



**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

**CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

CAMILA FERREIRA DA SILVA

**A influência de aberturas
na avaliação do desempenho
térmico de vedações verticais
externas em Florianópolis - SC**

**Florianópolis - SC
2019**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

CAMILA FERREIRA DA SILVA

**A INFLUÊNCIA DE ABERTURAS NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO
TÉRMICO DE VEDAÇÕES VERTICAIS EXTERNAS EM
FLORIANÓPOLIS - SC**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de
Santa Catarina como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Orientadora:
Prof^a. Dr^a. Ana Lígia Papst de Abreu.

FLORIANÓPOLIS, 2019.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Silva, Camila

A influência de aberturas na avaliação do desempenho térmico de vedações verticais externas em Florianópolis - SC / Camila Silva ; orientação de Ana Lígia Abreu.
- Florianópolis, SC, 2019.

97 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico de Construção Civil.
Inclui Referências.

1. NBR 15.575. 2. Simulação Computacional. 3. Paredes. 4. Janelas. I. Abreu, Ana Lígia. II. Instituto Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico de Construção Civil. III. Título.

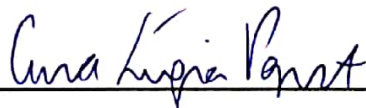
**A INFLUÊNCIA DE ABERTURAS NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO
TÉRMICO DE VEDAÇÕES VERTICAIS EXTERNAS EM
FLORIANÓPOLIS, SC**

CAMILA FERREIRA DA SILVA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 02 de julho, 2019.

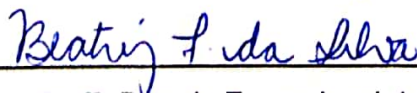
Banca Examinadora:



Profª. Ana Lígia Papst de Abreu, Drª.



Profª. Luciana da Rosa Espíndola, Drª.



Profª. Beatriz Francalacci da Silva, Drª.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, principalmente meus pais, Paulo e Leonísia e minha vó e madrinha Maria Nezi, por toda educação, carinho, apoio e companheirismo dado no decorrer da minha vida, por me guiarem e me aceitarem da maneira que sou e acreditarem em mim. Sem vocês eu não seria a mulher que me tornei.

À minha companheira Maiara, que esteve comigo desde o início da minha graduação, e continua nessa estrada. Você é e foi muito importante no decorrer desta etapa da minha vida. Obrigada por me apoiar em todos os momentos.

As minhas tias que convivem comigo diariamente e sempre acompanharam minha trajetória me dando apoio, confiando e torcendo pelo meu sucesso sempre.

Aos meus colegas de turma, que fizeram meus cinco anos de graduação, mais felizes e descontraídos. Principalmente a Carla, Renata e Matheus, pelo companheirismo, parceria, sofrimento e pelas risadas diárias.

Aos meus professores, pelos ensinamentos transmitidos, vivências proporcionadas e experiências compartilhadas.

À minha orientadora Professora Ana Lúcia Papst de Abreu, que conheci deste a primeira fase do curso e daí em diante não desgrudei mais dela, foram três anos sendo sua bolsista e cinco como aluna e aprendiz. Obrigada pelo aprendizado, amizade construída, conselhos e apoio. Você é uma inspiração para mim.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades,
lembrai-vos de que as grandes coisas do homem
foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

RESUMO

A NBR 15.575 é a primeira norma brasileira que trata da avaliação do desempenho que uma edificação residencial deve atingir. A norma estabelece requisitos e critérios mínimos de expectativas e exigências dos usuários de edificações habitacionais em relação à segurança, à habitabilidade e à sustentabilidade. Para a avaliação do desempenho térmico de uma edificação residencial, a NBR 15.575 estabelece dois procedimentos: método simplificado (método de cálculo e simulação computacional) e o método informativo (medição in loco). Os dois procedimentos avaliam o sistema de vedações da edificação, sendo a edificação composta por vedações verticais (aberturas e paredes) e pela cobertura. O objetivo deste trabalho é avaliar a influência das aberturas no desempenho térmico de vedações verticais que atendam a NBR 15.575, em edificações multifamiliares localizadas em Florianópolis (Zona bioclimática 3). O método usado foi simular computacionalmente ambientes que teriam seu desempenho térmico aprovados pelo método simplificado de cálculo da NBR 15.575. Pelo método da simulação foram variados três parâmetros de áreas de aberturas, quatro orientações solares, dois valores de trocas de ar para verão, e um valor de troca de ar para inverno, três valores de sombreamento e três valores de absorptância solar das paredes, perfazendo 432 simulações (entre casos de verão e inverno). A modelagem da edificação foi feita no software SketchUp com plugin Euclid, e as simulações rodadas no software termo energético EnergyPlus. Após a realização das simulações e análise dos dados, verificou-se que para verão 85% dos casos não atenderam a norma, enquanto para inverno somente 2% dos casos não atenderam. Destacando-se que com o aumento das áreas de abertura, há um aumento na temperatura interna da edificação. Sugere-se que em futuras alterações da NBR 15.575 no método simplificado de avaliação do desempenho térmico, seja avaliada a relação entre área de abertura e absorptância solar das paredes por orientação solar.

Palavras-Chave: NBR 15.575. Simulação Computacional. Paredes. Janelas.

ABSTRACT

NBR 15,575 is the first Brazilian standard that evaluates the residential building performance. This standard establishes either minimum criteria of construction or requirements of the dwellers related to security, habitability and sustainability. The NBR 15.575 establishes two procedures of thermal performance evaluation at residential buildings: simplified method (calculation method and computational simulation) and informative method (in loco monitoring measurement). Either procedures evaluate the building's fence system, the building consisting of vertical fences (windows and walls) and the roof. The objective of this work is to evaluate the influence of openings in the thermal performance of vertical fences that meet NBR 15.575 in multifamily buildings located in Florianópolis (Bioclimatic Zone 3). The method consist on simulate computationally environments that would have their thermal performance required by the simplified calculation method of NBR 15.575. The simulations totalize 432 variations, and the parameters that was analysed: three window areas; four solar orientations; two air exchange for hour at summer period, and an air exchange for hour at winter period; three shading values; and three values of walls solar absorption. The simulation has begun with modelling a room of 12m² with Euclid plugin inside SketchUp software. After this, termo-energetic simulations have been run in EnergyPlus software. The analysis result of simulation shows that 85% summer cases have not meet the NBR 15.575, while only 2% of the winter cases did not meet. There is an increase in the internal temperature of the rooms simulated with the increasing of the opening areas. For future reviews of NBR 15.575, specifically in the simplified method of thermal performance evaluation, it is suggest the evaluation of the relation of opening area and wall solar absorption by solar orientation.

Keywords: NBR 15.575. Computational simulation. Walls. Windows.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema da Estrutura do Texto	19
Figura 2 - As três fases da transmissão do calor nos fechamentos opacos	22
Figura 3 - Trocas de Calor por radiação através de paredes opacas	23
Figura 4 - Trocas de calor por condução	24
Figura 5 - Fator Solar	27
Figura 6 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro	30
Figura 7 - Zona Bioclimática 3 e Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Florianópolis, SC	31
Figura 8 - Dimensões do ambiente	42
Figura 9- Abertura 1,67m x 1,20m, parede de 4,00m	44
Figura 10- Abertura 1,67m x 1,20m, parede de 3,00m	44
Figura 11 - Abertura 2,50m x 1,20m, parede de 4,00m	45
Figura 12 - Abertura 2,50m x 1,20m, parede de 3,00m	45
Figura 13 -Abertura 2,86m x 1,20m, parede de 4,00m	46
Figura 14 -Abertura 2,86m x 1,20m, parede de 3,00m	46
Figura 15 - Software Sketchup com plugin Euclid	49
Figura 16 - Modelagem do ambiente dentro da zona térmica	50
Figura 17 - Características dos componentes	50
Figura 18 - Interface do Energyplus	51
Figura 19 - Interface idf editor	51
Figura 20 - Gráfico temperatura x hora para abertura de 33% na parede de 4 metros, orientação solar norte, com 25% de sombreamento, para as três absorptâncias testadas, no dia típico de verão	56
Figura 21 - Gráfico temperatura x hora para abertura de 33%, na parede de 4 metros, orientação solar norte, com 25% de sombreamento, para as três absorptâncias testadas, no dia típico de inverno.....	56
Figura 22 - Atendimento a NBR 15.575 através da simulação.....	58
Figura 23 - Trajetória do sol para Florianópolis	64
Figura 24 - ΔT x Área de abertura x Absortância Solar, 1 ren/h, verão.	66
Figura 25 - ΔT x Área de abertura x Absortância Solar, 5 ren/h, verão.	66
Figura 26 - ΔT x Área de abertura x Absortância Solar, inverno.....	66

Figura 27 – ΔT x Área de abertura x Sombreamento, 1 ren/h, verão.	67
Figura 28 – ΔT x Área de abertura x Sombreamento, 5 ren/h, verão.	67
Figura 29 – ΔT x Área de abertura x Sombreamento, inverno.	68
Figura 30 – ΔT x Área de abertura x Sombreamento, 1 ren/h, verão	69
Figura 31 – ΔT x Área de abertura x Sombreamento, 5 ren/h, verão	69
Figura 32 – ΔT x Área de abertura x Sombreamento, inverno	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comportamento da radiação solar incidente em um fechamento transparente.....	26
Tabela 2 - Valores de Transmitância e capacidade térmica para paredes	34
Tabela 3 - Capacidade Térmica de paredes externas	35
Tabela 4 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão para edificações multifamiliares na cidade de Florianópolis	36
Tabela 5 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno para edificações multifamiliares na cidade de Florianópolis	36
Tabela 6 - Parâmetros de condição crítica do ponto de vista térmico	37
Tabela 7 - Critérios de ventilação e sombreamento para simulação de verão ..	38
Tabela 8 - Dimensões das aberturas	43
Tabela 9 - Parâmetros utilizados para a realização das simulações	48
Tabela 10 - Valores médios dos resultados em atendimento a NBR 15.575	57
Tabela 11 - Valores médios dos resultados em atendimento a norma para a situação mais crítica de inverno e verão	59
Tabela 12 -Gráficos parâmetros normativos combinados, verão, 1 ren/h.	60
Tabela 13 - Gráficos parâmetros normativos combinados, verão, 5 ren/h.	61
Tabela 14 - Gráficos parâmetros normativos combinados, inverno, 1 ren/h.	62
Tabela 15 - Atendimento a norma para verão e inverno área de abertura 16,7%	71
Tabela 16 - Atendimento a norma para verão e inverno área de abertura 25% .	73
Tabela 17 - Atendimento a norma para verão e inverno área de abertura 33,3%	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

DACC – Departamento Acadêmico de Construção Civil

FS – Fator Solar

LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

NBR – Norma Brasileira

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Resistência térmica do material.....	24
Equação 2 – Transmitância térmica.....	25
Equação 3 – Capacidade térmica.....	25
Equação 4 – Fator solar.....	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	15
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo Geral.....	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	20
2.1	GANHO DE CALOR PELOS ELEMENTOS VERTICAIS	20
2.1.1	Elementos Opacos	21
2.1.2	Elementos Transparentes	26
2.1.3	Fator Solar	27
2.2	LEGISLAÇÃO COM RELAÇÃO À ÁREA DE ABERTURAS PARA AMBIENTES RESIDENCIAIS	28
2.2.1	Código de Obras e Edificações de Florianópolis e Áreas de Aberturas	28
2.2.2	NBR 15.220 e Áreas de Aberturas	29
2.2.3	NBR 15.575 e Áreas de Aberturas	31
2.3	DESEMPENHO TÉRMICO DE VEDAÇÕES VERTICAIS.....	33
2.3.1	Métodos de avaliação do desempenho térmico em edificações residenciais pela NBR 15.575.....	33
2.3.1.1	Método Simplificado	34
2.3.1.2	Simulação Computacional.....	35
2.3.1.3	Medição in loco	38
2.4	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	39
3	MÉTODO	41
3.1	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	41
3.1.1	Definição do Modelo	41
3.1.2	Avaliações Paramétricas Parede x Aberturas	47
3.1.3	Simulações computacionais através do software EnergyPlus	48
3.1.4	Método da simulação.....	49
3.1.5	Análises dos dados	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
4.1	AVALIAÇÃO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DAS ABERTURAS NO DESEMPENHO TÉRMICO DE VEDAÇÕES VERTICAIS EXTERNAS DE ACORDO COM A NBR 15.575, ATRAVÉS DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	55
4.2	AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS NORMATIVOS DE VEDAÇÕES VERTICAIS NO DESEMPENHO TÉRMICO DE AMBIENTES	59
4.3	INFLUÊNCIA DA ÁREA DE ABERTURA NO DESEMPENHO TÉRMICO DE AMBIENTES	65
4.3.1	Área de abertura x Absortância Solar	65
4.3.2	Área de abertura x Sombreamento.....	67
4.3.3	Área de abertura x Orientação Solar	68
4.4	ATENDIMENTO AO DESEMPENHO TÉRMICO INVERNO X VERÃO	70
4.5	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	75
5	CONCLUSÃO	77

5.1	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	81
	REFERÊNCIAS.....	82
	APÊNDICES	84
	APÊNDICE A – CÁLCULO DE TRANSMITÂNCIA TÉRMICA.....	84
	APÊNDICE B – LEGENDA PARA SIMULAÇÃO	87
	APÊNDICE C – GRÁFICOS DIFERENÇA DE TEMPERATURA INTERNA MÁXIMA PELA TEMPERATURA EXTERNA MÁXIMA PARA VERÃO	89
	APÊNDICE D – GRÁFICOS DIFERENÇA DE TEMPERATURA INTERNA MÁXIMA PELA TEMPERATURA EXTERNA MÁXIMA PARA INVERNO	92
	GLOSSÁRIO.....	95

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A entrada em vigor da NBR 15.575 (ABNT, 2013) trouxe uma referência com base em requisitos e critérios para o desempenho mínimo de uma edificação habitacional. Esta é a primeira norma brasileira que trata da avaliação do desempenho da edificação quanto ao seu comportamento em uso, com foco nas exigências dos usuários para o edifício habitacional e seus sistemas. Sendo assim, a NBR 15.575 (ABNT, 2013) apresenta uma lista de exigências e expectativas dos usuários de edificações habitacionais em relação à segurança, à habitabilidade e à sustentabilidade, e estabelece requisitos e critérios mínimos de desempenho.

Entre os requisitos analisados pela NBR 15.575 está o desempenho térmico de edificações habitacionais. Esta norma define dois procedimentos para a avaliação térmica: método simplificado (método de cálculo e simulação computacional) e o método informativo (medição in loco). A primeira forma de verificação ao atendimento da norma em relação ao desempenho térmico, é avaliar pelo método de cálculo se os elementos de vedações externas (verticais e cobertura) da edificação atendem aos critérios de transmitância e capacidade térmica. Os valores mínimos destas características térmicas do sistema construtivo referem-se a valores estabelecidos por outra norma, a NBR 15.220 (ABNT, 2005). Esta última norma, regula características térmicas construtivas de uma edificação de interesse social para que os projetos e a execução das edificações atinjam um desempenho usualmente mínimo. Para tanto, considera as características climáticas locais, ou seja, as características de acordo com a zona bioclimática que a edificação estará ou está inserida (SANTOS et al., 2015). Se uma edificação residencial não for aprovada pelo método de cálculo simplificado de desempenho térmico pela NBR 15.575, pode-se fazer a avaliação pelo método de simulação computacional.

Segundo Marinoski (2005), cada elemento ou material utilizado na construção das edificações tem a sua importância para a formação de um ambiente que atenda às necessidades humanas, sejam elas relativas à segurança, à estética, ao conforto ou ao consumo de energia. Porém, existem alguns destes elementos que ocupam uma posição diferente do ponto de vista da relação entre suas funcionalidades e o ambiente construído. Dentro desta categoria, estão incluídas as aberturas da edificação, pois as mesmas podem ocupar desde uma pequena área da parede em que está inserida, ou até mesmo ser uma vedação vertical toda

envidraçada. Neste último caso, a janela / parede tornar-se-á um elemento dominante para a estética da edificação constituindo a maior parte do envelope construtivo.

Porém, além da função estética, as aberturas exercem diferentes funções nas edificações, tais como regular a passagem da luz, controlar a ventilação e as trocas térmicas entre ambientes interno e externo (SORGATO et al., 2014). As janelas são na maioria das vezes a única maneira que o usuário da edificação possui para controlar as condições microclimáticas do ambiente interno, e sua disposição, área, tipologia e localização podem influenciar diretamente no desempenho da edificação (TIBÚRCIO, 2017; RODRIGUES, 2015).

O Código de Obras de Florianópolis (FLORIANÓPOLIS, 2000) traz diretrizes com relação às áreas de aberturas no que tange apenas ao tamanho mínimo das janelas para ventilação e iluminação dos compartimentos das edificações. A Norma de Desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013) apresenta também, apenas valores mínimos de área para aberturas. No entanto, a NBR 15.220 (ABNT, 2005), apresenta valores mínimos e máximos para a área de aberturas, considerando a zona bioclimática que a edificação habitacional está inserida.

Apesar dessas considerações, as normas e os códigos brasileiros ainda não contemplam parâmetros consistentes a respeito de dimensionamento de área de abertura por fachada, tipologia e localização das aberturas. A NBR 15.575 (ABNT, 2013), pela primeira forma de avaliação de desempenho térmico, método simplificado de cálculo, considera a avaliação das vedações verticais apenas externas opacas, pouco avaliando aspectos como a área envidraçada. Quando considerado que uma Zona Bioclimática abrange muitas cidades, observa-se a falta de preocupação com a latitude do local, e consequentemente a desconsideração das diferenças no ganho térmico solar nas vedações verticais.

Através da avaliação do comportamento térmico interno das edificações habitacionais em função das vedações verticais, é possível estabelecer estratégias para que as construções possam responder de maneira mais eficiente às variações climáticas locais. A partir desta análise, fornece condições técnicas necessárias para o atendimento de critérios mínimos de desempenho, buscando oferecer conforto térmico mínimo ao usuário da edificação.

O objeto de estudo deste trabalho são as edificações residenciais, localizadas na cidade de Florianópolis, que está situada na zona bioclimática 3.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo avaliar a influência das aberturas no desempenho térmico de vedações verticais que atendam a NBR 15.575, em edificações multifamiliares localizadas em Florianópolis (Zona bioclimática 3).

1.1.2 Objetivos Específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- I. Definir critérios de avaliação da influência das aberturas no desempenho térmico de vedações verticais externas (dimensões aberturas, orientação solar, sombreamento, taxa de ventilação, tipo de parede, absortância solar);
- II. Determinar modelos parametrizados de análise do desempenho térmico das vedações verticais externas a partir dos critérios pré-estabelecidos;
- III. Verificar de que forma as aberturas influenciam no desempenho térmico de vedações verticais externas que atendem aos parâmetros normativos definidos pela NBR 15.575.

1.2 Estrutura do trabalho

Este trabalho foi estruturado em cinco capítulos: Introdução, Revisão de Literatura, Método, Resultados e Análises, e Considerações Finais.

CAPÍTULO 1: No primeiro capítulo, apresentou-se a introdução do trabalho e justificativa, chamando atenção para a normatização no cenário brasileiro referente a desempenho térmico de edificações, destacando-se em seguida o comportamento térmico de vedações nas edificações, que dependem entre diversos fatores do tipo de vedação que compõe uma fachada. Destacou-se então a importância das aberturas em uma vedação, que apesar de apresentar fatores que impactam diretamente no comportamento térmico de uma vedação não são considerados pela normatização

brasileira. Sendo assim, o capítulo acaba com a determinação dos objetivos deste trabalho.

CAPÍTULO 2: No capítulo dois apresenta-se uma revisão de literatura nacional e internacional, abordando os tópicos: de ganho de calor pelos elementos verticais, elementos opacos e elementos transparentes; da legislação com relação a área de abertura dos ambientes, Código de Obras e Edificações de Florianópolis, NBR 15.220 e NBR 15.575; do desempenho térmico de vedações verticais e os métodos apresentados pela NBR 15.575 (ABNT, 2013) para a avaliação do desempenho térmico de edificações, método simplificado, simulação computacional; e método de medição in loco. E por fim apresenta-se uma conclusão do capítulo.

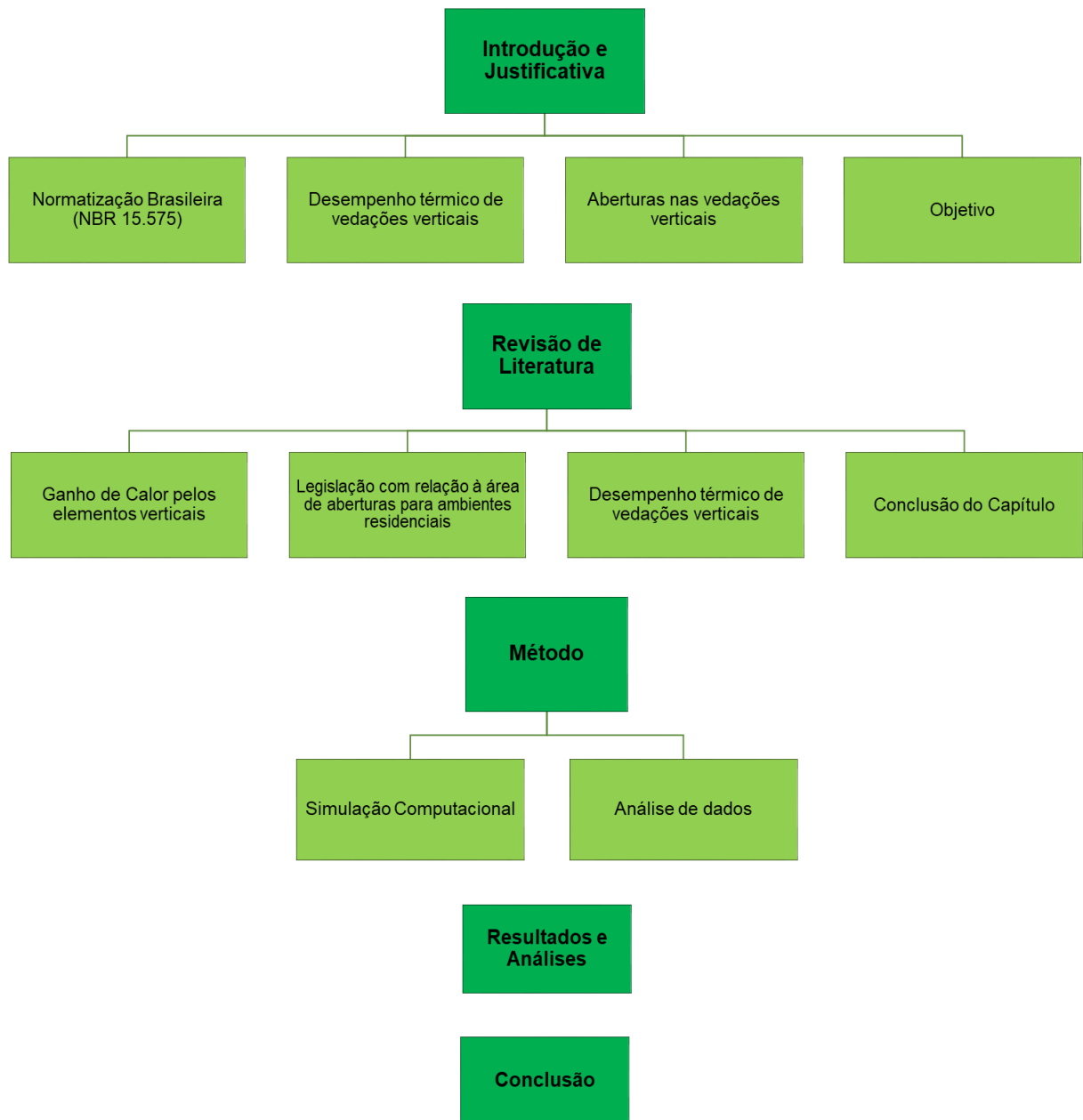
CAPÍTULO 3: O capítulo três apresenta o método utilizado para a realização do presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), discute-se o tópico simulação computacional, no qual é apresentado o modelo a ser trabalhado, ou seja, a definição dos modelos utilizados, assim como os parâmetros e os softwares utilizados para realização das simulações e como se dão essas através de um passo a passo da realização da simulação, e as análises de dados gerados pelos programas.

