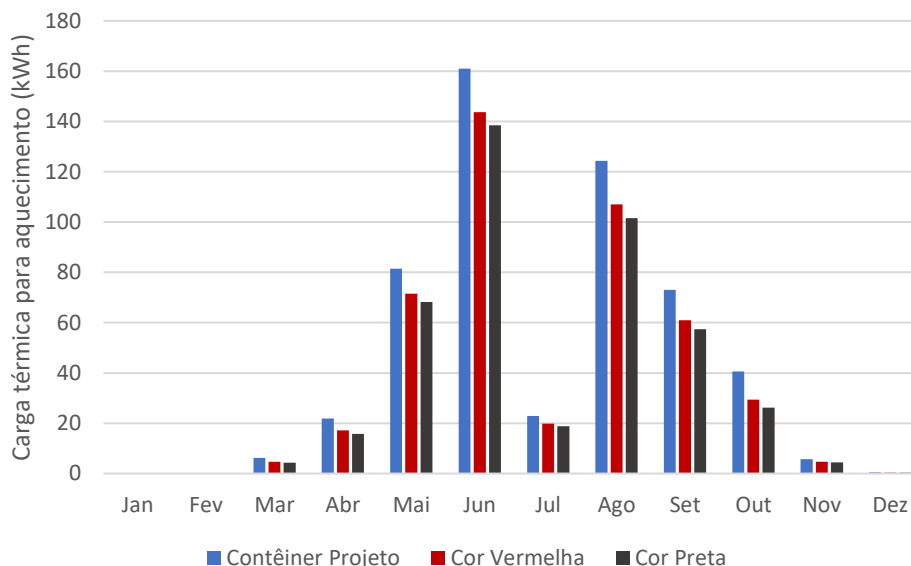
5.2.3 Influência da cor da envoltória

Analisando-se a influência da cor da envoltória na carga térmica do projeto da edificação contêiner, notou-se uma diferença evidente entre as cores branca, vermelha e preta. Na Figura 18, pode-se observar que quanto mais clara a cor, menor a absorvância de radiação, e dessa forma maior a demanda de carga térmica para aquecimento da edificação durante os meses com menores temperaturas.

Por outro lado, quando se analisa a influência na carga térmica para resfriamento da edificação (Figura 19), verifica-se que quanto mais escura a cor,

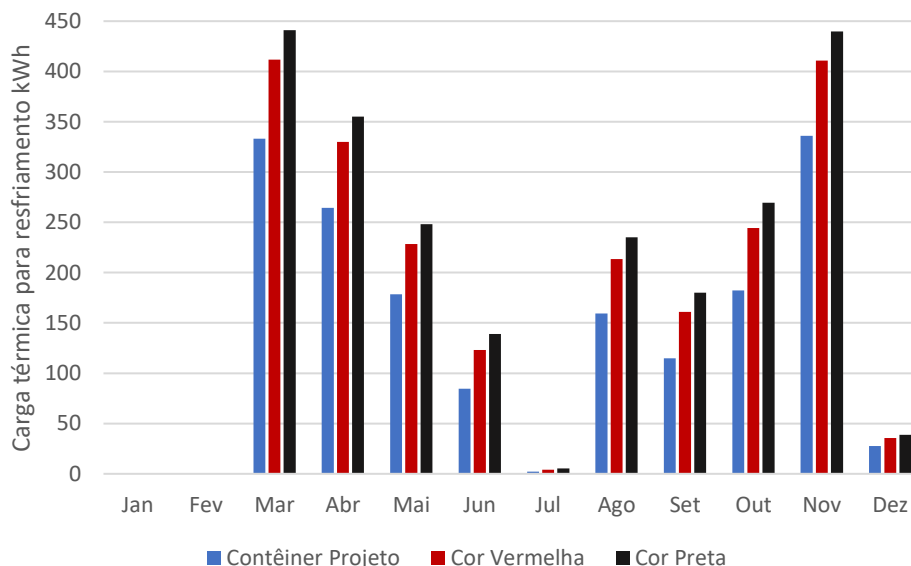
maior a absorvância de radiação e, conseqüentemente, maior a demanda de carga térmica. Como esperado, na simulação cuja envoltória do contêiner estava pintada de preto apresentou a maior carga térmica para resfriamento.