CAPÍTULO 4: No capítulo quatro, são apresentados os resultados e as análises destes, após a realização das simulações. Primeiramente os resultados e discussões são apresentados de maneira geral, e em seguida faz-se uma análise de acordo com os parâmetros utilizados e as áreas de abertura.

CAPÍTULO 5: No último capítulo do trabalho, apresenta-se a conclusão.

A seguir a Figura 1 mostra um esquema com as etapas deste trabalho e a sua distribuição ao longo do texto deste documento.

Figura 1 - Esquema da Estrutura do Texto



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

2 REVISÃO DA LITERATURA

Para a realização deste projeto realizou-se uma revisão de literatura, através de uma pesquisa bibliográfica, no qual segundo Gil (2010, p. 29) uma pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de pesquisa em livros, artigos científicos, monografias, teses de mestrados, entre outros. Cervo e Bervian (1983, p. 55) escrevem que a pesquisa bibliográfica explica um problema a partir de referenciais teóricos publicados em documentos.

Este trabalho se propõe a avaliar como varia o comportamento térmico de ambientes internos em função das diferenças de características térmicas dos materiais de fechamento vertical de ambientes residenciais. Para isso, dividiu-se a revisão de literatura nos seguintes tópicos: (i) ganho de calor pelos elementos verticais (opacos e transparentes); (ii) legislação brasileira com relação à área de aberturas para ambientes residenciais, sendo estas o Código de obras de Florianópolis (FLORIANÓPOLIS, 2000), NBR 15.575 (ABNT, 2013), NBR 15.220 (ABNT, 2005); (iii) Métodos de avaliação do desempenho térmicos de vedações verticais pela NBR 15.575 (métodos simplificado, simulação computacional e medição in loco).

2.1 Ganho de calor pelos elementos verticais

O ganho de calor em um ambiente interno, advém de uma parcela de radiação transmitida para o interior do ambiente e atua diretamente nas condições de conforto do mesmo. Sendo que os materiais e elementos construtivos se comportam termicamente diferente, de acordo com suas propriedades térmicas. É a partir desse conceito, juntamente aos conceitos de transmissão de calor e comportamento térmico dos fechamentos opacos ou transparentes, que os profissionais se embasam para dimensionar e especificar as aberturas e materiais a serem empregados nas edificações (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

O vidro é classificado como agente causador de desconforto térmico em uma edificação, sendo um elemento interferente nas condições térmicas do ambiente. As propriedades térmicas do vidro o tornam vulnerável quando comparado aos elementos opacos no que diz respeito às trocas térmicas com o ambiente externo (TSIKALOUDAKI et. al., 2012). Segundo Lamberts; Dutra; Pereira (2014), a grande

diferença entre o elemento opaco e o elemento transparente, está na radiação que atravessa o vidro diretamente. A radiação solar é um dos fatores de maior impacto nas trocas térmicas que ocorrem por janelas, visto que estas utilizam como elementos de fechamentos o vidro, normalmente transparente, os quais transmitem grande parte da radiação solar (MARINOSKI, 2005, p. 19).

Embora a abertura apresente pequenos percentuais da área total do fechamento, o fluxo de calor que entra no ambiente através da mesma representa praticamente 50% deste total, sendo assim o ganho térmico total através das janelas é quase seis vezes superior ao ganho pelo fechamento opaco. Concluindo assim que os fechamentos transparentes são os principais elementos de ganhos ou perdas térmicas em edificações (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

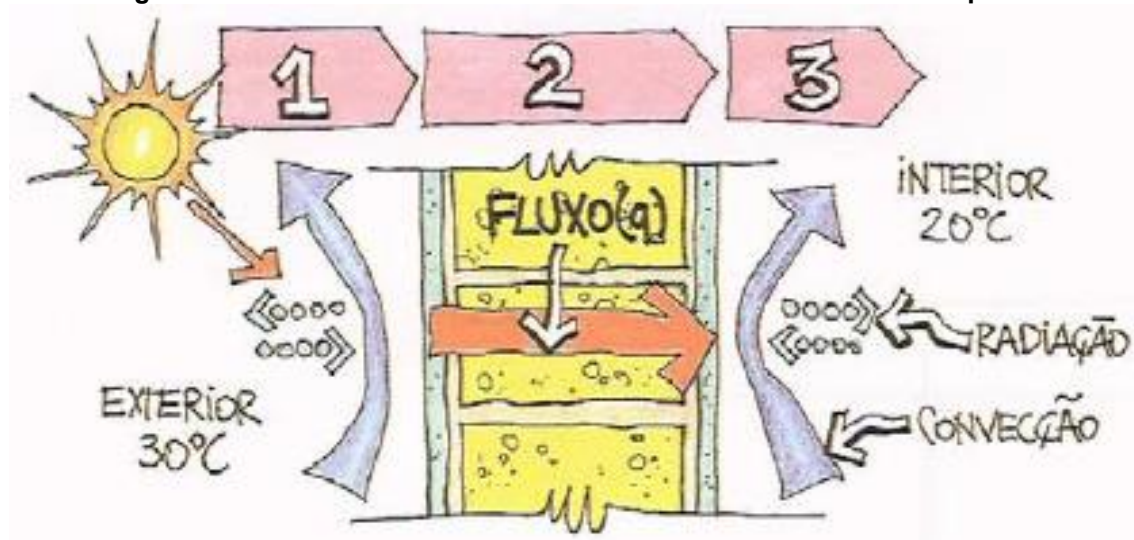
Segundo Frota; Schiffer (2000) os elementos de uma edificação quando expostos aos raios solares, diretos ou difusos, são classificados como, elementos opacos e elementos transparentes (ou translúcidos). A seguir discorre-se sobre as formas de ganho térmico através desses elementos.

2.1.1 Elementos Opacos

Nas vedações verticais que são constituídas por elementos opacos, a transmissão de calor ocorre a partir de uma diferença de temperatura entre a superfície interna e externa de um ambiente, sendo que o fluxo de calor será sempre da superfície mais quente para a mais fria. Em paredes orientadas a oeste, como o sol incide direto nos períodos do dia com maiores temperaturas há um incremento do fluxo de calor para o interior da edificação (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Este fenômeno está dividido em três fases, no qual englobam as três formas de transmissão de calor: (i) condução; (ii) convecção; (iii) radiação. Conforme Figura 2 a seguir:

Figura 2 - As três fases da transmissão do calor nos fechamentos opacos



Fonte: Luciano Dutra ®.

Na **fase 1** a troca de calor ocorre com o meio externo, a superfície externa do fechamento irá receber calor do meio por **convecção e radiação**, havendo assim um incremento da temperatura da superfície, que dependerá da resistência superficial externa (R_{se}) desta, o valor da resistência é em função do vento e de forma simplificada é adotado um valor tabelado de $0,04 \text{ [m}^2\text{K/W]}$. A radiação terá uma parcela refletida e outra absorvida, no qual, dependerá da refletividade (ρ) e absorvância (α) do material, a última varia conforme a cor da superfície, cores escuras possuem maiores valores de absorvância (0,7 a 0,9), as cores claras tem valores menores (0,2 a 0,5) (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Para que ocorra troca de calor por convecção os dois corpos devem estar em contato molecular de forma que o começo do processo se realize por condução, sendo que um dos dois corpos deve ser um fluido. Quando se trata de superfícies verticais, as trocas de calor por convecção são ativadas pela velocidade do ar, nesse caso mesmo que o movimento do ar advinha de fontes naturais, como o vento, o mecanismo de troca entre a superfície e o ar passa a ser considerado convecção forçada (RIVERO, 1986; FROTA; SCHIFFER, 2000).

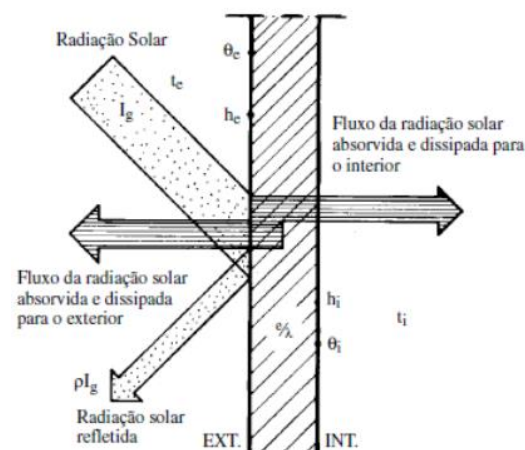
As variáveis que intervêm no processo de transmissão de calor por convecção são muitas, sendo este tipo de troca de calor um processo complexo, no qual se torna difícil de se determinar, por isso adotam-se valores tabelados.

A radiação ocorre mediante uma dupla transformação da energia: uma parte do calor do corpo com maior temperatura se converte em energia radiante que chega até o corpo com menor temperatura, onde é absorvida numa proporção que

depende das propriedades da superfície receptora, sendo novamente transformada em calor.

Quando uma parede opaca é exposta à radiação solar e sujeita a uma determinada diferença de temperatura entre os ambientes que separa, os mecanismos de trocas de calor se comportam conforme a Figura 3 apresentada a seguir (FROTA; SCHIFFER, 2000).

Figura 3 - Trocas de Calor por radiação através de paredes opacas



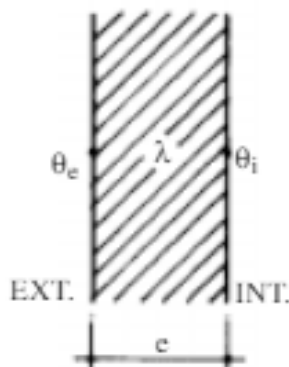
Fonte: Frota; Schiffer (2000).

Observa-se que quando a radiação solar incide sobre a parede opaca, parte é absorvida e dissipada para o interior ou exterior, sendo uma parte refletida. A energia absorvida se transforma em calor e a refletida não sofre nenhuma modificação.

Na **fase 2** ocorre a transmissão de calor por **condução** através do fechamento. Com o aumento da temperatura da superfície externa, ocorrerá uma diferença de temperatura entre a superfície externa e a interna, que resultará na troca de calor entre as duas. Nesta etapa a intensidade do fluxo de calor dependerá da condutividade térmica do material (λ) [W/(m.K)], valor este determinado por equipamentos denominados condutivímetros, e tabelados em normas e livros técnicos. A condutividade térmica depende da densidade de cada material, e representa a capacidade de conduzir mais ou menos calor por unidade de tempo. Nesta fase a espessura do fechamento também é uma variável importante, pois através da espessura é possível se determinar a resistência térmica do fechamento [(m².K)/W], propriedade esta que o material tem de resistir a passagem de calor (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Portanto, a transmissão de calor por condução ocorre por contato molecular e suas temperaturas são diferentes, ou seja, o calor se propaga em todas as direções, pois, se um corpo está com uma temperatura e elevamos esta temperatura em um ponto, o fluxo de calor se dirigirá a todos os pontos de menor temperatura que o rodeiam (RIVERO, 1986).

Figura 4 - Trocas de calor por condução



Fonte: Frota; Schiffer (2000).

Segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005) a resistência térmica do material é o quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário, ou seja, é definida pela espessura do material pela sua condutividade térmica, conforme a equação 1.

$$R = \frac{e}{\gamma} [m^2.K/W] \quad (1)$$

No qual:

R = Resistência térmica do material [(m².K)/W]

e = Espessura do material [m]

γ = Condutividade térmica [W/(m.K)]

Por fim, ocorre a **terceira fase**, no qual ocorre a troca de calor com o meio interno. O processo é idêntico ao que ocorre na fase 1, ou seja, as trocas ocorrem por **convecção e radiação**. Porém, nesta etapa, com a chegada de calor a superfície interna, a temperatura desta irá aumentar em relação a temperatura do ar. Nesta fase

as perdas de calor dependerão da resistência superficial interna (R_{si}) [$(m^2.K)/W$] e as perdas por radiação dependerão da emissividade do material (ϵ), valores encontrados tabelados em normas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Cada uma das camadas de um fechamento opaco apresenta uma resistência térmica distinta, e sabendo a resistência térmica total ($R_{si} + R + R_{se}$), tem-se a transmitância térmica (U). De acordo com a NBR 15.575 (ABNT, 2013) transmitância térmica é:

Transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo, dos vidros e dos componentes opacos das paredes externas, incluindo as resistências superficiais interna e externa, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes.

É através da transmitância térmica que se pode avaliar o comportamento térmico de um fechamento opaco, sendo que cada sistema possui seu valor. Em termos de cálculo a transmitância térmica é o inverso da resistência térmica total, conforme fórmula a seguir:

$$U = \frac{1}{R_T} [W/m^2.K] \quad (2)$$

Onde:

U = Transmitância Térmica [$W/m^2.k$];

R_T = Resistência Térmica Total [$m^2.K/W$].

Além da transmitância térmica, deve-se levar em questão a capacidade térmica de um fechamento, que segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2013) é a “quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema em $kJ/(m^2.K)$ ”. Calculada conforme a fórmula que segue:

$$C_T = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_1 + (e \cdot c \cdot \rho)_2 + \dots (e \cdot c \cdot \rho)_n \quad [kJ/m^2.K] \quad (3)$$

No qual:

e_i : espessura do elemento [m];

c_i : calor específico do elemento [$kJ/kg.K$];

ρ_i : densidade de massa aparente do material [kg/m^3].

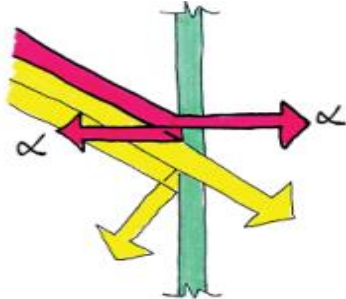
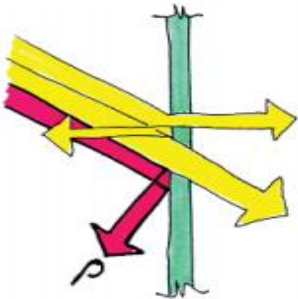
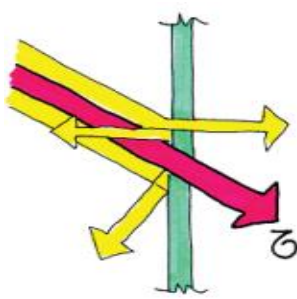
É importante destacar que para a execução deste trabalho, serão considerados valores tabelados para as variáveis citadas acima.

2.1.2 Elementos Transparentes

É através dos elementos transparentes de uma edificação que ocorrem as principais trocas térmicas. Nesses elementos podem ocorrer também os três tipos de trocas térmicas: condução, convecção e radiação. Só que a radiação é o principal fator que influencia nas trocas térmicas deste elemento, devido parcela de radiação que é transmitida diretamente ao interior da edificação, no qual depende da transmissividade do vidro (T). As trocas por condução e convecção, ocorrem como nos elementos opacos, com a única diferença que para os elementos transparentes há a possibilidade de controle das trocas de ar entre os ambientes externo e interno, devido abertura e fechamento destes (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Para os fechamentos transparentes a problemática encontra-se no controle das parcelas de radiação que são transmitidas diretamente, absorvida e reemitida para o interior (MARINOSKI, 2005, p. 19). A Tabela 1 exemplifica e explica cada uma das três parcelas (absorvida, refletida e transmitida) da radiação solar incidente num elemento transparente.

Tabela 1 - Comportamento da radiação solar incidente em um fechamento transparente

Vidro x parcela absorvida da radiação solar.	Vidro x parcela refletida da radiação solar.	Vidro x parcela transmitida da radiação solar.
		
1. A parcela absorvida se converte em calor no interior do elemento transparente e pode ser reemitida tanto para o exterior quanto para o interior.	2. Parcela refletida pelo vidro, ocorre quando o ângulo de incidência de radiação for maior, assim quanto maior o ângulo, maior a parcela refletida.	3. Através da transparência do vidro, uma parte da radiação solar é transmitida diretamente para o interior da edificação.

Fonte: Adaptado de Luciano Dutra ®.

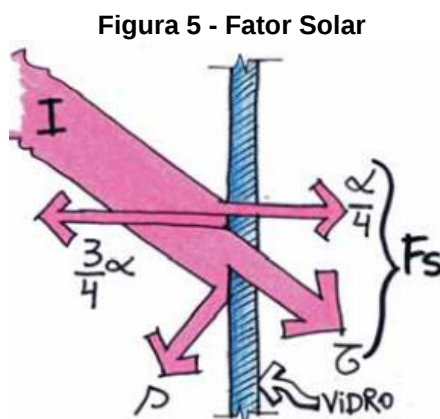
Os vidros estão sendo cada vez mais utilizados em fachadas, pois o contato visual com o exterior, a luz natural e o calor do sol, são utilizados na maior parte do dia pelas pessoas em suas atividades diárias, entretanto, a transparência em excesso pode ser indesejada. O que pode ocorrer é um superaquecimento no ambiente interno em períodos de calor, ou a perda do calor interno em períodos de frio (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Através dos fechamentos transparentes as trocas de calor entre ambiente externo e interno ocorrem de forma mais intensa, quando o vidro utilizado é o simples. Devido a essa problemática, foram desenvolvidos diferentes tipos de vidros que apresentam baixa transmissividade, se tornando assim uma alternativa para a utilização de fachadas envidraçadas ou fachadas com amplas áreas de aberturas.

2.1.3 Fator Solar

O Fator Solar (FS), é um índice utilizado para avaliar a capacidade de sombreamento de uma abertura. Ou seja, conhecer a quantidade de calor que penetra em um ambiente através de uma janela ou sistema de abertura com proteções solar. É definido como sendo a fração de ganho térmico através de uma abertura. O Fator Solar é a soma da radiação direta transmitida, mais a porção absorvida que é posteriormente retransmitida para o ambiente interno (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 221; MARINOSKI, 2005, p. 21). A equação 4, apresenta a forma de estimar o Fator Solar e a Figura 5 exemplifica como ocorre o F.S.

$$F_s = \tau + \frac{\alpha}{4} \quad (4)$$



Fonte: Luciano Dutra ®.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014) o F.S. de uma abertura é a razão entre a quantidade de calor solar que atravessa a abertura pelo que incide nela, porém este valor varia de acordo com cada tipo de abertura e o ângulo de incidência da radiação solar. Por exemplo um vidro transparente de 3mm, se o F.S. for de 0,87, isso significa que 87% da radiação solar que incide sobre a abertura passa para o interior do ambiente. Já um vidro com a mesma espessura, porém sendo cinza fumê o F.S. é de 0,72. A utilização de películas pode reduzir o fator solar variando de 0,25 a 0,50 e ainda se associados com proteções solares esse F.S. pode reduzir muito mais (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 226).

2.2 Legislação com Relação à Área de Aberturas para Ambientes Residenciais

A normatização brasileira referente a elementos de fechamento do envoltório das edificações, até recentemente esteve direcionada para o estabelecimento de certificação do produto em relação ao desempenho técnico, quando submetido à ação de intempéries e a resistência a cargas externas. Sendo assim, devido a inexistência de normas acerca desses aspectos, houve a criação de normas específicas voltadas para o desempenho das edificações, com o objetivo de atender às exigências dos usuários com relação ao seu comportamento em uso.

Para edificações de interesse social existem normas que apresentam diretrizes construtivas para a fase de projeto (RODRIGUES, 2008, p. 84; RODRIGUES, 2015, p. 75).

Neste item do trabalho será apresentado o que normas (NBR 15.575 e NBR 15.220) e o Código de Obras e Edificações do município de Florianópolis apresentam sobre área de aberturas para ventilação e iluminação, e sistemas construtivos para fechamentos verticais de edificações residenciais.

2.2.1 Código de Obras e Edificações de Florianópolis e Áreas de Aberturas

O Código de Obras é um conjunto de leis que permite a administração municipal, controlar e fiscalizar o espaço construído e seu entorno, é no Código de Obras que estão definidos os conceitos básicos que garantem às edificações

o conforto ambiental, segurança, conservação de energia, salubridade e acessibilidade.

O Código de Obras e Edificações de Florianópolis (FLORIANÓPOLIS, 2000), instituído pela Lei Complementar nº 060/2000, tem como objetivos orientar os projetos e as execuções de obras e edificações no município, visando o progressivo aperfeiçoamento da construção e o aprimoramento da arquitetura das edificações e assegurar a observância promovendo a melhoria dos padrões mínimos de segurança, higiene, salubridade e conforto das edificações de interesse para a comunidade.

No capítulo VI são apresentadas diretrizes a respeito da iluminação e ventilação dos compartimentos da edificação. No qual, no art. 105, o Código de Obras traz a obrigatoriedade de que em todo e qualquer compartimento deverá ter comunicação com o exterior através de vãos ou dutos, pelos quais se fará a iluminação e ventilação ou somente a ventilação do mesmo. No artigo seguinte, art. 106, é definida a área mínima desses vãos de acordo com o grupo que a edificação está inserida. Para as edificações residenciais os grupos estão classificados em A e B, sendo assim a área mínima para o vão (abertura) deve respeitar 1/6 da área do compartimento, ou seja, 1/6 da área de piso. Segundo o art. 110; “Metade da área dos vãos deverá ser destinada à ventilação do compartimento e a sua totalidade à iluminação do mesmo. ” (FLORIANÓPOLIS, 2000, pg. 29).

Um exemplo de abertura no qual apresenta metade de sua área para ventilação ou iluminação são as janelas de correr, formadas por uma ou várias folhas que podem ser movimentadas por deslizamento horizontal, no plano da janela.

Verifica-se que o Código de Obras e Edificações, apesar de apresentar como um dos objetivos a observância de conforto na edificação, apresenta diretrizes básicas, limitadas apenas a valores mínimos, ou seja, estará de acordo a edificação que apresentar abertura com tamanho de 1/6 da área de piso.

2.2.2 NBR 15.220 e Áreas de Aberturas

Em 2005, foi publicada a NBR 15220, Norma de Desempenho Térmico para Edificações de Interesse Social (ABNT, 2005). A normatização do desempenho térmico no Brasil, iniciou com o surgimento desta norma, definindo o zoneamento bioclimático brasileiro e as estratégias bioclimáticas para edificações de interesse social aplicáveis na fase de projeto. Ao mesmo tempo em que estabelece um

Zoneamento Bioclimático Brasileiro, são feitas recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno fixados.

A NBR 15.220 (ABNT, 2005) propõe a divisão do território brasileiro em oito zonas bioclimáticas quanto ao clima, conforme a Figura 6 e, para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.

Figura 6 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro



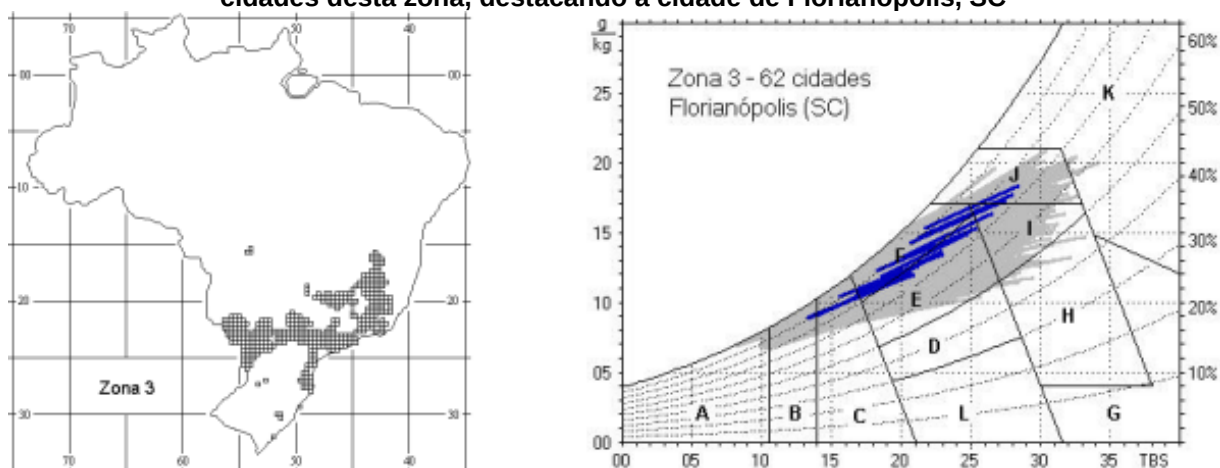
Fonte: Luciano Dutra ®.

Segundo a NBR 15.220 (ABNT, 2005) para a formulação das diretrizes construtivas para cada Zona Bioclimática e para o estabelecimento das estratégias de condicionamento térmico passivo, foram considerados os seguintes parâmetros e condições de contorno: tamanho das aberturas para ventilação; proteção das aberturas; vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura) e estratégias de condicionamento térmico passivo.

Para a Zona Bioclimática 3, zona onde a cidade de Florianópolis está inserida, conforme a Figura 7, as recomendações para aberturas são, aberturas para ventilação no tamanho médio, que segundo a mesma norma são aberturas com áreas entre 15% a 25% da área do piso, e o sombreamento das mesmas deve permitir sol

durante o inverno. As vedações externas devem ser paredes leves refletoras, a cobertura deve ser leve isolada e como estratégia de condicionamento térmico passivo para o verão tem-se ventilação cruzada e para o inverno aquecimento solar e vedações internas pesadas.

Figura 7 - Zona Bioclimática 3 e Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Florianópolis, SC



Fonte: NBR 15.220 (2005).

Estas recomendações não consideram fatores como a distribuição das aberturas no ambiente, a tipologia da esquadria, a localização das mesmas, a velocidade e direção predominante dos ventos e a orientação solar para qual a abertura está voltada, fatores que estão diretamente ligados a condição de desempenho térmico da edificação (TIBÚRCIO, 2017, p. 71).

2.2.3 NBR 15.575 e Áreas de Aberturas

A Norma de Desempenho, NBR 15.575 (ABNT, 2013), é a primeira norma brasileira que trata do desempenho da edificação habitacional com foco nas exigências e expectativas dos usuários em relação ao conforto e a segurança no uso. Desde julho do ano de 2013 o setor da Construção Civil teve que garantir que as novas edificações habitacionais atendam às exigências de desempenho, em relação à segurança, habitabilidade e a sustentabilidade. Sendo assim, considera-se que as exigências dos usuários estão sendo atendidas se os requisitos e critérios forem atendidos.

A NBR 15.575 (ABNT, 2013) está dividida em seis partes: 1. Requisitos gerais; 2. Requisitos para os sistemas estruturais; 3. Requisitos para os sistemas de

pisos internos; 4. Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas; 5. Requisitos para os sistemas de cobertura; 6. Requisitos para os sistemas hidrossanitários. Cada parte da norma foi organizada por elementos da construção, percorrendo uma sequência de exigências, como já citado acima, relativas à segurança (desempenho mecânico, segurança contra incêndio, segurança no uso e operação), habitabilidade (estanqueidade, desempenho térmico e acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil) e sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental).

Segundo Silva et. al. (2014) a Norma de Desempenho, representa um avanço para o setor da construção civil no país, caracterizando um passo importante para a qualidade das edificações e seu desempenho nas diversas vertentes.

Um dos requisitos analisados pela norma está relacionado à habitabilidade e ao desempenho térmico de edificações habitacionais, que pode ser analisado através de dois métodos que serão explanados nos itens a seguir. A norma apresenta os requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de vedações verticais externas, através dos requisitos de adequação das paredes externas, no qual traz como critérios o atendimento ao desempenho mínimo para transmitância térmica e capacidade térmica das paredes externas.

Outro requisito está relacionado as aberturas para ventilação. Em relação as aberturas, a NBR 15.575 (ABNT, 2013), determina que em ambientes de permanência prolongada devem ter aberturas para ventilação com áreas que atendam à legislação do local da obra. Caso não existam exigências de ordem legal municipal para o local de implantação da obra, é estabelecida uma relação entre a área de abertura e a área de piso do ambiente para cada Zona Bioclimática, assim como é estabelecido na NBR 15.220 (ABNT, 2005), porém com algumas divergências em relação a estas áreas. Para as zonas bioclimáticas de 1 a 7, onde a cidade de Florianópolis se insere, a NBR 15.575 (ABNT, 2013) recomenda aberturas médias, que segundo a norma são aberturas com área maior ou igual que 7% da área do piso do ambiente.

Nota-se que ocorre uma generalização das estratégias para diferentes cidades localizadas em diferentes Zonas Bioclimáticas, como pode-se observar para as zonas de 1 a 7, pois as cidades englobadas nessas zonas possuem a mesma exigência para a área de abertura, assim como as cidades localizadas na zona 8, que

apesar de ser apenas uma zona, esta inclui bastante cidades e uma área territorial extensa.

Além disso, não levam em consideração a orientação solar no qual a abertura estará voltada, nem explicam se a área mínima é para ventilação ou só para iluminação do ambiente em questão, estando limitado apenas a área de abertura em relação a área de piso. Também não limitam a área máxima em relação ao piso ou a fachada da edificação.

2.3 Desempenho Térmico de Vedações Verticais

O desempenho térmico de vedações verticais pode ser avaliado através de dois métodos apresentados pela NBR 15.575 (ABNT, 2013). A norma propõe critérios mínimos para se atingir um desempenho mínimo da vedação que compõe o edifício habitacional. A seguir, serão destacados os métodos de avaliação do desempenho térmico em edificações residenciais pela norma.

2.3.1 Métodos de avaliação do desempenho térmico em edificações residenciais pela NBR 15.575

A NBR 15.575 estabelece dois procedimentos para a avaliação de desempenho térmico numa edificação, o procedimento normativo e o informativo (ABNT, 2013). O procedimento normativo se subdivide em dois métodos: o simplificado e o por simulação computacional. O método simplificado é a verificação ao atendimento aos requisitos e critérios de características térmicas, transmitância térmica e capacidade térmica, das vedações verticais e coberturas. Se não houver o atendimento ao desempenho térmico mínimo pelo método simplificado, adota-se o procedimento pela simulação computacional. O procedimento informativo, trata-se da verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na ABNT NBR 15575-1, por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos. Este método é de caráter meramente informativo e não se sobrepõe aos procedimentos descritos no método simplificado (normativo).

Abreu et al. (2017) comenta, que o método simplificado da NBR 15.575 não esclarece como deve ser o procedimento de cálculo de transmitância térmica e

capacidade térmica com vedações verticais que apresentam aberturas externas. Pois em um ambiente com uma parede que apresenta a área de janela predominante, os valores de transmitância e capacidade térmica ponderados por área de fachada seriam outros que só considerar os valores dos elementos opacos. Além disso, o método simplificado não considera a orientação solar dos fechamentos verticais.

A seguir apresentam-se os valores dos critérios e requisitos de desempenho térmico estabelecidos pela norma, para Florianópolis (Zona Bioclimática 3).

2.3.1.1 *Método Simplificado*

Para considerar que uma edificação satisfaça as exigências dos usuários, determinados requisitos devem ser atendidos, obedecendo critérios estabelecidos para cada um deles. Com o objetivo de satisfazer as necessidades básicas de desempenho, os diferentes sistemas têm requisitos mínimos de desempenho (M), os quais devem ser considerados e atendidos em todos os casos.

Segundo o método simplificado, o atendimento à NBR 15.575 (ABNT, 2013) ocorre através da verificação dos valores de transmitância térmica e de capacidade térmica das paredes externas e da transmitância térmica da cobertura. Neste trabalho, será considerado apenas a transmitância térmica e capacidade térmica das paredes externas, pois o objetivo é verificar o ganho térmico através das vedações verticais, desconsiderando o ganho térmico pela cobertura, ou a perda de calor para o solo.

As Tabela 2 e Tabela 3 apresentam os valores máximos de transmitância térmica e mínimos de capacidade térmica de vedações verticais (paredes) para edificações multifamiliares de acordo com a Zona Bioclimática 3, onde Florianópolis está inserida.

Tabela 2 - Valores de Transmitância e capacidade térmica para paredes
Transmitância Térmica U paredes (W/m².K)

Zona 3	
$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$
$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

Fonte: Adaptado da NBR 15.575-4 (ABNT, 2013).

Tabela 3 - Capacidade Térmica de paredes externas
Capacidade Térmica paredes (kJ / m².K)

Zona 3
$\geq 130 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$

Fonte: Adaptado da NBR 15.575-4 (ABNT, 2013).

Pelo que se observa na Tabela 2, os valores de transmitância térmica são mais restritivos para paredes mais escuras de acordo com α , que é a absorptância à radiação solar da superfície externa da parede, podendo ter-se uma transmitância térmica mais elevada no caso de se adotar paredes mais claras.

Verifica-se que o método simplificado se restringe apenas a esses critérios, desconsiderando o sistema de vedação como um todo, ou seja, sendo apenas aplicado para as paredes externas, desconsiderando as aberturas, independentemente da localização das mesmas, orientação solar, forma, tamanho, entre outros aspectos que influenciam no desempenho de uma vedação vertical.

2.3.1.2 *Simulação Computacional*

A simulação computacional deve ser realizada quando a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme o método simplificado, resultar em desempenho térmico insatisfatório, assim o projetista deve avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional (ABNT, 2013).

A NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) traz os requisitos, critérios e métodos a serem respeitados e utilizados para a avaliação do desempenho térmico por simulação computacional. Como requisitos a norma apresenta-se dividida em exigências de desempenho no verão e exigências de desempenho no inverno. O critério de desempenho térmico mínimo de verão por simulação (sem fontes internas de calor) é que a temperatura máxima interna seja sempre inferior ou igual ao valor da temperatura máxima externa no dia típico de verão. Segundo a norma, para Florianópolis um dia típico de verão tem temperatura máxima diária de 32,7°C. Para o inverno, o critério de desempenho térmico mínimo é que a temperatura interna mais baixa seja no mínimo 3°C mais elevada que a temperatura externa mínima num dia típico de inverno, que é de 6°C.

Os valores e critérios de desempenho térmico estabelecidos pela NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) são em função da zona bioclimática do local.

A Tabela 4, a seguir, apresenta o critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão para edificações multifamiliares em Florianópolis – SC. Enquanto a Tabela 5 apresenta o critério de avaliação de desempenho térmico para as condições de inverno.

Tabela 4 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão para edificações multifamiliares na cidade de Florianópolis

Nível de desempenho	Critério
	Zona 3
M (Mínimo)	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
I (Intermediário)	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ} \text{C})$
S (Superior)	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^{\circ} \text{C})$

$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
 $T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;
 $T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
 $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

Fonte: Adaptado da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013).

Tabela 5 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno para edificações multifamiliares na cidade de Florianópolis

Nível de desempenho	Critério
	Zona 3
M (Mínimo)	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ} \text{C})$
I (Intermediário)	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^{\circ} \text{C})$
S (Superior)	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^{\circ} \text{C})$

$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
 $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

Fonte: adaptado da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013).

A norma traz diretrizes sobre a realização da simulação. No qual, destaca que para a realização das simulações computacionais devem ser utilizados valores de referências de localização geográfica da cidade e os dados climáticos correspondentes aos dias típicos de projeto de verão e de inverno. A norma ainda traz uma sugestão de programa para a realização da simulação, ela recomenda o uso do programa EnergyPlus. Destaca-se que pode ser utilizado outro software, desde que o programa permita a determinação do comportamento térmico de edificações sob

condições dinâmicas de exposição ao clima, sendo capazes de reproduzir os efeitos de inércia térmica e sejam validados pela ASHRAE Standard 140.

Para a geometria, deve ser considerada a habitação como um todo, considerando cada ambiente como uma zona térmica, e os materiais devem apresentar propriedades térmicas conforme exposto na norma.

Para edificações em fase de projeto a NBR 15.575 (ABNT, 2013) recomenda que a simulação computacional deve ser realizada em um dia típico de projeto, de verão e de inverno. Deve-se simular todos os recintos da unidade habitacional, considerando as trocas térmicas entre os seus ambientes e avaliar os resultados dos recintos de longa permanência.

Do ponto de vista térmico mais crítico deve-se escolher a unidade habitacional que possui a orientação solar mais crítica, no qual segundo a norma, a condição mais crítica deve obedecer ao exposto na Tabela 6.

Tabela 6 - Parâmetros de condição crítica do ponto de vista térmico			
	Janela	Parede exposta	Observações
Verão	Voltada para oeste	Voltada para norte	O ambiente deve ter pelo menos uma janela voltada para oeste.
Inverno	Voltada para sul	Voltada para leste	O ambiente deve ter pelo menos uma janela voltada para sul.
Obstrução no entorno		Desobstruídas	
Obstrução por elementos construtivos previstos na edificação		Considerar dispositivos de sombreamento	

Fonte: adaptado da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013).

Deve-se ainda adotar uma taxa de ventilação do ambiente de 1 ren/h (renovação de ar/hora). A unidade ren/h significa o número de trocas de ar em um ambiente, e depende do volume do ambiente (m^3) e do fluxo de ar (m^3/s). E definir o valor de absorvância da superfície externa, de acordo com a cor e características dessa superfície, caso a cor não esteja definida, deve-se adotar para cores claras $\alpha = 0,3$, para cores médias $\alpha = 0,5$ e para cores escuras $\alpha = 0,7$.

Caso após simulação adotando esses critérios expostos acima para verão a unidade habitacional não atenda o exigido pela NBR 15.575 (ABNT, 2013), deve-se realizar nova simulação considerando os seguintes critérios.

Tabela 7 - Critérios de ventilação e sombreamento para simulação de verão

Ventilação/Sombreamento	Critérios
Ventilação	5,0 ren/h sem sombreamento.
Sombreamento	inserção de proteção solar externa ou interna da esquadria externa com dispositivo capaz de cortar no mínimo 50 % da radiação solar direta, com taxa 1,0 ren/h.
Ventilação + Sombreamento	Dispositivo de proteção solar e 5,0 ren/h.

Fonte: adaptado da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013).

Observa-se que o método de simulação computacional considera diversos fatores para obtenção do desempenho térmico da edificação, considerando absorvância solar, orientação solar, ventilação, sombreamento de aberturas e localização geográfica. Porém, conforme destacado por Abreu, et. al. (2017), a NBR 15.575 (ABNT, 2013) traz uma restrição quanto a data dos dias típicos de verão e inverno, ressaltando que o dia típico é caracterizado somente pelos valores de temperatura do ar medidos externamente no local, sem considerar um período do ano, visto que a irradiação solar tem grande variação de incidência em locais com baixa latitude.

2.3.1.3 *Medição in loco*

O segundo procedimento apresentado pela NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), trata-se do procedimento através de medição in loco, no qual tem caráter informativo, não se sobrepondo aos procedimentos estabelecidos no método simplificado. As medições devem ser realizadas em edificações ou protótipos construídos. Para a verificação do desempenho térmico através deste procedimento, as medições devem ser realizadas em um dia típico de verão e um dia típico de inverno, no qual, os critérios para atendimento a norma são os mesmos que os citados para a simulação computacional, conforme a Tabela 4 e Tabela 5.

Para a avaliação do desempenho térmico de edificações por meio de medição, a NBR 15.575-1 (2013) recomenda que seja feita em edificações em escala real (1:1), medindo a temperatura de bulbo seco no centro dos recintos a 1,20m do piso. As recomendações de medições em edificações multifamiliares multipiso é que sejam feitas no último andar.

2.4 Conclusão do Capítulo

Através da revisão de literatura realizada, estudou-se sobre o ganho térmico pelos elementos verticais, opacos e transparentes. Verificou-se que o elemento transparente, geralmente utilizado nas aberturas, apresenta um comportamento diferente do elemento opaco (parede), visto que os elementos transparentes são os responsáveis por realizar as principais trocas térmicas entre ambientes externo e interno em uma edificação. A radiação é o principal fator de influência, visto que sua parcela é transmitida diretamente ao interior do ambiente, diferentemente dos elementos opacos.

Tendo em vista essa problemática com os vidros presentes nas aberturas das vedações verticais, estudou-se a respeito da legislação brasileira com relação à área de aberturas para ambientes residenciais, destacando-se o Código de obras de Florianópolis (FLORIANÓPOLIS, 2000), NBR 15.575 (ABNT, 2013) e NBR 15.220 (ABNT, 2005). Pode-se verificar o caráter simplista das normas e do Código de Obras (FLORIANÓPOLIS, 2000).

O Código de Obras e Edificações de Florianópolis (FLORIANÓPOLIS, 2000) apresenta diretrizes limitadas apenas a valores mínimos de área de abertura, sendo que estará de acordo a edificação que apresentar abertura com tamanho de 1/6 da área de piso.

A NBR 15.220, apesar de delimitar um valor mínimo e máximo de área de aberturas, não considera, fatores como a distribuição das aberturas no ambiente, a tipologia, a localização, a velocidade e direção dos ventos e a orientação solar para qual a abertura está voltada.

A NBR 15.575 (ABNT, 2013) principal foco do estudo em questão, apresenta uma generalização das estratégias para diferentes cidades localizadas em diferentes Zonas Bioclimáticas. Além de não considerar a orientação solar, explicar a área mínima de ventilação ou só de iluminação, ficando apenas restrita ao percentual de área de piso e aos valores de transmitância e capacidade térmica da parede.

Sendo assim, aprofundou-se mais sobre a NBR 15.575 (ABNT, 2013), destacando-se os métodos utilizados para a verificação do desempenho térmico de vedações verticais. Os métodos normativos são dois: método simplificado, realizado através de cálculos, conforme a NBR 15.220 (ABNT, 2005); e a simulação computacional, realizada através de softwares de simulação a partir de modelos e

parâmetros normativos, método que será utilizado neste trabalho. Existe ainda um terceiro método que possui caráter informativo que é através de medição in loco, no qual são realizadas medições em situação real.

Portanto, após a realização da revisão de literatura, foi possível verificar que as normas se apresentam defasadas, com um caráter simplista, deixando de considerar parâmetros e aspectos importantes para a obtenção de resultados sobre o desempenho térmico de vedações verticais como um todo.

3 MÉTODO

Para avaliar o comportamento térmico de vedações verticais conforme a NBR 15.575 (ABNT, 2013), o método proposto para este trabalho apresenta uma análise comparativa de um mesmo modelo de ambiente de uma edificação multifamiliar, para diferentes parâmetros, com os dados climáticos de Florianópolis.

Sendo assim, a pesquisa realizada se caracteriza como quantitativa de caráter correlacional. Segundo Sampieri, Fernández, Lucio (2015) os estudos correlacionais são estudos que associam variáveis mediante um padrão previsível para um grupo ou população. Ao avaliar o grau de associação entre duas ou mais variáveis, medem cada uma delas e depois quantificam e analisam o vínculo.

Logo, para a elaboração deste, dividiu-se o método em duas partes: (i) Simulação computacional, no qual será abordado a definição do modelo, as avaliações paramétricas e os programas utilizados para a realização deste; e (ii) como foi realizada a análise dos dados.

3.1 Simulação Computacional

Para a realização do presente trabalho, foi utilizada a ferramenta de simulação computacional, de acordo com os critérios estabelecidos na NBR 15.575 (ABNT, 2013). As simulações computacionais foram realizadas através do software EnergyPlus, a partir da definição do modelo a ser trabalhado e avaliações paramétricas englobando diferentes orientações solar, sombreamentos, trocas de ar, tipo de parede e diferentes dimensões de aberturas. Os tópicos a seguir trazem como estes itens foram determinados e como foram realizadas as simulações computacionais.

3.1.1 Definição do Modelo

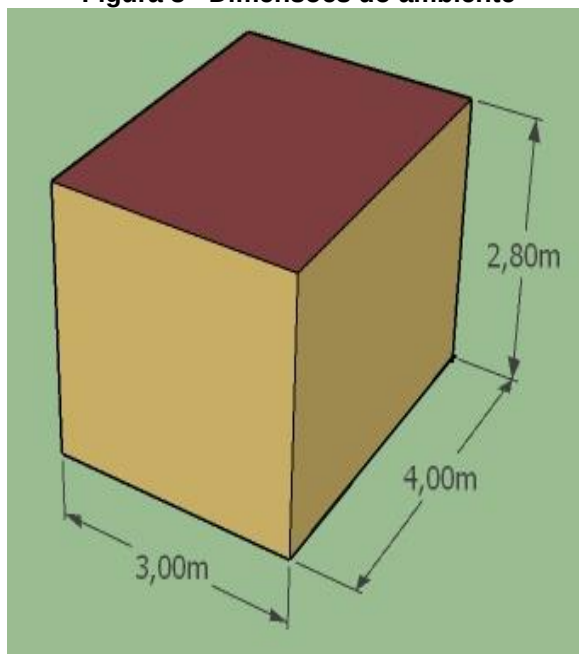
A fim de atingir os objetivos deste trabalho, foi necessário a definição de um modelo para a realização das simulações computacionais. Para isso, foram considerados aspectos referentes ao ambiente, ao tamanho do mesmo e ao tamanho

das aberturas, determinados a partir das diretrizes apresentadas no Código de Obras e Edificações de Florianópolis (Florianópolis, 2000) e NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2013) para a determinação do desempenho térmico em uma edificação deve-se considerar a avaliação de um ambiente de permanência prolongada, que é o caso de salas e dormitórios. Sendo assim, para este definiu-se o ambiente como sendo uma sala ou dormitório.

O tamanho do ambiente, foi definido a partir das diretrizes propostas pelo Código de Obras e Edificações de Florianópolis (FLORIANÓPOLIS, 2000), sendo assim, segundo o mesmo, para compartimentos de estar ou repouso, no caso sala de estar ou dormitório, a área mínima deve ser de 12,00 m² no primeiro caso e 11,00 m² no segundo. Sendo assim, definiu-se o ambiente com 12,00 m², com a finalidade de utilizar medidas com valores inteiros, para facilitar as simulações. As dimensões utilizadas serão de 3,00 m x 4,00 m, e pé direito 2,80 m. A escolha do tamanho do pé direito, foi definida acima do que é definido no Código de Obras (FLORIANÓPOLIS, 2000), no qual, apresenta que o dimensionamento mínimo de pé direito é de 2,60 m. A seguir apresenta-se a Figura 8, com um croqui do ambiente a ser modelado.

Figura 8 - Dimensões do ambiente



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Para determinar a dimensão das aberturas considerou-se as diretrizes do Código de Obras e Edificações de Florianópolis (FLORIANÓPOLIS, 2000), assim como as NBR's 15.575 e 15.220 (ABNT, 2013; ABNT, 2005). Optou-se por simular

aberturas com dimensões de **16,7%, 25% e 33,3%** da área de piso do ambiente (Tabela 8), considerando estas últimas como sendo janelas em fita.