Figura 18 – Influência da cor da envoltória na carga térmica para aquecimento.



Fonte: (do autor, 2018).

Figura 19 – Influência da cor da envoltória na carga térmica para resfriamento.



Fonte: (do autor, 2018).

Na Tabela 14, encontra-se os resultados da carga térmica anual de aquecimento e resfriamento. Confirma-se o efeito da absorvância térmica nas condições de aquecimento e resfriamento, ou seja, quanto maior a absorvância

térmica, menor a demanda de carga térmica nos meses mais frios, no entanto, nos meses com maiores temperaturas, o comportamento é o oposto e apresenta uma maior demanda de resfriamento artificial.

Tabela 14 – Influência da cor da envoltória na carga térmica anual.

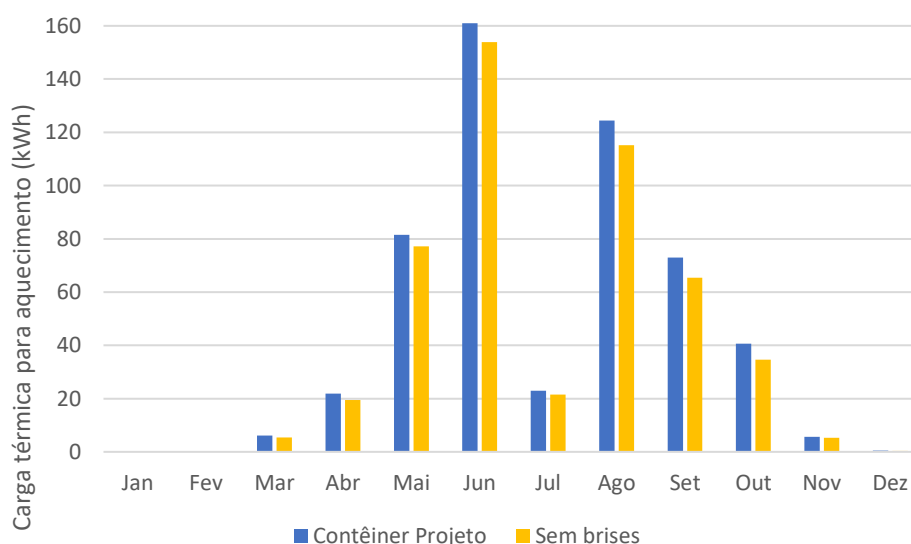
Simulação	Carga térmica para aquecimento (kWh)	Diferença aquecimento	Carga térmica para resfriamento (kWh)	Diferença resfriamento
Contêiner Projeto	537,55	–	1682,65	–
Contêiner Vermelho	459,25	-15%	2162,66	29%
Contêiner Preto	435,35	-19%	2351,77	40%

Fonte: (do autor, 2018).

5.2.4 Influência das proteções solares

Com relação à influência das proteções solares na carga térmica para aquecimento, verifica-se que há uma breve diferença entre a edificação com e sem brises todos os meses (Figura 20). Isto ocorre, pois, a presença de proteções solares impede a entrada da radiação solar direta, o que auxiliaria no aquecimento do ambiente nos meses mais frios.

Figura 20 – Influência das proteções solares na carga térmica para aquecimento.