Tabela 8 - Dimensões das aberturas		
Área de Piso	Percentual de Área de Piso	Tamanho da Abertura
12 m ²	16,7 %	2,00 m ²
	25 %	3,00 m ²
	33,3 %	4,00 m ²

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

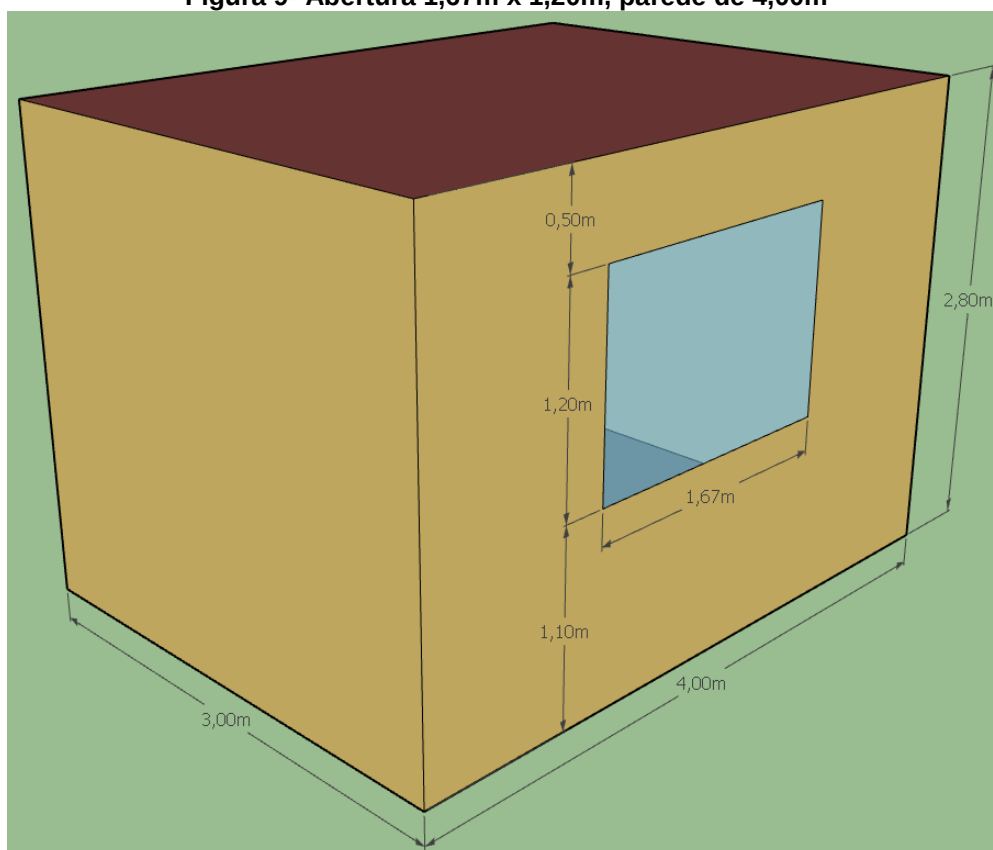
A primeira porcentagem (16,7%) é o que determina o Código de Obras (FLORIANÓPOLIS, 2000) como diretriz para o dimensionamento mínimo de aberturas, 1/6 da área do piso de um ambiente de grande permanência. Elimina-se assim, o que é proposto pela NBR 15.575 (ABNT, 2013), que segundo a norma são aberturas mínimas com área de 7% da área do piso do ambiente, pois o Código de Obras se sobressai.

O Código de Obras e Edificações de Florianópolis (FLORIANÓPOLIS, 2000) e a NBR 15.575 (ABNT, 2013) não trazem uma área máxima para as aberturas, somente a NBR 15.220 (ABNT, 2005), embasada na zona bioclimática. Pela NBR 15.220 (ABNT, 2005), Florianópolis está localizada na zona bioclimática 3, e a recomendação para as aberturas são áreas entre 15% a 25% da área do piso do ambiente. Por isso, a escolha pela área de 25% da área de piso.

Buscando um dimensionamento máximo, optou-se por trabalhar com janelas com área acima da NBR 15.220 (ABNT, 2005), pois os demais documentos norteadores não delimitam um tamanho máximo para as aberturas. Considerando uma janela numa parede de dimensões de 3 metros de largura (parede com menor dimensão de largura do ambiente) por 2,80 de altura, descontando uma viga de 0,30 metros e o peitoril de 1,10 metros (considerando ser um ambiente em edifício multifamiliar), resultam em uma área de janela de 1,40 metros de altura por 2,86 metros de largura, ou seja, uma abertura de 4,00 m², o que resulta em 33,3% da área de piso de 12 m².

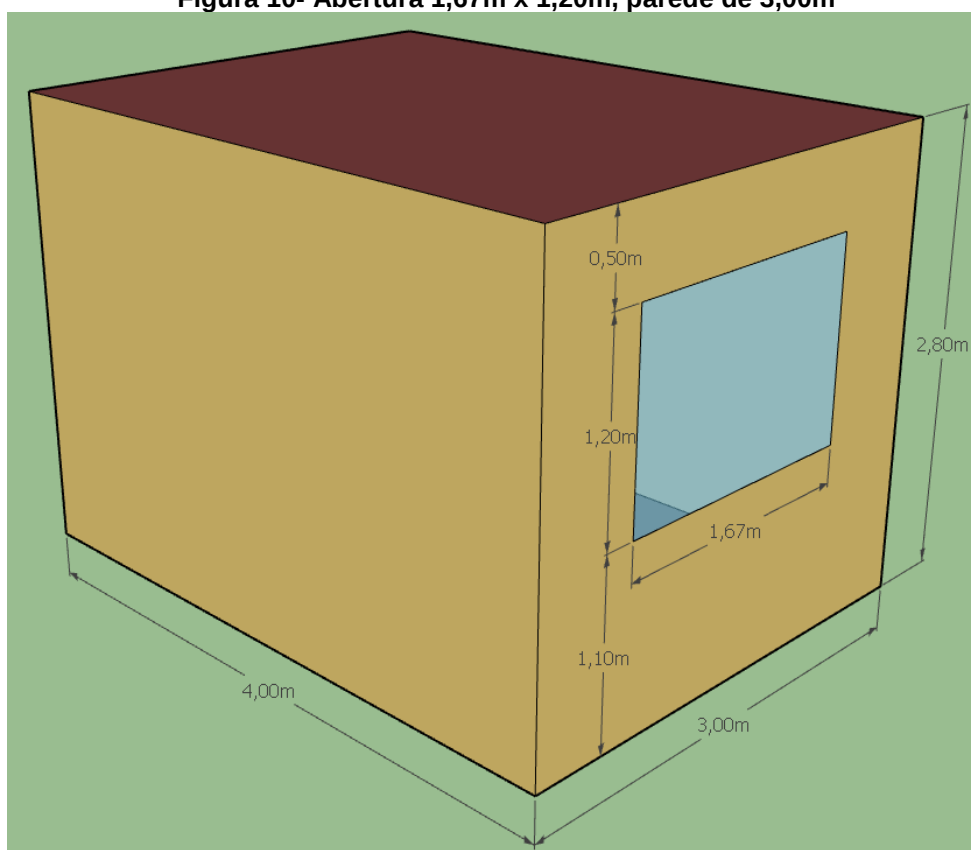
Além disso, definiu-se que para a realização das simulações apenas um tipo de vidro, que foi definido, após uma pesquisa informal realizada em construtoras da região, no qual verificou-se que o vidro mais utilizado é o simples de 3 mm transparente. A seguir apresenta-se nas Figuras 9 a 14 os seis modelos que foram descritos e definidos.

Figura 9- Abertura 1,67m x 1,20m, parede de 4,00m



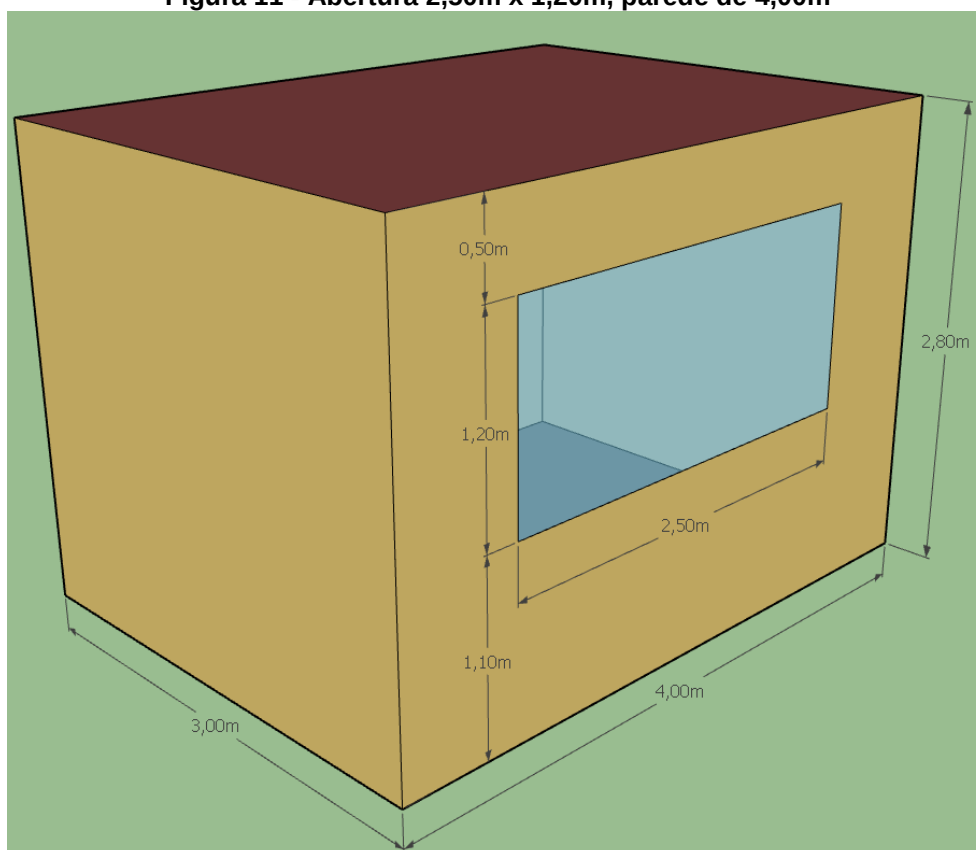
Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 10- Abertura 1,67m x 1,20m, parede de 3,00m



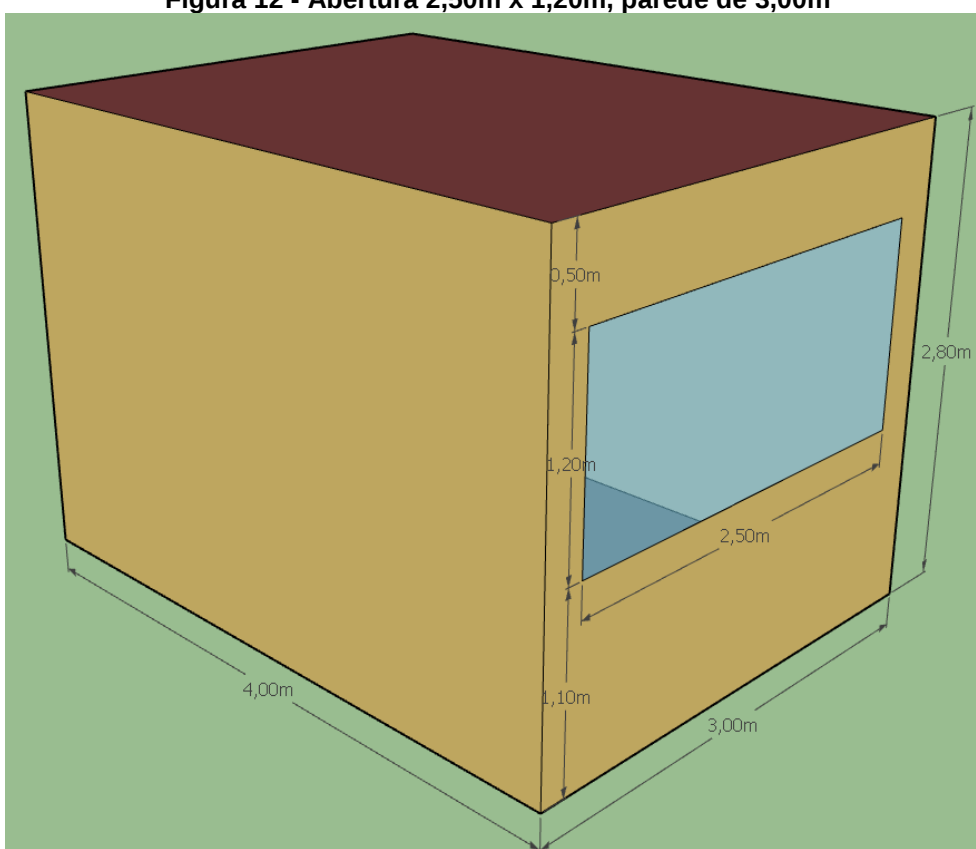
Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 11 - Abertura 2,50m x 1,20m, parede de 4,00m



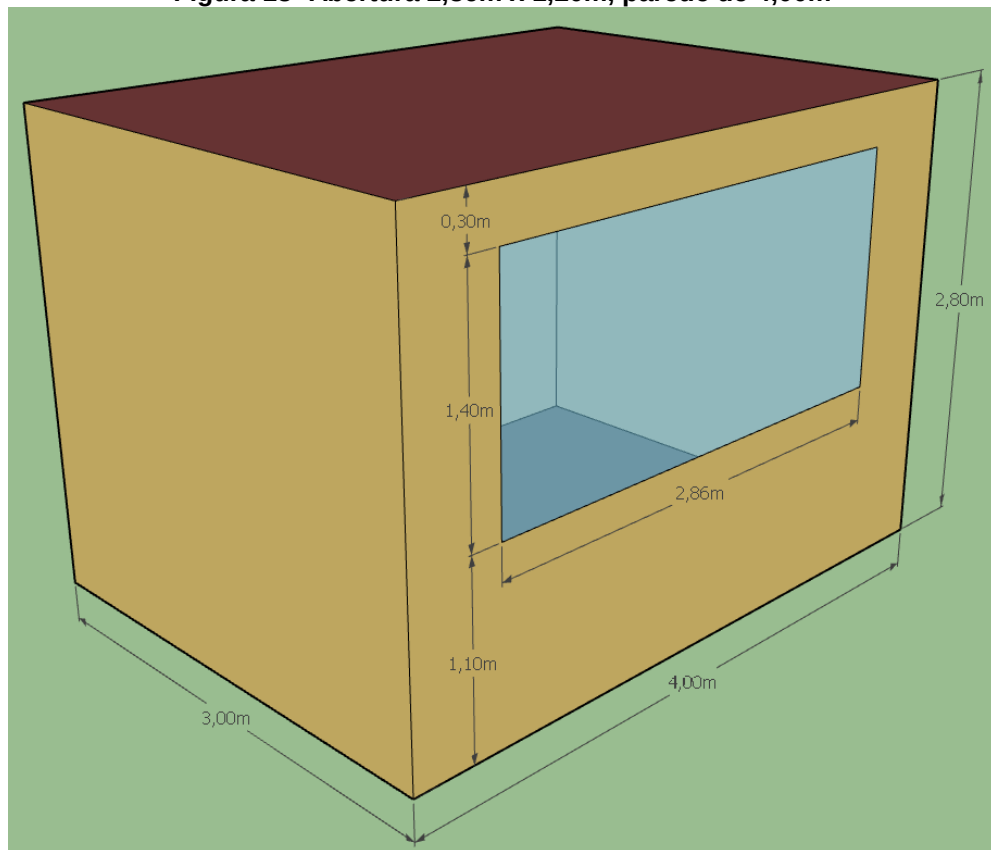
Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 12 - Abertura 2,50m x 1,20m, parede de 3,00m



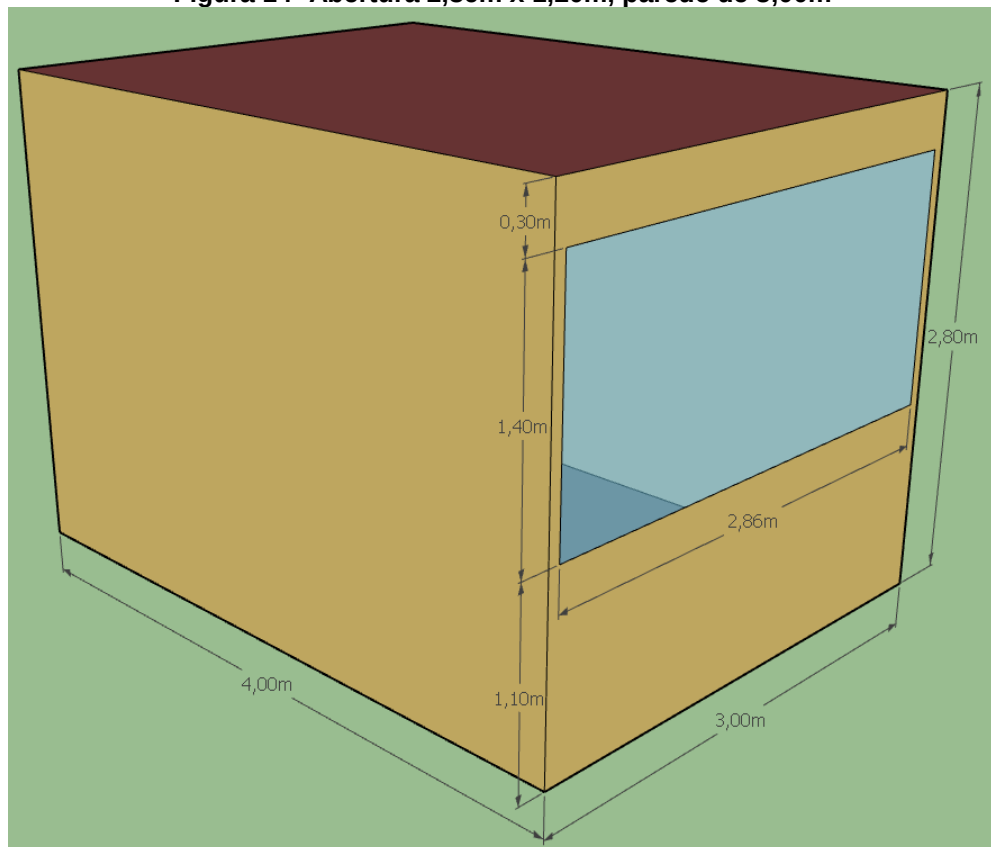
Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 13 - Abertura 2,86m x 1,20m, parede de 4,00m



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 14 - Abertura 2,86m x 1,20m, parede de 3,00m



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

3.1.2 Avaliações Paramétricas Parede x Aberturas

Para verificar a influência de ganho térmico solar além das variações de áreas de aberturas, foram realizadas simulações com diferentes parâmetros, considerando o que é preconizado pela NBR 15.575 (ABNT,2013) para avaliação de desempenho térmico pelo método da simulação computacional.

Como já comentado no item 2.3.1.2 simulação computacional, em relação a orientação solar, a edificação deve ser orientada conforme a implantação, ou caso não seja definida a mesma, deve-se definir a orientação, sendo escolhida para a simulação a unidade mais crítica do ponto de vista térmico. Para este trabalho, foram consideradas as quatro orientações solares diferentes, norte, sul, leste e oeste, para verificar a influência do ganho de calor nas diferentes orientações.

O ambiente simulado apresenta duas paredes externas, uma parede externa com a presença de uma abertura, outra parede externa sem abertura e duas paredes internas.

Foram adotadas como taxa de ventilação do ambiente duas opções como é proposto pela NBR 15.575 (ABNT, 2013), uma de 1 ren/h e outra de 5 ren/h. E ainda foram consideradas três opções de sombreamento, sendo a primeira sem sombreamento, ou seja, 0%, a segunda opção 25% de sombreamento, e a terceira opção 50% de sombreamento. A norma estabelece como critério a inserção de proteção solar externa ou interna da esquadria externa com dispositivo capaz de cortar no mínimo 50% da radiação solar direta que entraria pela abertura quando não se atinge os critérios de desempenho térmico somente pela renovação de ar.

Em relação a absorvância à radiação solar das superfícies expostas foram realizadas simulações com os três valores de absorvância para as paredes, previstos pela norma, sendo, 0,3 para cores claras, 0,5 para cores médias e 0,7 para cores escuras.

A Tabela 9 mostra os parâmetros utilizados para a realização das simulações, verifica-se que foram um total de 432 combinações possíveis, sendo assim foram realizadas 432 simulações.

Tabela 9 - Parâmetros utilizados para a realização das simulações

Abertura	16,7%	3
	25%	
	33,3%	
Orientação Solar	Norte	4
	Sul	
	Leste	
	Oeste	
Paredes	2 Paredes Externas	2
	2 Paredes Internas	
Taxa de Ventilação	1 ren/h	2
	5 ren/h	
Sombreamento	0% (sem sombreamento)	3
	25%	
	50%	
Absortância	0,3	3
	0,5	
	0,7	
TOTAL DE SIMULAÇÕES		432

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

3.1.3 Simulações computacionais através do software EnergyPlus

Para a avaliação do procedimento normativo por simulação computacional, foi utilizado o software *EnergyPlus* com os dados climáticos correspondentes aos dias típicos de verão e inverno de Florianópolis (Zona bioclimática 3) (ABNT, 2013). Utilizou-se o arquivo climático de Florianópolis, disponível no site do LabEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações) da Universidade Federal de Santa Catarina.

O programa *EnergyPlus* simula de forma dinâmica o desempenho térmico e energético de edificações com todos os sistemas que compõem a edificação e que são relevantes no seu desempenho, tais como climatização (resfriamento, aquecimento e ventilação), iluminação, cargas internas, propriedades térmicas de materiais, e outros elementos que participam das trocas térmicas, a partir de informações climáticas horárias da região onde a edificação está inserida. Através do programa pode-se emitir diversos relatórios sobre diferentes variáveis envolvidas no desempenho termo-energético da edificação simulada (CARLO, 2008).

Para a realização da simulação foi instalado o software *EnergyPlus* no computador, assim como o software *Sketchup*, que é uma ferramenta normalmente utilizada na área de construção civil para fazer desenhos arquitetônicos, componentes e modelos. Dentro do *Sketchup*, instalou-se o *Plugin Euclid*, este é uma extensão do

Sketchup que facilita a criação e modificação de entradas geométricas para construção de modelos de energia para rodarem no *EnergyPlus*.

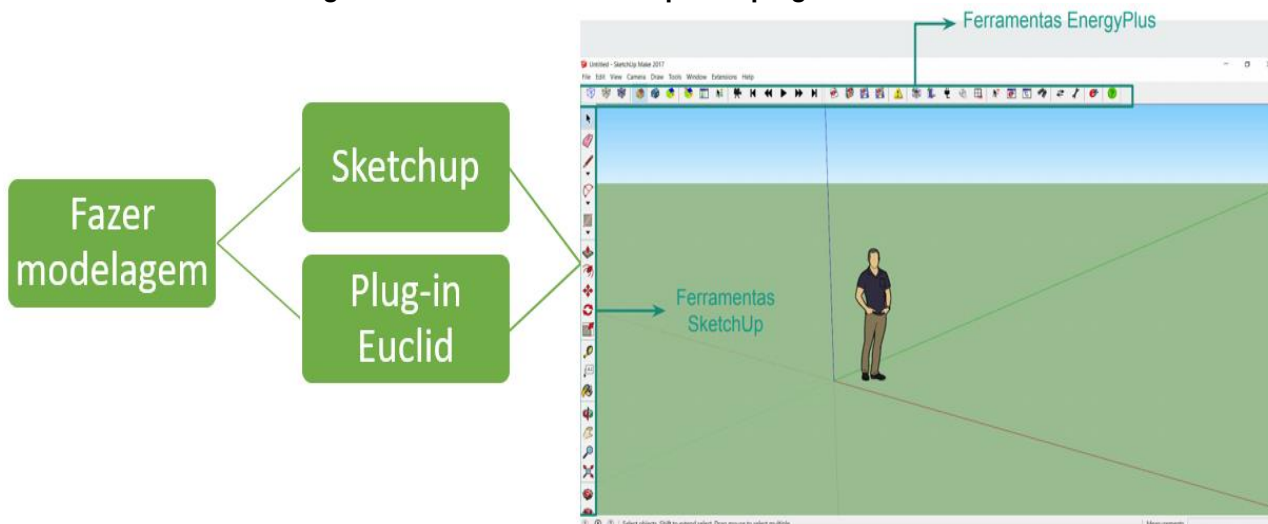
Sendo assim, após definidos os modelos a serem avaliados e os parâmetros para a simulação, iniciou-se a modelagem do ambiente e suas variantes no programa. No próximo item deste trabalho será abordado como foram realizadas as simulações através dos softwares citados acima.

3.1.4 Método da simulação

Para realizar as simulações com o objetivo de obter resultados para análise do comportamento térmico das vedações verticais seguiu-se os passos listados abaixo.

I. Iniciar a modelagem no software *Sketchup* usando *plugin Euclid* para posteriormente exportar o arquivo para o *Energyplus*.

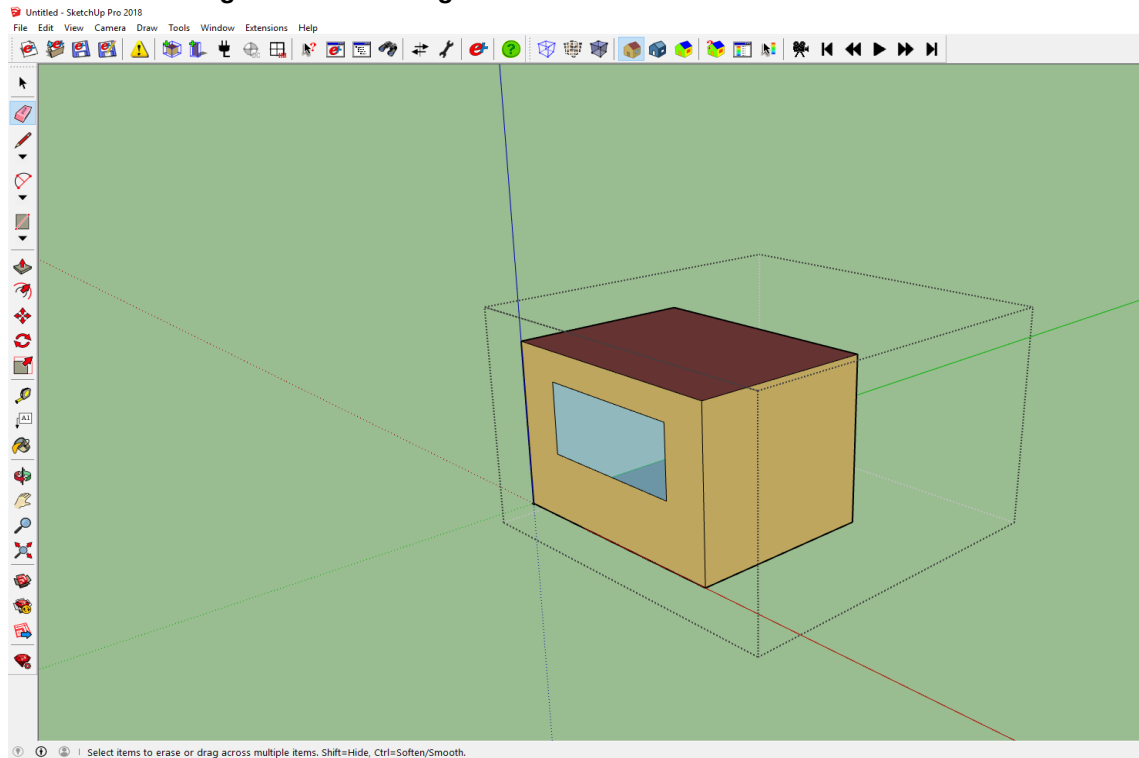
Figura 15 - Software Sketchup com plugin Euclid



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

II. Criar uma zona térmica no software *Sketchup* através das ferramentas do plugin *Euclid* e desenhar o modelo definido para a simulação.

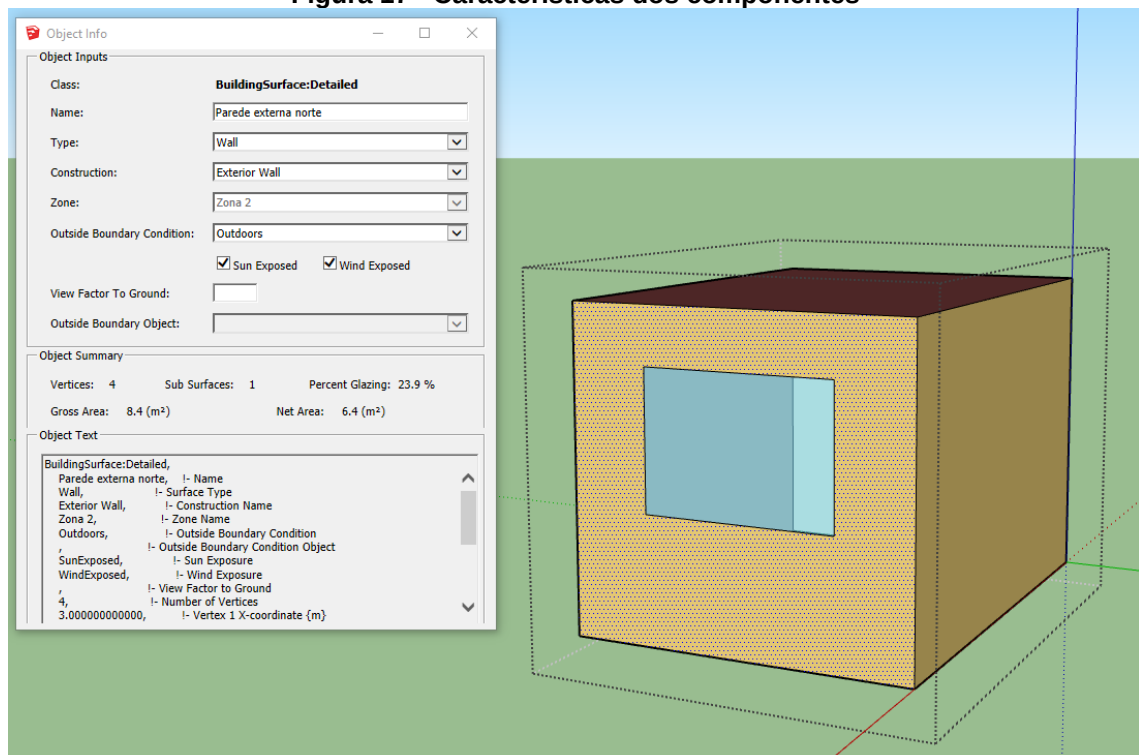
Figura 16 - Modelagem do ambiente dentro da zona térmica



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

III. Com o modelo criado no Sketchup, deve-se colocar as características das paredes, aberturas, cobertura, piso, conforme figura abaixo.

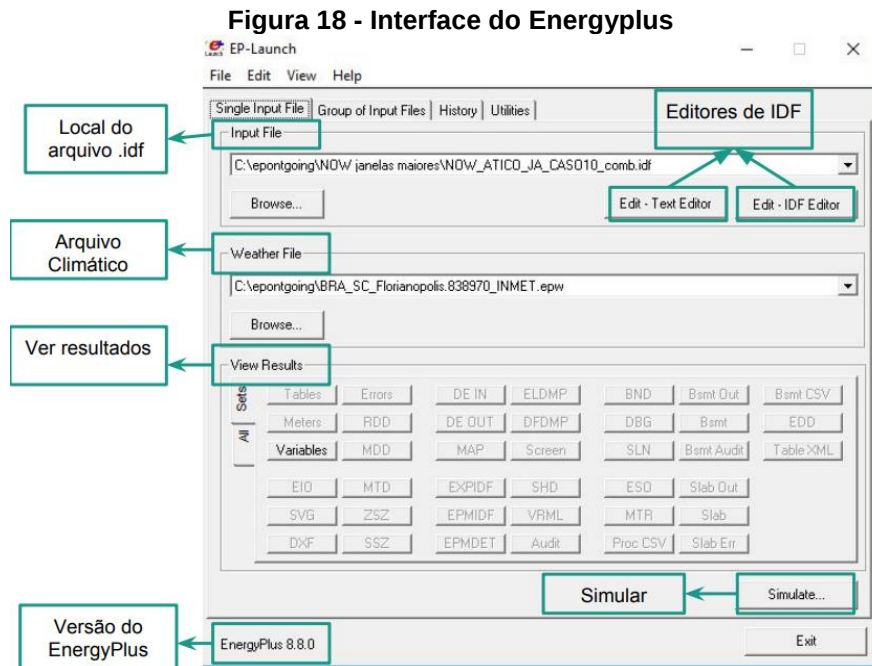
Figura 17 - Características dos componentes



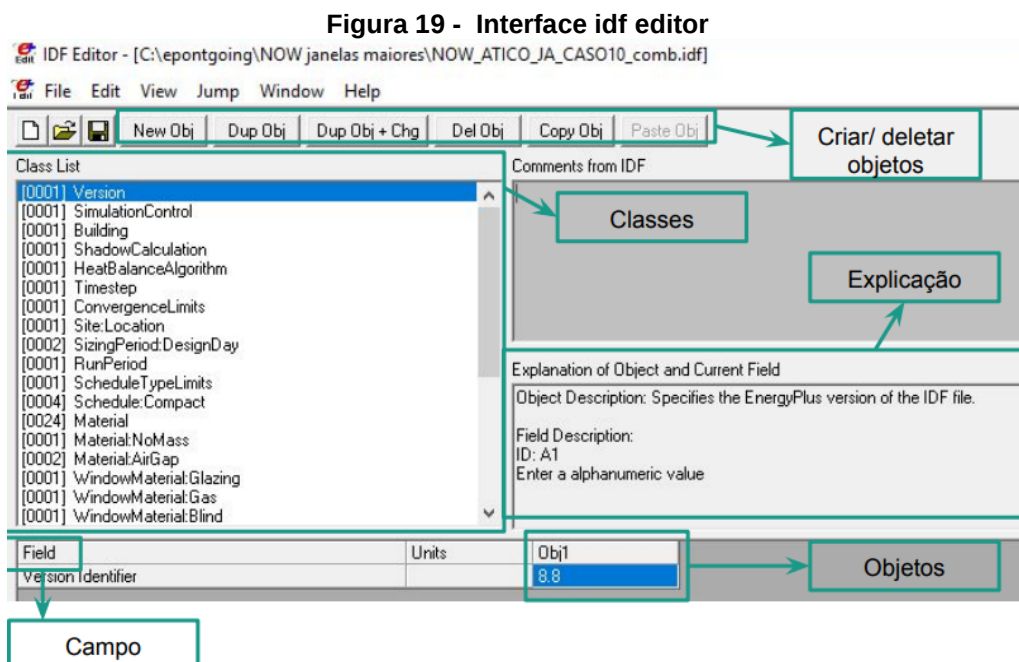
Fonte: Elaborado pela autora (2018).

IV. Com o ambiente modelado, deve-se salvar o arquivo com a extensão .idf, para que o mesmo seja utilizado no *Energyplus*.

V. Abrir o software *Energyplus*, e clicar em idf editor, local no qual será configurado o software a partir dos parâmetros escolhidos. A seguir são apresentadas as Figura 18 e Figura 19 que apresentam a interface do software Energyplus e a tela de configuração do programa.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

VI. No *Energyplus*, configurar os valores dos parâmetros utilizados, que serão embasados na NBR 15.575 (ABNT, 2013). Serão utilizados os valores tabelados e calculados de transmitância térmica, capacidade térmica, absortância e configurações do vidro de 3 mm, para os dias típicos de inverno e verão conforme é determinado pela norma para Florianópolis.

O cálculo da transmitância térmica utilizada, encontra-se ao final deste nos Apêndices.

VII. Após a realização das 432 simulações, foram obtidos os dados de temperaturas horárias durante o dia que foi realizado a simulação, para posterior análise destes. Obteve-se 432 resultados de temperatura horárias para um dia típico de verão, e 216 resultados de temperaturas horárias para um dia típico de inverno. Totalizando 618 resultados. Os resultados para inverno são expressos considerando apenas 1 ren/h para o parâmetro taxa de ventilação, conforme previsto pela NBR 15.575 (ABNT, 2013), por isso obtém-se a metade dos resultados quando comparado aos resultados de verão.

No próximo item será descrito sobre as análises dos dados resultantes das simulações, como será realizada essa análise e como serão apresentados os resultados.

3.1.5 Análises dos dados

Após realização das simulações, foi possível gerar um arquivo de texto que foi tabulado para se trabalhar com arquivos no software Excel. Como foram gerados 432 resultados houve a necessidade de criar uma legenda e uma tabela para organização dos dados e posterior análise dos resultados obtidos, esta legenda encontra-se explicada nos apêndices.

Para este trabalho foram utilizados os resultados de temperatura externa e temperatura interna do ambiente simulado.

Segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2013) o critério de desempenho térmico mínimo de verão por simulação (sem fontes internas de calor) é que a temperatura máxima interna seja sempre inferior ou igual ao valor da temperatura máxima externa no dia típico de verão, que no caso de Florianópolis é 32,7°C. Para o inverno, o critério de desempenho térmico mínimo é que a temperatura interna mais baixa seja no mínimo 3°C mais elevada que a temperatura externa mínima num dia típico de inverno,

que para a região é 6°C. Sendo assim, foram realizadas comparações entre as temperaturas interna e externa, para verificar o atendimento a norma segundo esses critérios.

Foram gerados gráficos de acordo com os diferentes parâmetros utilizados, com o objetivo de identificar a influência das aberturas na vedação vertical, sobre o aspecto de comportamento térmico do sistema de vedação vertical como um todo. Destacando-se quais combinações de parâmetros atendem o que é preconizado pela NBR 15.575 (ABNT, 2013) e quais não atendem.

Além disso, foram realizadas outras comparações entre os diversos parâmetros analisados, como por exemplo a comparação do mesmo ambiente entre a temperatura máxima interna no período do verão, e a mínima no inverno. Demonstrando assim, como a variação de determinado parâmetro analisado pode ser benéfica para determinada condição de temperatura externa, e não adequada para condição térmica oposta.

Todos os casos simulados deveriam atender a norma, pois, as características das paredes que foram adotadas (transmitância térmica e capacidade térmica em função da absorvância), são tabelados pelo método simplificado da NBR 15.575 como exigência para que o resultado seja o atendido pela mesma. Será possível verificar então, que a NBR 15.575 (ABNT, 2013) pelo método simplificado não é suficiente para avaliar o desempenho térmico das vedações verticais (paredes e aberturas).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A NBR 15.575 (ABNT, 2013) apresenta dois métodos para verificar o desempenho térmico mínimo de uma edificação. O método simplificado é a verificação ao atendimento aos requisitos e critérios de características térmicas, transmitância térmica e capacidade térmica, das vedações verticais e coberturas de uma edificação. Se não houver o atendimento ao desempenho térmico mínimo pelo método simplificado, adota-se o procedimento pela simulação computacional. Além disso, as janelas tem área mínima definida pela NBR 15.575, com área máxima de fechamento vertical não definida.

Sendo assim, para verificar a influência das aberturas no desempenho térmico de vedações verticais externas que atendem a NBR 15.575 (ABNT, 2013), utilizou-se a simulação computacional. Aplicou-se nas simulações, valores de características térmicas que atendem a norma quando verificados pelo método simplificado. Para este trabalho, utilizou-se como estudo de caso um ambiente de dimensões de um dormitório, localizado na cidade de Florianópolis (zona bioclimática 3).

O presente capítulo, traz os resultados obtidos através das simulações realizadas neste trabalho de conclusão de curso e as análises destes resultados. O capítulo foi dividido em cinco partes: (a) avaliação da área de influência das aberturas no desempenho térmico de vedações verticais externas de acordo com a NBR 15.575, através do método de simulação computacional; (b) avaliação dos parâmetros normativos de vedações verticais no desempenho térmico de ambientes; (c) influência da área de abertura no desempenho térmico de ambientes; (d) atendimento ao desempenho térmico inverno x verão; (e) conclusão do capítulo.

De acordo com a NBR 15.575 pelo método da simulação, o critério de desempenho térmico mínimo para uma edificação no período de verão é que a temperatura máxima interna seja inferior ou igual ao valor da temperatura máxima externa no dia típico de verão, que para Florianópolis é de 32,7°C. Para o inverno, o critério é que a temperatura interna mais baixa seja no mínimo de 9°C.

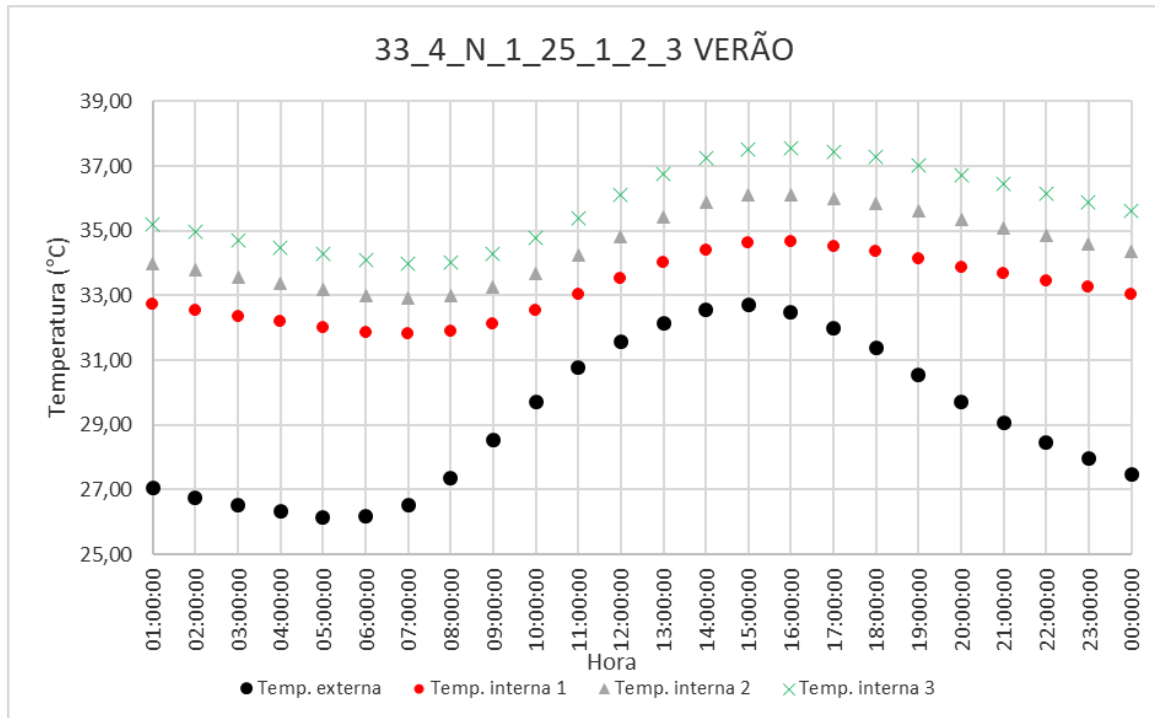
Foram realizadas as simulações com propostas diferentes de configurações, mas todas de acordo com os requisitos de transmitância térmica e capacidade térmica, critérios estes estabelecidos pelo método simplificado da NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Essas 432 combinações foram obtidas relacionando os seguintes parâmetros: **orientação solar** (norte, sul, leste, oeste); duas **paredes** externas (uma parede externa com a presença de uma abertura, outra parede externa sem abertura) e duas paredes internas; **taxa de ventilação** de 1 ren/h e de 5 ren/h; **sombreamento** (0% sem sombreamento, 25% de sombreamento, e 50% de sombreamento); **absortância** à radiação solar das superfícies expostas (0,3 para cores claras, 0,5 para cores médias e 0,7 para cores escuras). Para dimensionamento das aberturas utilizou-se três porcentagens da área do piso, 16%, 25% e 33%.

4.1 Avaliação da área de influência das aberturas no desempenho térmico de vedações verticais externas de acordo com a NBR 15.575, através do método de simulação computacional

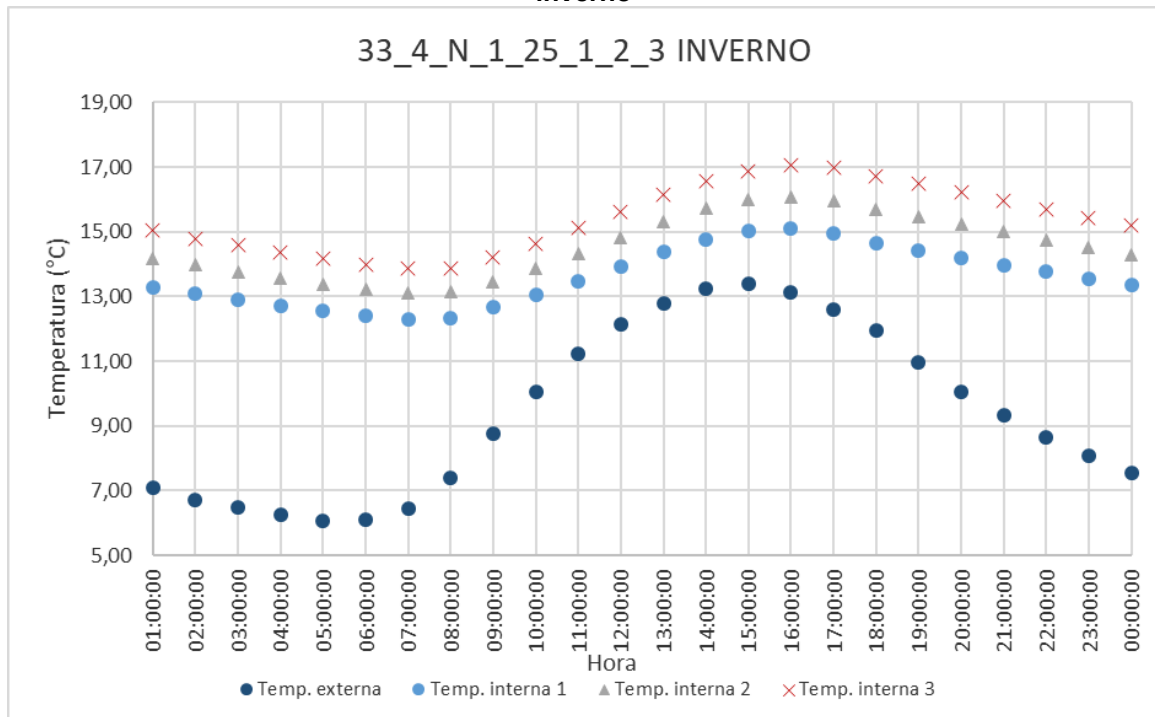
Após a realização das simulações, obteve-se 432 resultados de temperatura horárias para um dia típico de verão, e 216 resultados de temperaturas horárias para um dia típico de inverno. Para inverno os resultados são expressos considerando apenas 1 ren/h para o parâmetro taxa de ventilação, conforme previsto pela NBR 15.575 (ABNT, 2013). As Figura 20 e Figura 21 apresentam estas temperaturas horárias para um dia típico de verão e para um dia típico de inverno de Florianópolis, respectivamente. Os exemplos referem-se a abertura de 33% da área de piso, localizada na parede externa de 4 metros, com orientação solar voltada para norte, 25% de sombreamento, variando os três casos de absortâncias das paredes (temp. interna 1 = absortância 0,3, temp. interna 2 = absortância 0,5, temp. interna 3 = absortância 0,7).