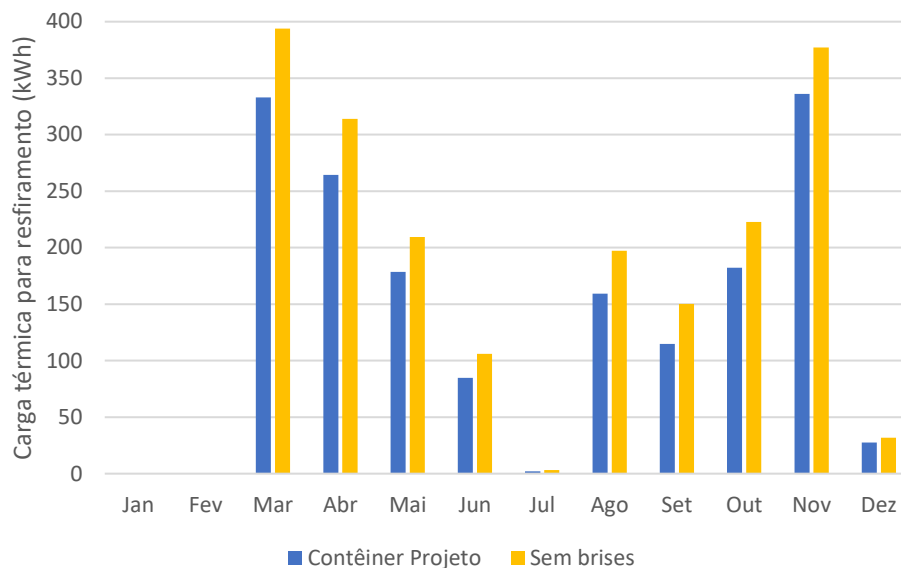


Fonte: (do autor, 2018).

Ao contrário, nos meses com maiores temperaturas, os brises auxiliam diminuindo a quantidade de radiação direta que entra na edificação e, dessa

forma, nota-se uma demanda menor de carga térmica para resfriamento da edificação. Esse comportamento pode ser visualizado na Figura 21.

Figura 21 – Influência das proteções solares na carga térmica para resfriamento.



Fonte: (do autor, 2018).

Verificando a carga térmica anual de aquecimento e resfriamento (Tabela 15), confirma-se que o uso de proteções solares influenciou tanto na demanda de aquecimento – quanto na de resfriamento artificial da edificação. A utilização de brises proporcionou aumento de 7% na demanda de aquecimento da edificação, entretanto, uma diminuição de 19% na demanda de resfriamento da mesma.

Tabela 15 – Influência das proteções solares na carga térmica anual.

Carga térmica anual	Contêiner Projeto (kWh)	Contêiner sem brises (kWh)	Diferença
Aquecimento	537,55	498,3	-7%
Resfriamento	1682,65	2005,43	19%

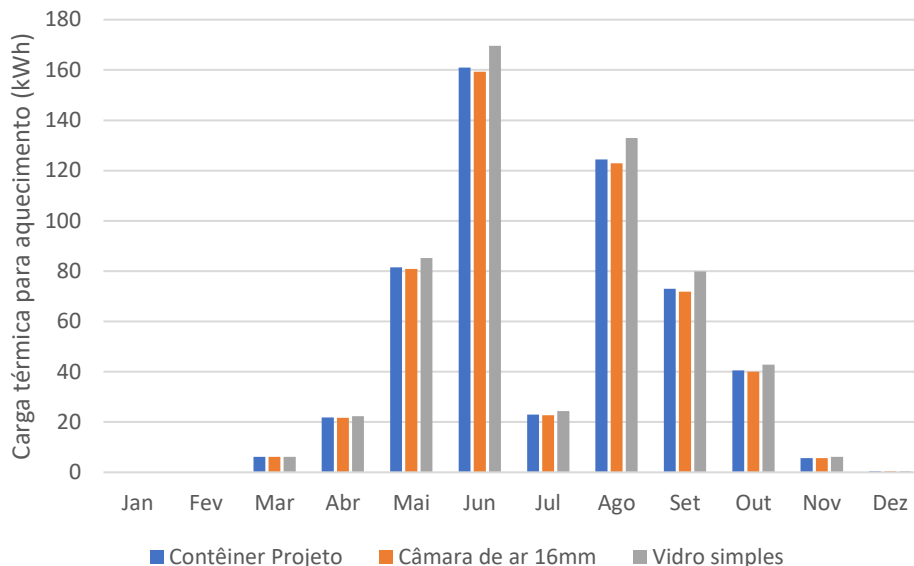
Fonte: (do autor, 2018).