Figura 20 - Gráfico temperatura x hora para abertura de 33% na parede de 4 metros, orientação solar norte, com 25% de sombreamento, para as três absorptâncias testadas, no dia típico de verão



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Figura 21 - Gráfico temperatura x hora para abertura de 33%, na parede de 4 metros, orientação solar norte, com 25% de sombreamento, para as três absorptâncias testadas, no dia típico de inverno



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Como é possível observar na distribuição das temperaturas horárias da Figura 20, no verão, nenhum caso atendeu a norma pelo método da simulação, visto que a temperatura máxima de cada caso foi maior que a temperatura externa máxima diária. Já para inverno (Figura 21) observa-se que houve o atendimento a norma, no qual obteve-se uma temperatura de aproximadamente 6°C a mais quando a temperatura mínima externa diária ocorreu.

O que se observa nas Figura 20 e Figura 21 é que existe um atraso térmico entre a hora da temperatura máxima externa e a temperatura máxima interna no verão, e entre a temperatura mínima externa e a temperatura mínima interna no inverno. O Apêndice C, apresenta a diferença entre as temperaturas máximas internas pelas externas (caso verão), sem demonstrar o atraso térmico que pode ter ocorrido. O apêndice D apresenta a diferença entre as temperaturas mínimas internas pelas externas (caso inverno), também sem apresentar o atraso térmico.

Após análise de todas as diferenças de temperaturas máximas (externa menos interna) conforme apresentado no Apêndice C, o que se verifica é que com o aumento da área de abertura, ou seja, o aumento de uma área transparente na vedação vertical, as temperaturas internas aumentam, independente da combinação dos parâmetros realizada.

Para o período de inverno, o aumento da área de abertura, beneficia a edificação para que se atinja o desempenho mínimo, conforme verifica-se no Apêndice D.

Porém no período de verão, o aumento da temperatura interna em 85% dos casos simulados traz como resultado temperatura máxima interna superior a máxima externa diária, estando assim em desacordo ao que é preconizado pela NBR 15.575.

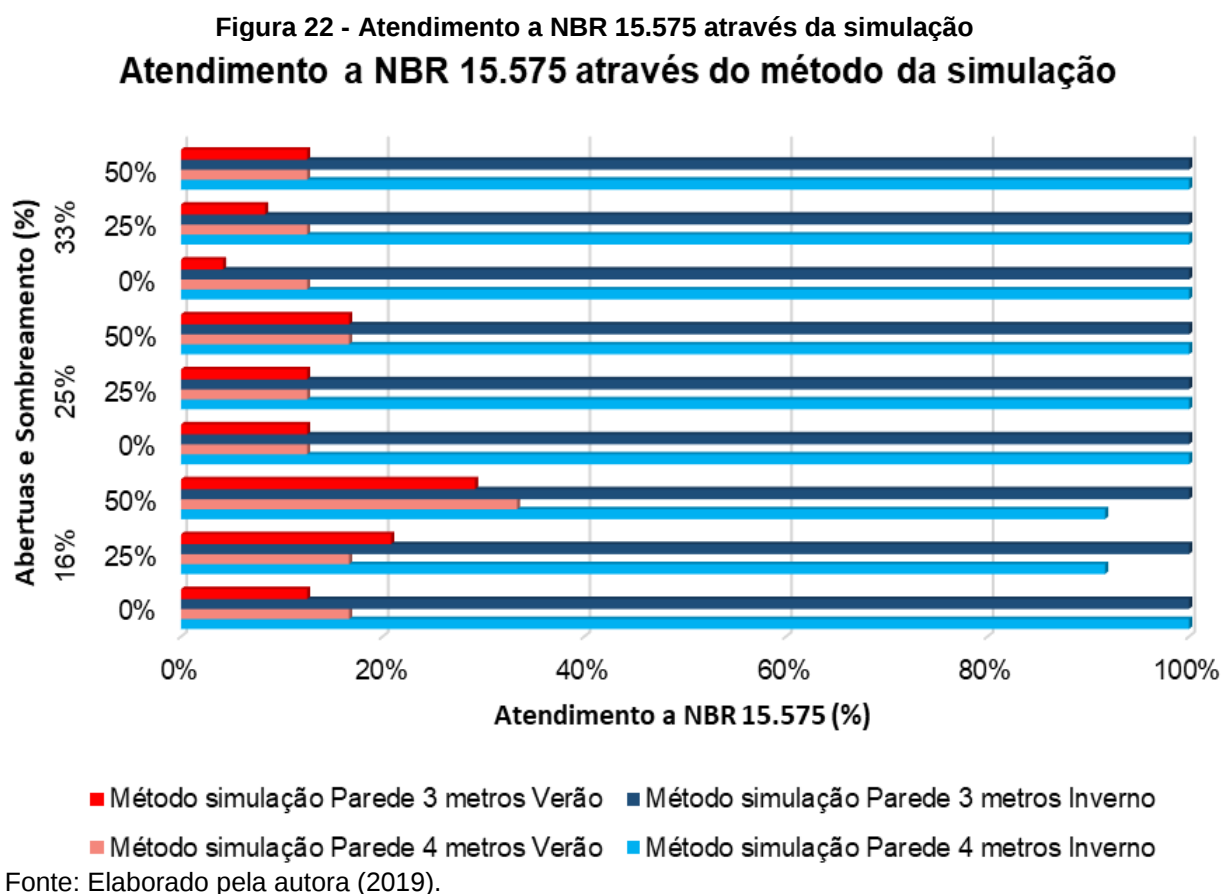
A Tabela 10 mostra esses resultados, considerando apenas o tamanho das aberturas e parede em que estão inseridas.

Tabela 10 - Valores médios dos resultados em atendimento a NBR 15.575

Aberturas	Método simulação			
	Janela na parede 4 metros		Janela na parede 3 metros	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão
16%	94%	22%	100%	21%
25%	100%	14%	100%	14%
33%	100%	13%	100%	8%
Média (atendeu a norma)	98%	16%	100%	14%
Média (não atendeu a norma)	2%	84%	0%	86%

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

De maneira geral, mesmo que as 432 simulações tenham ocorrido com todos os parâmetros de acordo com a NBR 15.575 com relação a capacidade térmica e transmitância térmica das paredes, os resultados apontam que no período de verão, quanto menor for a área de abertura, maiores as chances de se obter o desempenho mínimo da vedação vertical, como pode ser visto na Figura 22 a seguir.



A NBR 15.575 (ABNT, 2013) estabelece pelo método da simulação que a unidade habitacional que possui orientação solar mais crítica no verão é o ambiente que tem pelo menos uma janela voltada a oeste, e no inverno pelo menos uma janela voltada a sul. Pode-se verificar que para o verão em 98% dos casos com abertura na parede externa voltada para oeste, não atenderam a norma, enquanto para o inverno apenas 4% dos casos com abertura na parede externa sul, não atenderam aos critérios da NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Tabela 11 - Valores médios dos resultados em atendimento a norma para a situação mais crítica de inverno e verão

Aberturas	Sul	Oeste
	Inverno	Verão
16%	89%	6%
25%	100%	0%
33%	100%	0%
Média (atendeu a norma)	96%	2%
Média (não atendeu a norma)	4%	98%

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Observa-se que para o dia típico de verão, abertura voltada à oeste, apenas 6% dos casos que atenderam a NBR 15.575, que pertencem ao caso das aberturas com a menor área (16,7% da área do piso). Ainda com relação a Tabela 11, no caso de inverno e abertura à sul, vê-se que as áreas maiores de aberturas (25% e 33,3%) todos os casos atenderam a norma, e apenas 11% dos casos não atendem, quando a abertura é de 16,7% da área do piso.

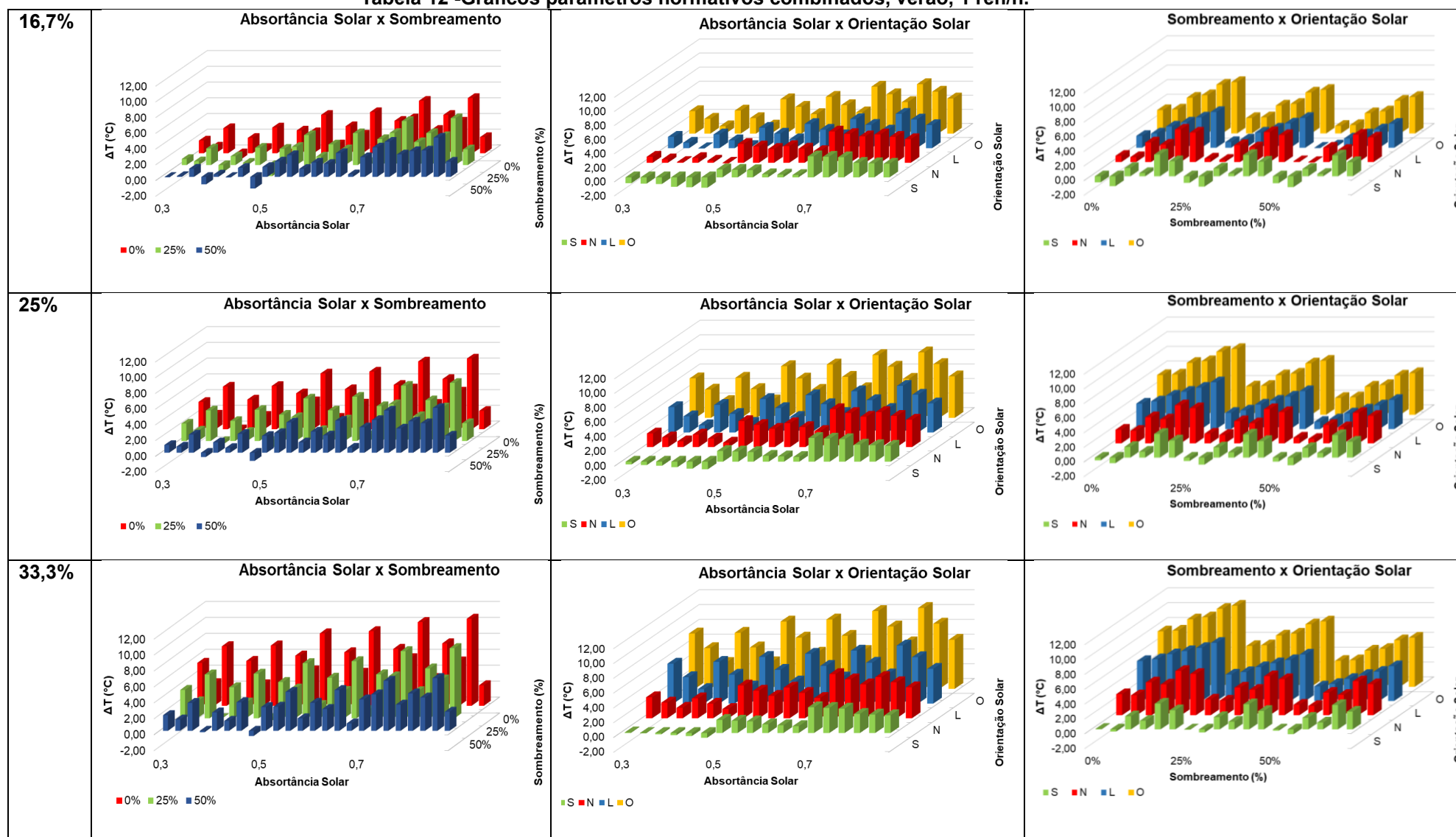
4.2 Avaliação dos parâmetros normativos de vedações verticais no desempenho térmico de ambientes

Como observado anteriormente pelos resultados das simulações, o desempenho térmico mínimo de verão definido pela NBR 15.575 é fortemente influenciado pelas aberturas, enquanto o desempenho térmico de inverno para a maioria dos casos simulados atenderam ao que preconiza a NBR 15.575 para Florianópolis. Neste item do TCC será feita uma análise dos parâmetros (absortância solar, orientação solar, ventilação e sombreamento) combinados dois a dois, para as diferentes áreas de aberturas propostas. A seguir serão apresentados de forma gráfica os parâmetros normativos combinados. Conforme destacado abaixo

- I. Variações de temperatura x absortância solar x sombreamento;
- II. Variações de temperatura x absortância solar x orientação solar;
- III. Variações de temperatura x sombreamento x orientação solar.

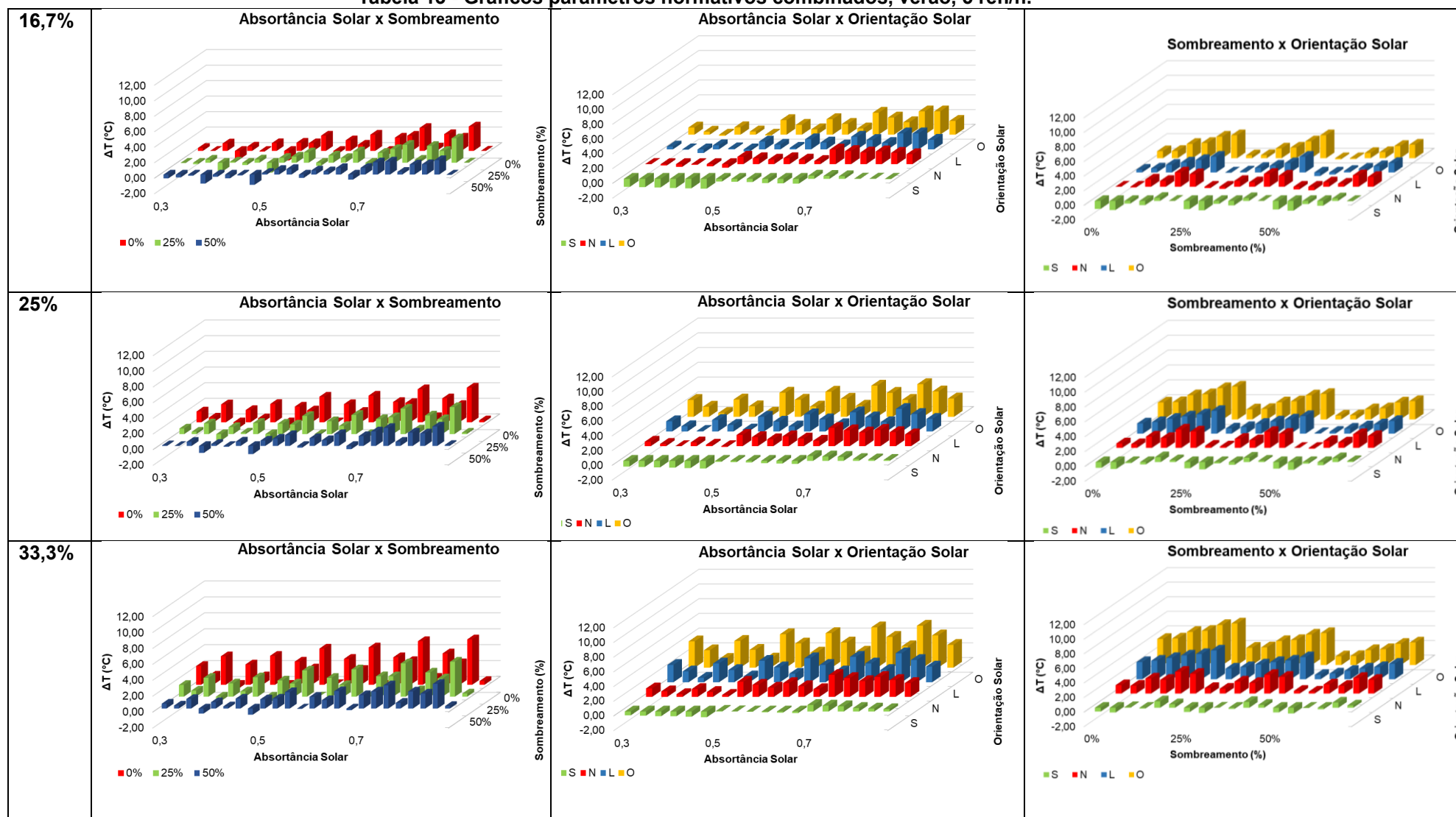
As três combinações de parâmetros acima foram separadas em duas tabelas para verão (1 ren/h e 5 ren/h) e uma tabela para inverno com 1 ren/h. Os gráficos foram organizados pelas diferentes áreas de aberturas: 16,7%, 25% e 33,3%.

Tabela 12 -Gráficos parâmetros normativos combinados, verão, 1 ren/h.



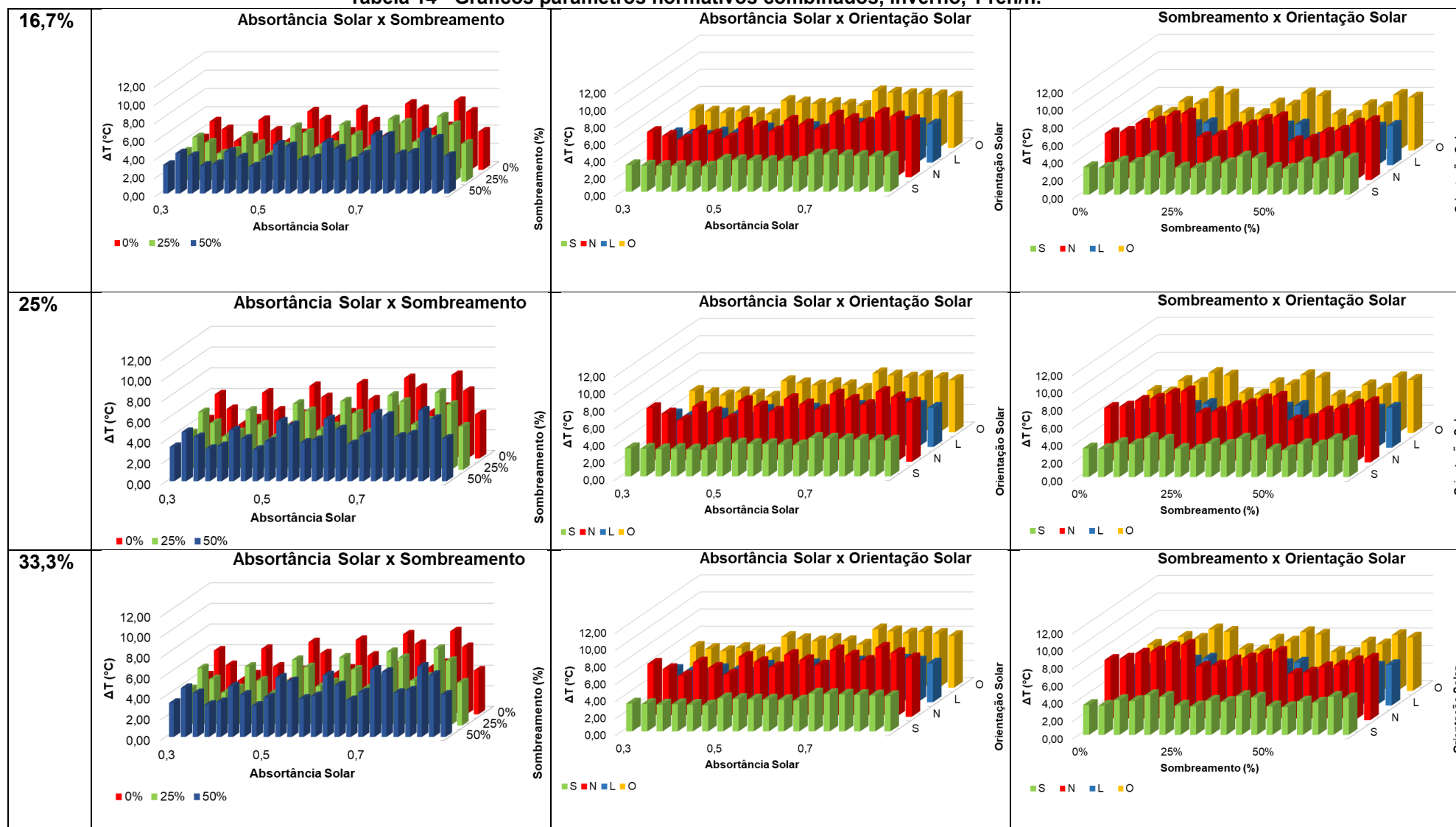
Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Tabela 13 - Gráficos parâmetros normativos combinados, verão, 5 ren/h.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Tabela 14 - Gráficos parâmetros normativos combinados, inverno, 1 ren/h.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Observando a Tabela 12 a qual apresenta os parâmetros normativos combinados para o caso de verão com 1 ren/h, a respeito dos gráficos que relacionam as diferenças de temperatura x absorptância solar x sombreamento, verifica-se que há um ganho térmico conforme há o aumento da absorptância solar nas paredes. Por outro lado, conforme aumenta-se o sombreamento de uma abertura, há uma diminuição de temperatura interna máxima. Ao comparar os parâmetros absorptância solar e sombreamento, é possível observar que o maior ganho térmico ocorre para a absorptância solar 0,7 quando não há sombreamento em todas as áreas de abertura. Porém há casos que apesar de absorptância 0,7 e sombreamento de 0%, o ganho térmico é menor que em casos com absorptâncias menores e sombreamentos maiores, como pode ser verificado nos gráficos em questão, por exemplo para absorptância de 0,5, com sombreamento de 25%. Isso ocorre devido a influência dos outros parâmetros que foram considerados para a realização das simulações. O mesmo ocorre na Tabela 13, no qual mostra-se os resultados das simulações com maior número de trocas de ar por hora (5 ren/h), há uma diminuição da temperatura máxima interna. E para a Tabela 14, que neste caso por se tratar do período de inverno quanto maior a absorptância e menor o sombreamento há mais chances de se obter o desempenho térmico mínimo de inverno proposto pela NBR 15.575 (ABNT, 2013). Resultado este esperado, contrário do que ocorreu no período de verão, onde a maior parte dos casos não atendeu a norma.

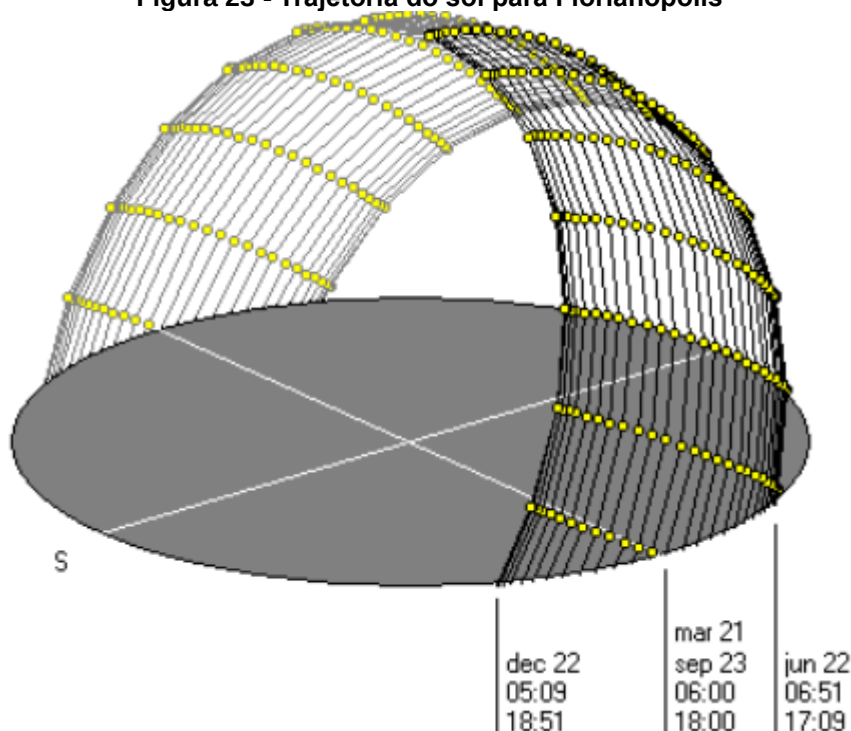
Observa-se que para verão com 1 ren/h não houveram casos com absorptância de 0,5 e 0,7 que atendem a norma, independentemente do tamanho da área de abertura. Quando no mesmo período utilizou-se 5 ren/h, aparecem casos de absorptância 0,5 e 0,7 com resultados que atenderam a norma. Para inverno basicamente todos os casos atenderam a NBR 15.575, aparecendo apenas duas exceções, porém com resultados próximos ao atendimento da NBR 15.575. Os casos para verão que atenderam a norma serão discutidos isoladamente no item 4.4 deste trabalho.

Quando combinados os parâmetros de absorptância solar e orientação solar, verifica-se que com o aumento da absorptância há um aumento nas temperaturas, porém há um predomínio em relação a orientação solar. É por isso que a norma traz como critério a simulação do ponto de vista térmico mais crítico, no qual, para verão a edificação deve possuir parede exposta para norte, com pelo menos uma abertura voltada a oeste, e para inverno parede exposta para leste e abertura voltada a sul.

Verifica-se que quanto maior a absorptância solar nas orientações das aberturas a oeste e a leste, dificulta o atendimento ao desempenho térmico pela NBR 15.575 para o caso do verão pela simulação, pois edificações com orientações leste e oeste apresentam características parecidas em relação à incidência dos raios solares, mas em horários diferentes do dia (Figura 23). Ambientes voltados para o oeste costumam ser mais quentes, mesmo com os valores de transmitância térmica de parede usados neste Trabalho. Isto por causa das somas dos ganhos pela radiação solar e da temperatura do ar externo do período vespertino (temperaturas mais elevadas), deixando a edificação com temperaturas internas mais elevadas, e com pouco atraso térmico com relação à temperatura máxima externa.

Isto se verifica nos gráficos de variações de temperatura x sombreamento x orientação solar, para verão com 1 ren/h, 5ren/h e para inverno, respectivamente. Pela latitude que Florianópolis encontra-se, a trajetória do sol faz com que a fachada norte receba maior incidência solar no inverno do que no verão (Figura 23).

Figura 23 - Trajetória do sol para Florianópolis



Fonte: Lamberts (2019).

De maneira geral, verifica-se que o mesmo ocorreu quando combinado absorptância solar e orientação solar, sendo a orientação solar, o parâmetro que predomina quando comparado aos demais.

O que se observa em relação ao período de inverno quando combinados os parâmetros absorvância solar e sombreamento com orientação solar é que as diferenças de temperatura para norte foram maiores nesse período quando comparado com o período de verão. Isso ocorre pois, no inverno na região Sul do Brasil, a orientação norte é a posição que permite maior incidência de raios solares, (Figura 23). Ou seja, os imóveis voltados para a direção Norte no inverno, recebem incidência solar direta durante o dia todo, possibilitando manter o ambiente aquecido naturalmente.

Quando comparado as três áreas de abertura, o que se verifica é que conforme o aumento das mesmas maior o ganho térmico, ou seja, maior as variações de temperatura, observa-se que esse crescimento é homogêneo, pois verifica-se o mesmo comportamento para as diferentes áreas de abertura.

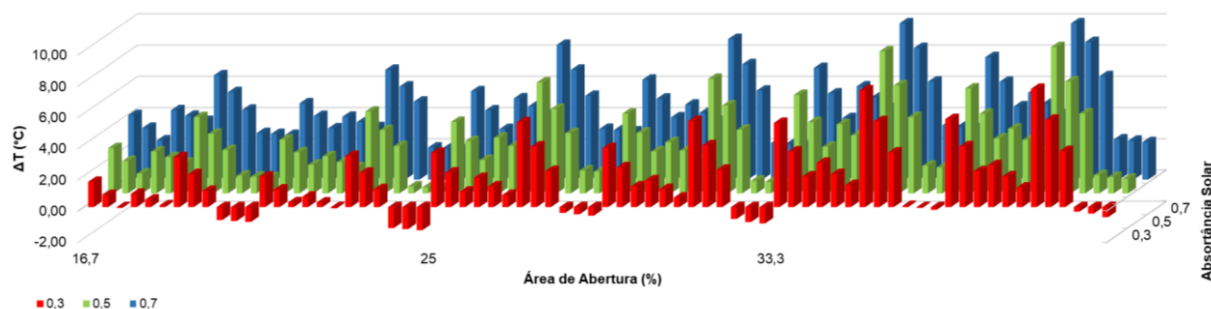
4.3 Influência da área de abertura no desempenho térmico de ambientes

No item anterior viu-se que os parâmetros normativos apresentam influência no desempenho térmico de vedações externas verticais, e dependendo da combinação, possibilitam o atendimento, ou não na avaliação de desempenho térmico da NBR 15.575. A seguir, será feita uma análise a respeito dos parâmetros normativos e áreas de aberturas. Serão apresentados gráficos relacionando as áreas de abertura e os parâmetros normativos isoladamente, tanto para verão (1 ren/h e 5 ren/h) quanto para inverno.

4.3.1 Área de abertura x Absorvância Solar

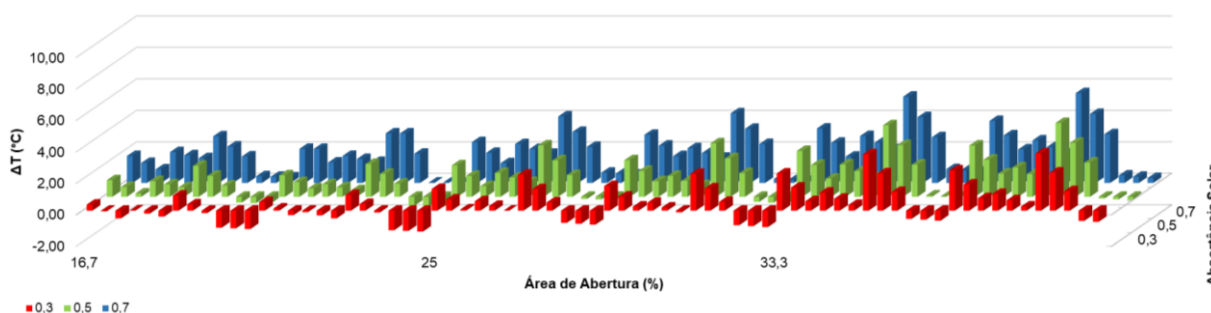
A seguir serão apresentados os gráficos de variação de temperatura x área de abertura x absorvância solar para verão (1ren/h e 5ren/h) e para inverno (1ren/h), considerando as três áreas de aberturas estudadas.

Figura 24 - ΔT x Área de abertura x Absortância Solar, 1 ren/h, verão.
Área de Abertura x Absortância Solar



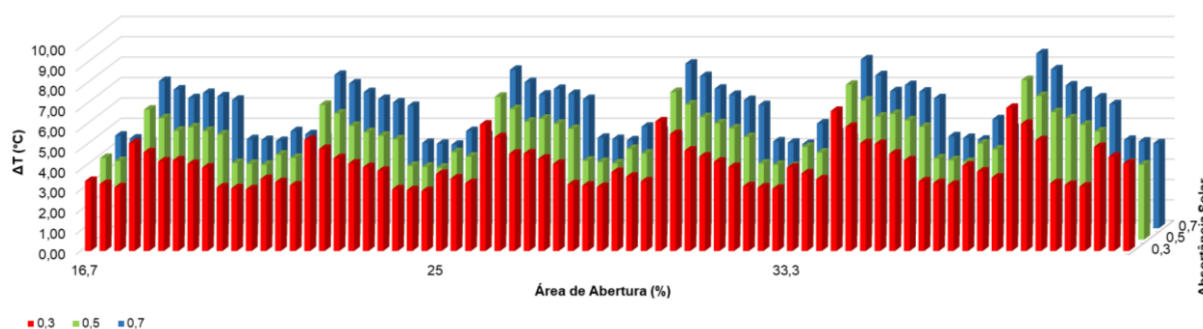
Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Figura 25 - ΔT x Área de abertura x Absortância Solar, 5 ren/h, verão.
Área de Abertura x Absortância Solar



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Figura 26 - ΔT x Área de abertura x Absortância Solar, inverno.
Área de Abertura x Absortância Solar



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Observa-se nas Figura 24 e Figura 25 que com o aumento da área de abertura há uma tendência ao aumento da temperatura, assim como com o aumento da absortância solar. Porém observa-se que há casos no qual, apesar de possuir maior área de abertura (33,3%) as temperaturas internas foram menores que em casos com área de abertura de 16,7%. Isto ocorre, pois como é possível observar quanto maior a absortância solar maior a temperatura interna. A Figura 24 mostra que para abertura de 16,7% e absortância solar de 0,3, ocorreram mais casos que

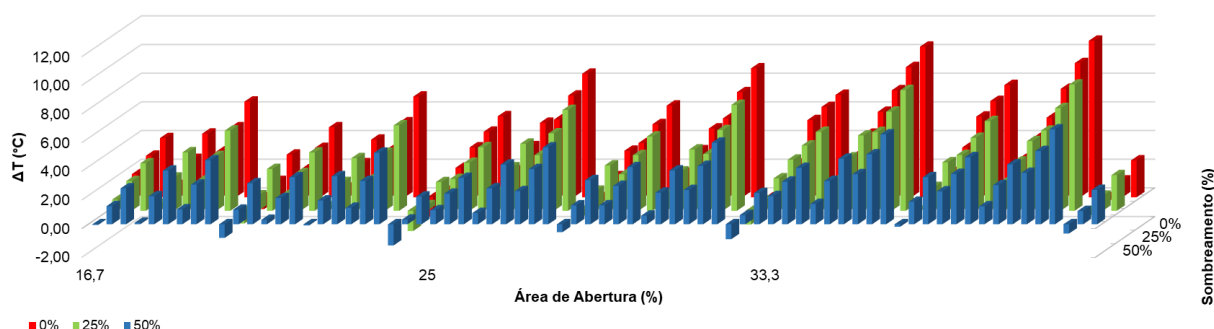
atenderam a norma em comparação às demais áreas de abertura e absorção solar. Para as absorções 0,5 e 0,7, nenhum caso atendeu a norma independente a área de abertura considerada. Na Figura 25 observa-se que isso muda, aparecendo casos que atenderiam a norma, devido ao aumento da taxa de ventilação.

Ao observar a Figura 26, verifica-se que com o aumento da área de abertura, existe a tendência ao aumento das temperaturas internas da edificação, o que é benéfico para o inverno. Essa tendência mantém-se também em relação à absorção solar, quanto maior o valor da absorção solar, maiores as temperaturas mínimas internas.

4.3.2 Área de abertura x Sombreamento

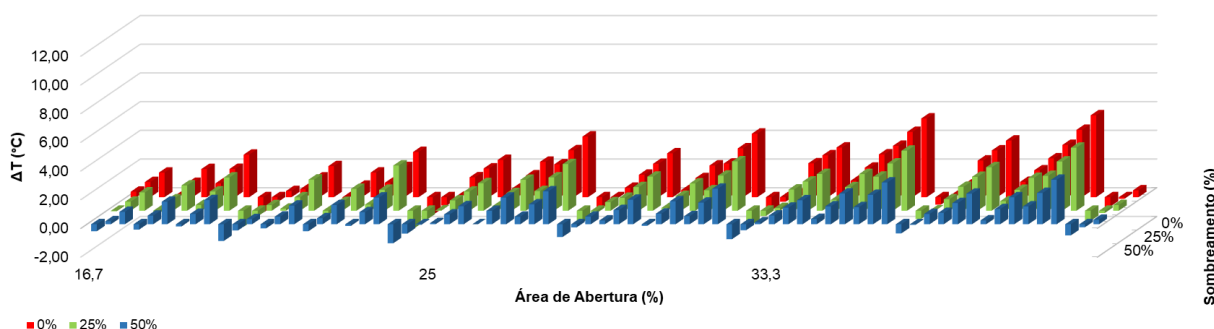
A seguir serão apresentados os gráficos de variação de temperatura x área de abertura x sombreamento para verão 1ren/h e 5ren/h e para inverno, considerando as três áreas de aberturas simuladas sem sombreamento (0%); 25% de sombreamento; e 50% de sombreamento.

Figura 27 – ΔT x Área de abertura x Sombreamento, 1 ren/h, verão.
Área de Abertura x Sombreamento



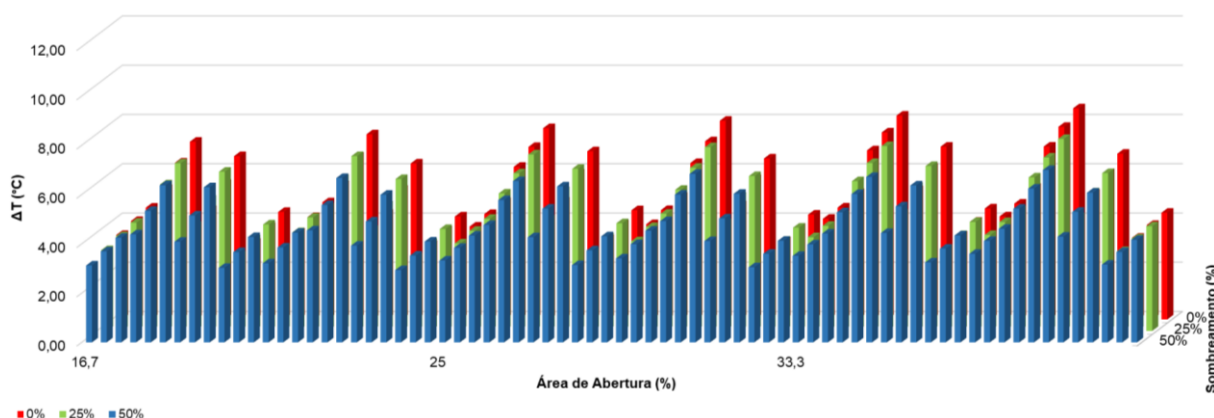
Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Figura 28 – ΔT x Área de abertura x Sombreamento, 5 ren/h, verão.
Área de Abertura x Sombreamento



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Figura 29 – ΔT x Área de abertura x Sombreamento, inverno.
Área de Abertura x Sombreamento



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

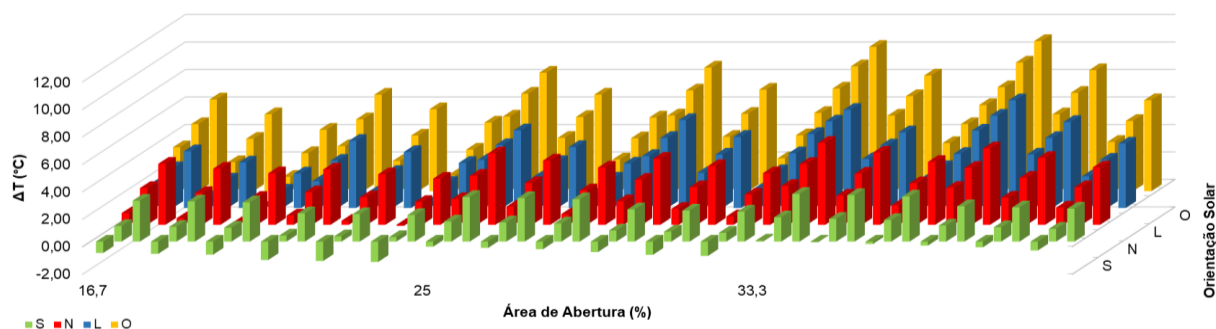
De acordo com a Figura 27 e Figura 28, há um aumento de ganho térmico interno do verão com o aumento da área de abertura, e uma diminuição quanto maior o sombreamento da mesma. Porém há casos que para a abertura de 16,7% com sombreamento de 50% as variações de temperatura apresentam-se maiores que para casos com aberturas de 33,3% de área de piso e 50% de sombreamento. Isso ocorre, devido a influência de outros parâmetros utilizados para a realização das simulações, como a orientação solar e a absorvância solar.

Para inverno (Figura 29), com o aumento da área de abertura há um pequeno aumento da temperatura, uma variação de 1° C de diferença apenas nos picos de temperatura entre as aberturas com área de 16,7% e 33,3% de área de piso. O mesmo ocorre para o parâmetro sombreamento. Evidenciando-se mais uma vez que no período de inverno as aberturas influenciam menos que no período de verão. Visto que basicamente todos os casos atenderam a norma.

4.3.3 Área de abertura x Orientação Solar

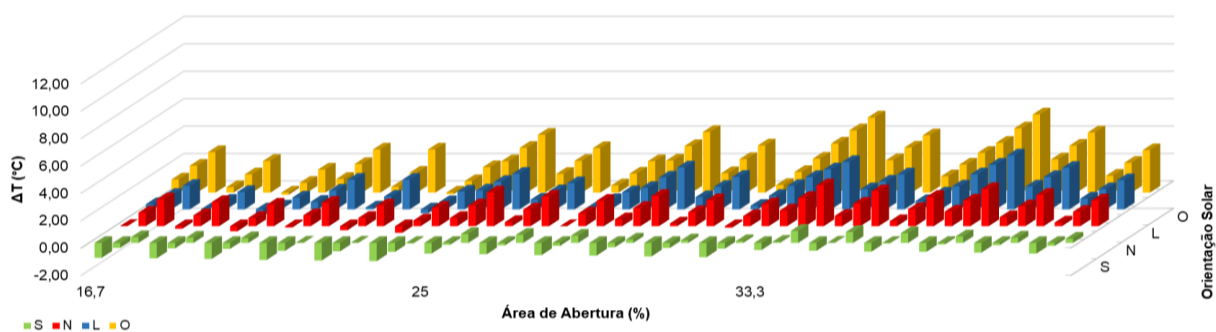
A seguir serão apresentados os gráficos de variação de temperatura x área de abertura x orientação solar para verão (1 ren/h e 5 ren/h) e para inverno (1 ren/h).

Figura 30 – ΔT x Área de abertura x Sombreamento, 1 ren/h, verão
Área de Abertura x Orientação Solar



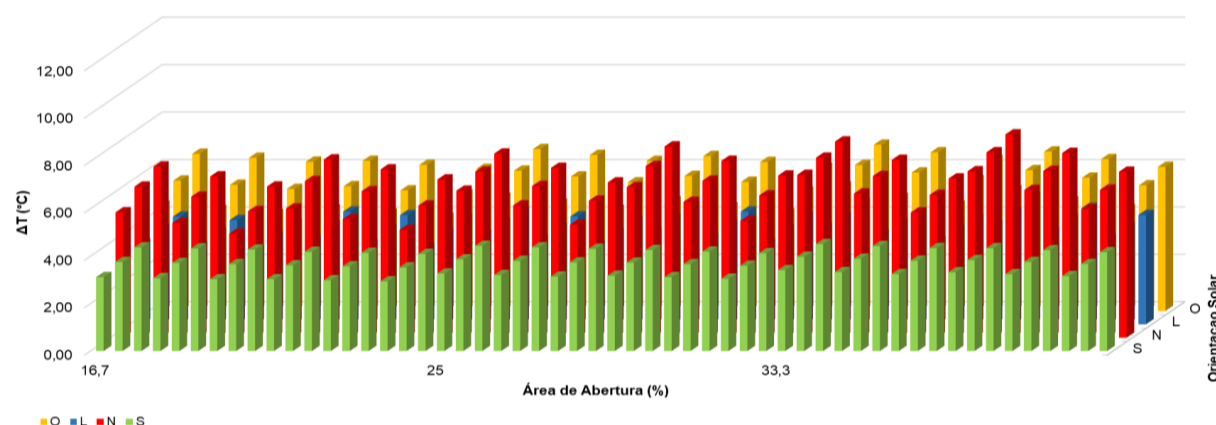
Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Figura 31 – ΔT x Área de abertura x Sombreamento, 5 ren/h, verão
Área de Abertura x Orientação Solar



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Figura 32 – ΔT x Área de abertura x Sombreamento, inverno
Área de Abertura x Orientação Solar



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

As três figuras acima, mostram um aumento no ganho térmico conforme o aumento da área de abertura. No entanto, verifica-se que há uma dependência da orientação solar, sendo que para a orientação solar oeste, há sempre um ganho térmico maior quando comparado as demais orientações. Sendo assim, para verão a

situação mais crítica encontra-se para as aberturas de 33,3% com orientação voltada a oeste. O inverso ocorre para sul, no qual apresenta menores variações de temperatura, apresentando um ganho térmico homogêneo. Identifica-se como já comentado no item 4.2 deste que para norte há um maior ganho térmico, visto que para Florianópolis, no período de inverno a face norte fica mais exposta ao sol.

Verifica-se então, que independente da combinação de parâmetros, ou quando tratados isoladamente, com o aumento da área de abertura há um aumento na temperatura interna da edificação. No entanto, pode-se observar também que poucos foram os casos que atenderam a norma para o período de verão, sendo o número de casos aumentado quando considerado a taxa de ventilação de 5 ren/h para o mesmo período. Já para inverno observa-se que a grande maioria dos casos atendeu a norma. O próximo item deste trabalho irá tratar dos casos que atenderam inverno e verão nas mesmas condições.

4.4 Atendimento ao desempenho térmico inverno x verão

Como foi possível verificar anteriormente, poucos foram os casos de verão que atenderam a NBR 15.575 (ABNT, 2013), de acordo com o método de simulação computacional, sendo que estes casos pelo método simplificado atenderiam a norma. De maneira geral, foram 85% dos casos para verão que não atenderam ao que é preconizado pela norma, já para inverno o resultado é de apenas 2% de não atendimento à norma.

Como já era o esperado, para maiores aberturas menor a quantidade de casos que atenderam a norma para o verão. Para a área de abertura de 16,7%, 22% dos casos estudados quando a abertura estava presente na parede de 4 metros atenderam a norma e 21% para a abertura localizada na parede de 3 metros. Foram 16 e 15 casos respectivamente em um total de 72 simulações para área de abertura de 16,7% na parede de 4 metros e 72 simulações para área de abertura de 16,7% na parede de 3 metros. Dentre esses casos para inverno 2 casos não atenderam a norma. Esses casos ocorreram para a absorvância solar de 0,3, orientadas a sul, com 25% e 50% de sombreamento. Sendo assim, eliminando esses casos de inverno, todos os outros que atenderam para o período de verão, atenderam para os dois períodos. Os casos serão discutidos e analisados na Tabela 15, a seguir.