5.2.5 Influência das fenestraçãoes

Conforme a Figura 22, nota-se que a espessura da câmara de ar do vidro duplo não influencia significativamente na carga térmica para aquecimento. Porém, com o uso de vidro simples a carga térmica para aquecimento apresentou-se ligeiramente maior. Isso acontece devido à menor resistência

térmica do vidro simples em relação ao duplo, o que facilita a perda de calor da edificação para o ambiente.

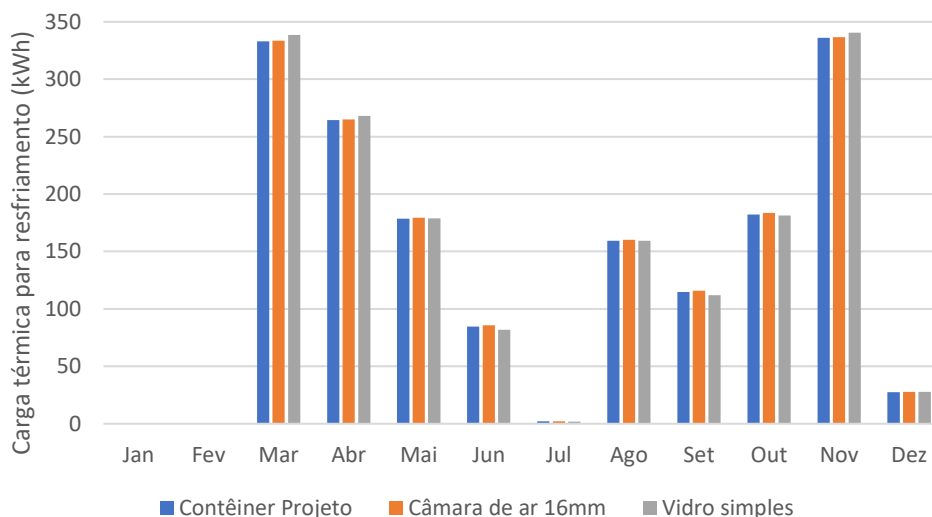
Figura 22 – Influência das fenestrações na carga térmica para aquecimento.



Fonte: (do autor, 2018).

Em relação à carga térmica para resfriamento (Figura 23), verifica-se que é praticamente indiferente o uso de vidro simples ou duplo. Em todos os meses do ano, as três simulações apresentaram resultados muito próximos.

Figura 23 – Influência das fenestrações na carga térmica para resfriamento.



Fonte: (do autor, 2018).

Na Tabela 16, verifica-se a carga térmica anual de aquecimento e resfriamento de todos os cenários. Percebe-se que de um modo geral o uso de vidro simples ou duplos não influencia significativamente a carga térmica da edificação. Isso se justifica devido aos vidros duplos serem recomendados para locais com invernos rigorosos. No entanto, o clima da cidade de Araranguá é quente e temperado, não validando o seu uso.

Tabela 16 – Influência das fenestrações na carga térmica total.

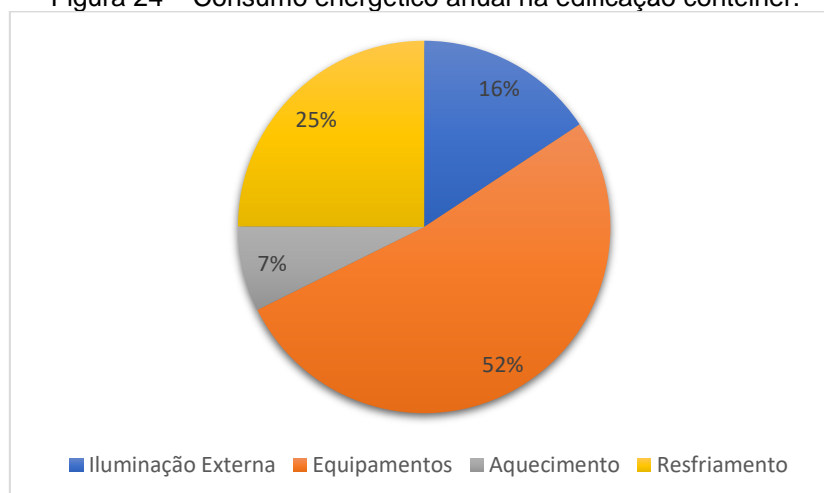
Simulação	Carga térmica para aquecimento (kWh)	Diferença	Carga térmica para resfriamento (kWh)	Diferença
Contêiner Projeto	537,55	–	1682,65	–
Contêiner 16mm	531,62	-1%	1689,54	0%
Contêiner vidro simples	569,99	6%	1689,93	0%

Fonte: (do autor, 2018).

5.3 CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL

Para fazer a conversão da carga térmica para consumo energético foi necessário considerar valores de COP para aquecimento e resfriamento. Foi considerado um valor constante ao longo do ano de COP para resfriamento de 3,30 e COP para aquecimento de 3,56, de acordo com Daikin (2018). Assim, obteve-se o consumo energético anual do projeto da edificação contêiner de 2043,5 kWh anual. Na Figura 24 é ilustrado esse consumo nos diferentes usos da edificação.

Figura 24 – Consumo energético anual na edificação contêiner.



Fonte: (do autor, 2018).

A maior contribuição no consumo energético é para o uso de equipamentos elétricos, aproximadamente 52%, consumindo 1061,4 kWh anuais. A contribuição para a climatização do ambiente é de 32%, cerca de 660 kWh anuais, sendo que, o consumo para refrigeração representa 77% desse total. A diferença entre o consumo energético para resfriamento e aquecimento ocorre devido ao clima quente e temperado da cidade de Araranguá, dessa forma, é menos usual o aquecimento artificial da edificação.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou os componentes internos e externos que influenciam na carga térmica de uma edificação. Além disso, foram descritos alguns dos métodos e ferramentas utilizadas para o cálculo da mesma. Entre as ferramentas existentes, optou-se por utilizar o *software EnergyPlus*, o qual emprega o método HBM para cálculo de carga térmica.

A construção estudada é o projeto de uma edificação contêiner, a qual será a sede da associação Técnica sem Fronteiras Brasil, localizada em Araranguá/SC. Devido à alta condutividade térmica do principal material do qual o contêiner é feito, o aço corten, é necessária a aplicação de elementos construtivos para a manutenção de condições de conforto térmico da edificação. As estratégias aplicadas no projeto são: uso de isolante térmico, telhado verde, brises verticais e horizontais, vidros duplos e cor branca para a envoltória. Quando comparado o comportamento térmico de um contêiner bruto, sem nenhuma estratégia construtiva aplicada, e do contêiner do projeto, obteve-se uma redução de 30% na carga térmica de aquecimento e de 27 % na de resfriamento. Ademais, foi feita uma simulação simplificada de um sistema de climatização para cada caso, considerando o pico horário anual de carga térmica para aquecimento e resfriamento. Assim, obteve-se um sistema de ar condicionado com capacidade de climatização de 27000 btu/h para o contêiner bruto e de 21000 btu/h para a edificação contêiner, resultando em uma diferença de capacidade de 6000 btu/h.

Com a finalidade de avaliar o impacto na carga térmica de algumas das estratégias propostas, foram simulados diferentes cenários com a modificação de cada elemento empregado, conservando os demais dados de entrada. A análise foi feita baseada na demanda de carga térmica para aquecimento e resfriamento. Na Tabela 17, verifica-se uma síntese dos resultados obtidos. Lembrando que as análises do impacto de todas as simulações foram feitas comparando com os resultados da simulação do projeto original da edificação contêiner.

Tabela 17 - Síntese da análise térmica das estratégias construtivas.

Alteração	Efeito na carga térmica para aquecimento	Efeito na carga térmica para resfriamento
Lã de Rocha	+6%	-1%
Lã de Vidro	+3%	0%
Sem isolamento	+85%	-1%
Orientação L-O	0%	-3%
Cor vermelha	-15%	+29%
Cor preta	-19%	+40%
Sem brises	-7%	+19%
Câmara de ar 16mm	-1%	0%
Vidro simples	+6%	0%

Fonte: (do autor, 2018).

Analisando a influência na demanda de aquecimento da edificação, percebe-se que o uso de isolante térmico se mostrou a estratégia mais significativa. A simulação sem isolamento apresentou um aumento de 85% na demanda de carga térmica em relação ao projeto original. Por outro lado, a edificação com envoltória nas cores vermelha e preta apresentou uma redução de 15% e 19%, respectivamente.

Em relação ao resfriamento, verifica-se que a cor da envoltória foi a que mais influenciou na carga térmica da edificação. Obteve-se um aumento de 29% e 40% na demanda de resfriamento artificial quando a envoltória está pintada em vermelho e preto, respectivamente. Outra influência significativa foi a aplicação de proteções solares, a simulação sem uso de brises apresentou um aumento de 19% em relação ao projeto original.

Outro resultado pertinente é que não foram obtidas diferenças significativas nas simulações com diferentes isolantes térmicos, tanto para aquecimento como resfriamento. Com isso, a escolha do isolante deve levar em consideração outros fatores, como custos, sustentabilidade, durabilidade, entre outros.

Depois de simular todos os cenários propostos, percebe-se que apenas algumas estratégias teriam um impacto significativo no comportamento térmico da edificação. Como a cidade de Araranguá/SC possui um clima quente e temperado, o resfriamento artificial de edificações é mais usual que o aquecimento. Por isso, a aplicação de estratégias que diminuem a demanda de carga térmica para resfriamento da edificação é mais relevante.

De forma a otimizar o projeto da edificação estudada, sugere-se que, entre as estratégias originalmente propostas, substitua os vidros duplos por vidros simples das janelas e também que haja uma melhor investigação em relação a orientação Leste-Oeste das fachadas principais.

Vale ressaltar que, para realizar as simulações, foram adotadas algumas simplificações que refletem nos resultados obtidos. O software EnergyPlus é uma ferramenta de simulação complexa e possui diversos outros recursos disponíveis além dos utilizados neste estudo.

Como continuidade deste trabalho, poderiam ser exploradas outras ferramentas do *software* EnergyPlus, avaliar o impacto de outros fatores na carga térmica da edificação, estudar edificações com diferentes perfis de uso, entre outros.

REFERÊNCIAS

- ÁGUAS, Miguel P. N. **Conforto térmico**: módulo da disciplina de mestrado “Métodos instrumentais em energia e ambiente”. Instituto Superior Técnico. Lisboa, 2000/2001. 25 p.
- ANDREOLLI, Samara. **Avaliação do desempenho térmico de edificações em contêiner**. 2017. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2017.
- ASDRUBALI, Francesco; D’ALESSANDRO, Francesco; SCHIAVONI, Samuele. A review of unconventional sustainable building insulation materials. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 4, p.1-17, maio 2015.
- ASHRAE. **Handbook of Fundamentals**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013.
- ASHRAE. Chapter 28: NONRESIDENTIAL COOLING AND HEATING LOAD CALCULATIONS. In: ASHRAE. **Handbook of Fundamentals**. Atlanta: American Society Of Heating, Refrigerating And Air-conditioning Engineers, 1997. p. 1-65.
- ASHRAE. **STANDARD 55-2010**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: American Society Of Heating, Refrigerating And Air-conditioning Engineers, Inc., 2010. 44 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401**: Instalações de ar-condicionado: sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6401**: Instalações centrais de ar-condicionado para conforto - Parâmetros básicos de projeto. Rio de Janeiro, 1980.
- BHATIA, A.. **HVAC Cooling Load - Calculations and Principles**. New York: Continuing Education And Development, 2012. 62 p. Disponível em: <<https://www.cedengineering.com/userfiles/Cooling Load Calculations and Principles.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2018.
- CALORY, Sara Q. C. **Estudo do uso de contêineres em edificações no Brasil**. Monografia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015
- CARBONARI, Luana Toralles; BARTH, Fernando. Reutilização de contêineres padrão ISO na construção de edifícios comerciais no sul do Brasil. **Parc Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, Sp, v. 6, n. 4, p.255-265, dez. 2015. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8641165>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

CARBONARI, Luana Toralles. **Reutilização de contêineres ISO na arquitetura: Aspectos projetuais, construtivos e normativos do desempenho térmico em edificações no sul do Brasil**. 2015. 196 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-residenciais**. 2008. 215 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

DAIKIN. **Multi Split Advance**: Linha Residencial. Disponível em: <<http://daikin.com.br/static/uploads/conteudos/produtos/170523070309000000.pdf>>. Acesso em: 05 dez. 2018

ENERGY SAVER. **Energy Performance Ratings for Windows, Doors, and Skylights**. Disponível em: <<https://www.energy.gov/energysaver/design/windows-doors-and-skylights/energy-performance-ratings-windows-doors-and>>. Acesso em: 15 set. 2018.

ENERGYPLUS, **The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Getting Started with EnergyPlus**. US Department of Energy. 2016.

ENERGYPLUS, **The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input Output Reference**. US Department of Energy. 2016.

ENERGYPLUS. **Weather Data**. Disponível em: <<https://energyplus.net/weather>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

FOSSATI, Michele; LAMBERTS, Roberto. Eficiência energética da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis: discussões sobre a aplicação do método prescritivo do RTQ-C. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p.59-69, jun. 2010.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual do conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 244 p.

GOMES, Adriano Pinto. **Método de avaliação do desempenho térmico de edifícios comerciais e residenciais em *light steel framing***. 2012. 166 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

GUEDES, Rita; BUORO, Anarrita Bueno. Reuso de containers marítimos na construção civil. **Iniciação - Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística**, São Paulo, v. 5, n. 3, p.101-118, ago. 2015.

HERNANDEZ NETO, Alberto; TRIBESS, Arlindo; VITTORINO, Fúlvio. Análise comparativa de cálculos de carga térmica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

ENGENHARIA MECÂNICA, 15., 1999, São Paulo. **Anais...** . São Paulo: Cbem, 1999. p. 1 - 10.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**: Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva, Switzerland: 2005.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª Edição. São Paulo: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LAMBERTS, Roberto. **Conforto e Stress térmico**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (labeee), 2016. 144 p. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Apostila%20Conforto%20T%C3%A9rmico_2016.pdf>. Acesso em: 20 set. 2018.

LOPES, Cícero Furtado de Mendonça. **Análise comparativa de carga térmica entre dois métodos de cálculos para um auditório**. 2013. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

LUIZ, Eduardo Weide et al. **Determinação de um ano meteorológico típico para Florianópolis – SC**. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2012.

PEDERSEN, C.O., FISHER, D.E., LIESEN, R.J., “Development of a Heat Balance Procedure for Calculating Cooling Loads”, **ASHRAE Transactions**, v. 103, n. 2, p. 459-468, 1997.

SILVA, Ana Cláudia Rodrigues. **Metodologias de cálculo de carga térmica em estruturas opacas**. 2017. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Instituto Alberto Luiz de Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Rio de Janeiro, 2017.

SOUSA, Leonardo Manuel Correia Gomes de. **Desenvolvimento de um método expedito para estimativa das cargas térmicas de arrefecimento de edifícios residenciais**. 2013. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013.

TASSI, Rutinéia et al. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 139-154, jan./mar. 2014.

TECHNIK OHNE GRENZEN. **Technik ohne Grenzen**. Disponível em: <<https://www.teog.ngo/?lang=en>>. Acesso em: 15 set. 2017.

TÉCNICA SEM FRONTEIRAS BRASIL. **Projeto Contêiner**. Disponível em: <<http://www.tecnicasemfronteiras.com.br/>>. Acesso em: 15 set. 2017.

SPITLER, J.D., FISHER, D.E., PEDERSEN, C.O., "The Radiant Time Series Cooling Load Calculation Procedure", **ASHRAE Transactions**, v. 103, n. 2, p. 503-515, 1997.

WORLD SHIPPING COUNCIL. **Global container fleet**. Disponível em: <<http://www.worldshipping.org/about-the-industry/containers/global-container-fleet>>. Acesso em: 10 set. 2018.