Tabela 15 - Atendimento a norma para verão e inverno área de abertura 16,7%

Área de Ab.	VERÃO 1 REN/H			VERÃO 5 REN/H			INVERNO			Somb.	Orient.	Parede
	Absortância Solar			Absortância Solar			Absortância Solar					
	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7			
16,7%	1,62	2,90	4,13	0,38	1,06	1,71	3,43	4,00	4,54	0%	L	Parede 3
	0,78	2,07	3,31	-0,04	0,63	1,27	3,28	3,85	4,40	25%		
	-0,05	1,27	2,51	-0,49	0,21	0,86	3,12	3,70	4,25	50%		
	0,85	2,67	4,44	0,02	0,99	1,96	5,29	6,37	7,22	0%	N	
	0,48	2,31	4,08	-0,19	0,79	1,76	4,84	5,95	6,80	25%		
	0,11	1,96	3,74	-0,37	0,60	1,57	4,39	5,34	6,38	50%		
	3,19	4,88	6,68	0,96	1,97	2,96	4,44	5,50	6,63	0%	O	
	2,11	3,81	5,60	0,40	1,33	2,31	4,26	5,33	6,47	25%		
	1,04	2,77	4,47	-0,15	0,72	1,69	4,09	5,15	6,30	50%		
	-0,83	1,13	2,98	-1,08	-0,36	0,43	3,12	3,76	4,37	0%	S	
	-0,89	1,08	2,92	-1,12	-0,40	0,39	3,07	3,71	4,32	25%		
	-0,95	1,02	2,86	-1,17	-0,43	0,35	3,03	3,67	4,28	50%		
	1,95	3,44	4,88	0,56	1,37	2,17	3,53	4,16	4,76	0%	L	Parede 4
	1,12	2,62	4,07	0,14	0,93	2,17	3,37	4,01	4,61	25%		
	0,31	1,83	3,28	-0,29	0,53	1,30	3,21	3,85	4,45	50%		
	0,67	2,37	4,02	-0,09	0,80	1,72	5,45	6,61	7,52	0%	N	
	0,29	2,00	3,67	-0,30	0,61	1,52	5,00	6,18	7,10	25%		
	-0,08	1,66	3,35	-0,49	0,42	1,34	4,55	5,57	6,67	50%		
	3,28	5,23	7,02	1,00	2,09	3,15	4,29	5,27	6,34	0%	O	
	2,20	4,05	5,96	0,42	1,46	3,15	4,11	5,09	6,17	25%		
	1,15	3,02	4,99	-0,12	0,84	1,86	3,93	4,91	6,00	50%		
	-1,34	0,44	2,06	-1,24	-0,58	0,03	3,03	3,61	4,18	0%	S	
	-1,41	0,39	2,00	-1,28	-0,61	0,03	2,98	3,57	4,14	25%		
	-1,48	0,33	1,94	-1,33	-0,65	-0,04	2,94	3,52	4,09	50%		

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

De maneira geral observa-se que a maioria dos casos que atenderam a norma ocorreram para paredes com absortância solar com valor de 0,3. A seguir será apresentada uma lista com os casos que atenderam a norma para verão e inverno para a área de abertura de 16,7%:

- I. Absortância solar 0,3, 50% de sombreamento, orientação solar leste parede 3 metros, 1 ren/h, no período de verão, atendeu a norma, visto que apresenta orientação a leste no qual recebe sol pelo período da manhã, nas mesmas condições também atendeu para 5 ren/h no mesmo período e apesar de ter 50% sombreamento também atendeu para o período de inverno. Para sombreamento de 25% também atendeu a norma considerando 5 ren/h, sendo que o valor do ΔT foi aproximadamente o mesmo que para 50% de sombreamento e 1 ren/h;
- II. Absortância solar 0,3, 25% e 50% de sombreamento, orientação solar norte parede 3 metros, 5 ren/h, no período de verão, atendeu a norma, o mesmo não

ocorreu para 1 ren/h. Para inverno por se tratar de orientação solar norte, também houve o atendimento a norma, com temperaturas internas de 5 a 6 °C a mais que a temperatura externa;

- III. Absortância solar 0,3, 50% de sombreamento, orientação solar oeste parede 3 metros, 5 ren/h, no período de verão, atendeu a norma, não atendendo para 1 ren/h e atendendo para inverno apesar de possuir 50% de sombreamento.
- IV. Absortância solar 0,3, 0%, 25% e 50% de sombreamento, orientação solar sul parede 3 metros, 1 ren/h e 5 ren/h, no período de verão, atendeu a norma para o período de verão e inverno, visto que apesar de apresentar sombreamento está orientado a sul. Para a mesma orientação, parede e sombreamento, mas absortância 0,5 e 5 ren/h, também atendeu a norma. Porém, vê-se que com o aumento do sombreamento menores são as chances de se obter o atendimento a norma no inverno, visto que para 50% de sombreamento a diferença entre a temperatura mínima interna e externa ficou no valor de 3,03°C, ou seja, no limite do que é permitido pela norma (temperatura interna seja de 3°C acima da temperatura externa). Trocar a absortância solar para 0,5 na parede sul só garantiria desempenho térmico nas duas condições climáticas, se houvesse uma maior troca de ar (5 ren/h) com o ambiente externo no período do verão;
- V. Absortância solar 0,3, 50% de sombreamento, janela na orientação solar leste na parede de 4 metros, só atenderia a norma com 5 ren/h, no período de verão ($\Delta T = -0,29^{\circ}\text{C}$), mas no inverno ficaria somente 0,85°C a mais que o necessário para atendimento da norma;
- VI. Absortância solar 0,3, 0%, 25% e 50% de sombreamento, orientação solar norte parede 4 metros, 5 ren/h, no período de verão, atendeu a norma, o mesmo não ocorreu para 1 ren/h, que atendeu apenas quando considerado 50% de sombreamento. Para inverno por se tratar de orientação solar norte, também houve o atendimento a norma, com temperatura interna mínima de aproximadamente 6°C a mais que a temperatura mínima externa;
- VII. Absortância solar 0,3, 50% de sombreamento, orientação solar oeste parede 4 metros, 5 ren/h, no período de verão, atendeu a norma, não atendendo para 1 ren/h e atendendo para inverno apesar de possuir 50% de sombreamento;
- VIII. Absortância solar 0,3 e 0,5, 0%, 25% e 50% de sombreamento, orientação solar sul, parede 4 metros, 5 ren/h, no período de verão, atendeu a norma. Com 1 ren/h atendeu apenas para absortância 0,3, sendo que para inverno não

atendeu para essa absorvância com sombreamento de 25% e 50%. Mas esses dois casos ficaram muito próximos de atender a norma, com 2,98°C e 2,94°C de temperatura interna mínima a mais que a externa. Além disso, nestes casos, um sombreamento móvel poderia ser a solução. Também houve o atendimento da norma para 5 ren/h, absorvância de 0,7 e sombreamento de 50%. Esse foi o único caso de atendimento da norma para o desempenho térmico de verão com absorvância de 0,7 e área de abertura de 16,7%.

Dos casos que atenderam a norma para o período de verão como já citado, para inverno com as mesmas condições também houve o atendimento em sua maioria (exceto dois casos).

A seguir serão apresentadas as Tabela 16 e Tabela 17 com os casos que atenderam a norma para verão e inverno para a área de abertura de 25 e 33,3% da área de piso.

Tabela 16 - Atendimento a norma para verão e inverno área de abertura 25%

Área de Ab.	VERÃO 1 REN/H			VERÃO 5 REN/H			INVERNO			Somb.	Orient.	Parede
	Absortância Solar			Absortância Solar			Absortância Solar					
	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7			
25%	3,48	4,57	5,65	1,38	2,00	2,60	3,77	4,28	4,76	0%	L	Parede 3
	2,22	3,34	4,43	0,71	1,33	1,92	3,55	4,06	4,55	25%		
	0,99	2,14	3,23	0,08	0,68	1,26	3,32	3,84	4,33	50%		
	1,87	3,56	5,20	0,60	1,52	2,47	6,20	7,01	7,77	0%	N	
	1,32	3,03	4,68	0,30	1,22	2,15	5,58	6,40	7,16	25%		
	0,79	2,51	4,16	0,00	0,93	1,85	4,77	5,78	6,55	50%		
	5,43	7,10	8,62	2,29	3,27	4,22	4,78	5,92	6,83	0%	O	
	3,88	5,40	7,03	1,37	2,32	3,25	4,53	5,68	6,59	25%		
	2,31	3,85	5,36	0,53	1,39	2,29	4,27	5,43	6,33	50%		
	-0,37	1,47	3,25	-0,78	-0,14	0,65	3,27	3,87	4,44	0%	S	
	-0,46	1,40	3,17	-0,83	-0,18	0,59	3,20	3,80	4,37	25%		
	-0,55	1,32	3,08	-0,89	-0,22	0,53	3,14	3,74	4,31	50%		
	3,78	5,10	6,40	1,56	2,32	3,06	3,87	4,44	4,98	0%	L	Parede 4
	2,55	3,88	5,18	0,90	1,65	2,37	3,64	4,22	4,76	25%		
	1,33	2,68	3,99	0,26	0,99	1,71	3,41	3,99	4,53	50%		
	1,71	3,27	4,80	0,50	1,33	2,21	6,35	7,24	8,07	0%	N	
	1,16	2,74	4,28	0,20	1,03	1,90	5,73	6,62	7,46	25%		
	0,61	2,21	3,75	-0,11	0,74	1,60	4,92	6,00	6,84	50%		
	5,51	7,33	9,00	2,34	3,40	4,43	4,63	5,70	6,54	0%	O	
	3,96	5,63	7,39	1,42	2,45	3,44	4,37	5,45	6,29	25%		
	2,39	4,07	5,70	0,56	1,51	2,48	4,12	5,03	6,04	50%		
	-0,76	0,81	2,34	-0,93	-0,32	0,25	3,18	3,73	4,26	0%	S	
	-0,96	0,73	2,26	-0,98	-0,37	0,19	3,11	3,66	4,19	25%		
	-1,04	0,65	2,18	-1,04	-0,42	0,13	3,05	3,60	4,13	50%		

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Tabela 17 - Atendimento a norma para verão e inverno área de abertura 33,3%

Área de Ab.	VERÃO 1 REN/H			VERÃO 5 REN/H			INVERNO			Somb.	Orient.	Parede
	Absortância Solar			Absortância Solar			Absortância Solar					
	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7			
33,3%	5,39	6,30	7,14	2,36	2,92	3,46	4,09	4,55	5,14	0%	L	Parede 3
	3,56	4,56	5,51	1,47	2,03	2,56	3,80	4,27	4,70	25%		
	1,97	2,98	3,94	0,61	1,15	1,67	3,51	3,98	4,42	50%		
	2,83	4,43	5,96	1,15	2,06	2,98	6,87	7,60	8,28	0%	N	
	2,12	3,72	5,25	0,76	1,64	2,55	6,08	6,82	7,50	25%		
	1,42	3,02	4,57	0,37	1,24	2,14	5,28	6,03	6,72	50%		
	7,47	9,09	10,51	3,58	4,55	5,48	5,25	6,16	7,02	0%	O	
	5,50	6,91	8,42	2,37	3,29	4,18	4,77	5,84	6,70	25%		
	3,50	4,88	6,27	1,19	2,05	2,91	4,44	5,52	6,37	50%		
	0,07	1,77	3,47	-0,52	0,09	0,88	3,41	3,97	4,51	0%	S	
	-0,05	1,66	3,38	-0,57	0,02	0,80	3,33	3,89	4,43	25%		
	-0,17	1,57	3,29	-0,64	-0,04	0,71	3,24	3,81	4,34	50%		
	5,63	6,72	7,83	2,55	3,26	3,94	4,18	4,71	5,35	0%	L	Parede 4
	3,89	5,09	6,26	1,66	2,36	3,03	3,89	4,42	4,91	25%		
	2,30	3,51	4,69	0,79	1,48	2,13	3,60	4,12	4,61	50%		
	2,69	4,14	5,56	1,07	1,87	2,71	7,02	7,82	8,57	0%	N	
	1,97	3,42	4,86	0,66	1,45	2,29	6,23	7,04	7,79	25%		
	1,25	2,74	4,17	0,27	1,05	1,88	5,43	6,24	7,00	50%		
	7,57	9,36	10,92	3,64	4,69	5,70	3,32	5,94	6,73	0%	O	
	5,59	7,16	8,81	2,43	3,43	4,39	3,24	5,62	6,41	25%		
	3,59	5,11	6,62	1,24	2,18	3,10	3,16	5,30	6,08	50%		
	-0,29	1,17	2,57	-0,65	-0,11	0,48	5,10	3,84	4,33	0%	S	
	-0,41	1,05	2,49	-0,71	-0,16	0,40	4,62	3,76	4,25	25%		
	-0,65	0,93	2,40	-0,78	-0,21	0,31	4,29	3,67	4,16	50%		

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Observa-se nas Tabelas 16 e 17, que os casos que atenderam a norma foram em quantidade menor que os casos com aberturas de 16,7% de área do piso. Sendo que para a abertura de 25% foram 14% dos casos que atenderam a norma, ou seja, 10 casos dos 72 simulados para parede de 4 metros e o mesmo para a parede de 4 metros. Para a abertura de 33,3%, 13% dos casos atenderam a norma quando considerada a abertura na parede de 4 metros e 8% na parede de 3 metros, sendo 9 e 6 casos respectivamente de um total de 72 simulações para cada parede com área de abertura de 33,3%.

Observa-se que os casos que atenderam a norma estão todos orientados a sul, com exceção de um caso a norte, com 50% de sombreamento na abertura e, nos demais casos apesar de atenderem a norma para inverno não atenderam para verão, mesmo com sombreamento de 50%.

4.5 Conclusão do capítulo

Através dos resultados apresentados e análises realizadas, pode-se avaliar a influência das aberturas no desempenho térmico de vedações verticais que atendam a NBR 15.575, em edificações em Florianópolis. Para isso, os resultados foram analisados de diferentes formas e o capítulo foi dividido em quatro partes, além desta.

Primeiramente foram apresentados os resultados de uma maneira mais ampla, com uma abordagem geral, apresentando-se as porcentagens de atendimento a norma, através das análises dos resultados de temperaturas horárias e ΔT . Fazendo uma avaliação da área de influência das aberturas no desempenho térmico de vedações verticais externas de acordo com a NBR 15.575, no qual foi possível verificar que de maneira geral, mesmo que todas as simulações tenham ocorrido com todos os parâmetros de acordo com a norma com relação a características térmicas das paredes (transmitância e capacidade térmica), os resultados apontam que no período de verão, quanto menor for a área de abertura, maiores as chances de se obter o desempenho mínimo da vedação vertical, e ainda que 85% não atendeu a norma. Já para o período de inverno, o aumento da área de abertura, beneficia a edificação para que se atinja o desempenho térmico mínimo.

O segundo item deste capítulo apresentou a avaliação dos parâmetros normativos das vedações verticais e sua influência no desempenho térmico dos ambientes, trazendo uma combinação dos parâmetros dois a dois para as três diferentes áreas de aberturas. Verificou-se que independente da absorptância solar, ambientes orientados a sul tem a tendência a não garantir o desempenho térmico mínimo no inverno. E ambientes a oeste deve-se ter cuidados com seus parâmetros normativos para atender ao desempenho térmico mínimo de verão pelo método da simulação. O atendimento ao desempenho térmico mínimo de verão e inverno em Florianópolis é mais facilmente atendido quando os ambientes tem suas aberturas orientadas a norte e leste. Verificou-se que o desempenho térmico de ambientes para oeste, mesmo com 50% de sombreamento das aberturas, é maior a amplitude térmica no verão, que outros ambientes com orientações solares diversas de aberturas e com sombreamento inferior (25% e 0%). De forma geral, a comparação entre áreas de aberturas para as mesmas combinações de parâmetros, indica como esperado, um maior ganho térmico, em função dos ganhos térmicos pelos elementos translúcidos.

Na terceira parte estudou-se especificamente a influência da área de aberturas no desempenho térmico. As áreas de aberturas foram avaliadas com relação a cada um dos parâmetros normativos. Observou-se com uma das análises, que para o aumento das áreas de aberturas seria indicada uma diminuição da absorvência solar das paredes. Valores de absorvência solar 0,5 nas paredes atenderiam em alguns casos desde que fosse garantida uma maior renovação de ar no período de verão.

Por último fez-se uma análise dos casos que atenderam a norma para o período de verão e inverno. Observou-se que dos casos que atenderam a norma em sua maioria apresentavam absorvência de 0,3 e sombreamento de 50% das aberturas para verão.

Sendo assim, conclui-se deste capítulo que apesar de todas as simulações terem ocorrido de acordo com a NBR 15.575 pelo método simplificado, um grande percentual não atendeu a mesma. A seguir apresenta-se a conclusão do trabalho, que trará as conclusões gerais do trabalho e recomendações para futuros trabalhos e sugestões para a reformulação da NBR 15.575.

5 CONCLUSÃO

A NBR 15.575 é a primeira norma brasileira a avaliar o desempenho da edificação habitacional com foco nas exigências dos usuários, independente do sistema construtivo. Com relação ao desempenho térmico, esta norma apresenta um método simplificado de avaliação. Por este método, caso valores de transmitância e capacidade térmica sejam atendidos aos fechamentos verticais e de cobertura, além de áreas mínimas de ventilação, a edificação é aprovada no requisito de desempenho térmico. A NBR 15.575 diferencia os valores de capacidade térmica e transmitância térmica para as oito zonas bioclimáticas brasileiras. Se estes valores não forem atendidos, passa-se então para a simulação computacional, onde deve-se levar em conta as características climáticas da cidade. Sabe-se que, mesmo que as zonas bioclimáticas sejam representativas do clima, existem diferenças quanto à latitude das cidades, ou seja, como ocorre a incidência solar nas diferentes fachadas ao longo do ano. Pelo método simplificado de cálculo da NBR 15.575 para avaliação do desempenho térmico, não são feitas considerações quanto à orientação solar das aberturas, ao sombreamento, ou a área máxima.

Tendo por objetivo avaliar a influência das aberturas no desempenho térmico de vedações verticais (que atendam a NBR 15.575 pelo método simplificado de cálculo), destaca-se neste trabalho como as áreas de aberturas atuam no comportamento térmico de um ambiente localizado em Florianópolis (Zona bioclimática 3).

O que se verificou na revisão de literatura é que as normas técnicas brasileiras, NBR 15.575 e NBR 15.220 e o Código de Obras do município de Florianópolis apresentam um caráter simplificado, quando se trata de desempenho térmico de vedações verticais com relação às áreas de abertura da edificação residencial. Para atendimento dos objetivos deste TCC, foram realizadas simulações computacionais de um ambiente com diferentes considerações de parâmetros construtivos e áreas de aberturas. Nas simulações, adotou-se a capacidade térmica e a transmitância térmica das paredes com os valores mínimos que seriam aprovados pelo método simplificado de cálculo da NBR 15.575. Nas simulações foi excluída a influência do ganho térmico solar das coberturas, desta forma, nas simulações estas superfícies de fechamento superior foram consideradas adiabáticas. Foram realizadas 432 simulações de um mesmo ambiente de 12m², variando os parâmetros

construtivos (área de abertura, orientação solar, sombreamento da abertura, absorvência solar da parede e trocas de ar por hora (ren/h) do ambiente).

Portanto, esperava-se que todos os casos simulados atenderiam a NBR 15.575 (ABNT, 2013), apresentando como resultados todas as temperaturas internas abaixo da externa para o caso do verão e no inverno temperaturas internas 3°C acima da temperatura externa. Porém, não foi isso que ocorreu. De maneira geral, para o período de inverno o aumento da área de abertura, beneficia a edificação para que se atinja o desempenho mínimo. Porém, em 85% dos casos simulados no período de verão, o aumento da abertura traz como resultado temperatura máxima interna superior a máxima externa diária. Estando assim, em desacordo ao que é preconizado pela NBR 15.575 para o desempenho térmico mínimo de verão.

E ainda, analisando do ponto de vista térmico mais crítico, pode-se verificar que para verão em 98% dos casos com abertura na parede externa voltada para oeste, não atenderam a norma, enquanto para inverno, apenas 4% dos casos com abertura na parede externa sul, não atenderam aos critérios da NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Para o período de verão, considerando apenas as aberturas com a menor área simulada (16% da área do piso), houveram 6% dos casos que atenderam a NBR 15.575. Porém para inverno, vê-se que para as áreas maiores de 25% e 33% todos os casos atenderam a norma, e apenas 11% dos casos não atendem, quando a abertura é de 16% da área do piso.

Quando combinado os parâmetros normativos utilizados verificou-se que, com o aumento da área de abertura, maiores foram as diferenças de temperaturas. E ainda foi possível verificar, quando realizadas as simulações, que parâmetros como orientação solar são predominantes num melhor desempenho térmico dos ambientes.

Sendo assim, pode-se afirmar que a NBR 15.575 (ABNT, 2013) pelo método simplificado da avaliação do desempenho térmico, por não considerar a abertura (área máxima e sombreamento) despreza elementos necessários à avaliação do desempenho térmico. Visto que após 432 simulações de ambientes que atenderiam a norma pelo método simplificado, não atenderam em 100% a mesma quando realizada pelo método da simulação computacional.

Sugere-se para atualizações da NBR 15.575, especificar critérios de áreas de aberturas máximos em função da orientação solar da abertura, além da indicação de colocação de proteções solares para evidenciar a colocação de proteção solar no verão. Os comentários abaixo descritos são referentes aos resultados das simulações

e das análises feitas para Florianópolis, com características térmicas específicas de transmitância e capacidade térmica de paredes analisados pelas simulações feitas:

- Ambientes com aberturas orientadas a Norte, a absorptância é o que mais influencia no comportamento térmico, com sombreamento de pelo menos 25% para obtenção do desempenho térmico mínimo, sendo melhorado com 50% de sombreamento com 5 ren/h no verão;

- Ambientes com aberturas voltadas a Sul no desempenho térmico de verão, as três áreas de abertura atendem a norma, destacando-se menor absorptância e sombreamento de 50%. Quando se considera a absorptância solar da parede de 0,3 não há a necessidade de sombreamento, o que melhora também o desempenho para o caso de inverno. Visto que a orientação a sul no inverno não recebe incidência dos raios solares. Entretanto, existe a possibilidade de uso de cores mais escuras nas paredes da fachada sul (área de abertura mínima pelo Código de Obras de Florianópolis), desde que se garanta uma renovação de ar de mais de 5 trocas por hora no verão;

- Ambientes com aberturas orientadas a Leste, a taxa de ventilação de 5 ren/h é o que mais influencia no desempenho térmico dos ambientes, com sombreamento de 50% das aberturas e paredes com absorptância solar de 0,3. Sem sombreamento das aberturas não ocorre atendimento a norma nesse caso, visto que a edificação voltada a leste recebe o sol pela manhã;

- Ambientes com aberturas para Oeste, no período de verão o que mais influencia no comportamento térmico é a orientação solar, pois ambientes com aberturas a oeste, são mais quentes, pois o sol vespertino incide mais perpendicularmente nesta fachada, deixando a edificação com temperaturas mais altas à noite. Para oeste, apenas quando combinado os parâmetros de 5 ren/h de taxa de ventilação, 50% de sombreamento da abertura e 0,3 de absorptância solar da parede é que se tem atendimento a NBR 15.575 no quesito de desempenho térmico, apresentando mesmo assim, valores muito próximos ao não atendimento. Observou-se também que há um predomínio da orientação solar para o ganho térmico. Verifica-se que mesmo com sombreamento de 50% o ganho térmico para oeste é maior para os demais casos com 0% e 25% de sombreamento.

Observa-se que para sul há um menor ganho térmico, quando comparado as demais orientações solares. Já para oeste há um maior ganho térmico, tanto para inverno, como para verão. Então, para uma edificação voltada a sul no inverno as

chances do não atendimento à norma são maiores, assim como uma edificação voltada a oeste no verão. Evidencia-se, portanto, que com o aumento das áreas de abertura a leste, norte e oeste, mais difícil é de se atingir o desempenho mínimo de vedações verticais externas no caso de verão, mesmo que tenha havido o atendimento a norma pelo método simplificado da NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Dos casos com aberturas de 16,7% da área do piso, que atenderam a norma para inverno sem sombreamento, quando considerados nas mesmas condições de área de abertura e orientação solar, mas com 50% de sombreamento atendem a norma para o período de verão considerando 5 ren/h.

Conclui-se pelos resultados das simulações para o caso de Florianópolis, que as dimensões de aberturas e absorvência solar dos fechamentos verticais, precisariam ser verificados também no atendimento da norma pelo método simplificado para o caso de verão, visto que no período de inverno as vedações verticais analisadas atenderam ao desempenho térmico mínimo.

Considerando as análises realizadas, mesmo com uma edificação com as paredes tendo atendido ao método simplificado da NBR 15.575 (ABNT, 2013), finaliza-se este trabalho com recomendações para aberturas em diferentes orientações solares para Florianópolis:

- a) Ambiente com janelas orientadas a norte priorizar área menor de abertura da legislação, e projetar proteção solar para o verão. Oportunizar maiores trocas de ar no ambiente, através de ventilação cruzada e utilização de cores claras nas paredes externas;
- b) Ambiente com janelas orientadas a sul possibilitam diversos tamanhos de áreas de aberturas, não havendo necessidade de uso de proteção solar interna ou externa quando as cores das paredes forem de tons claros. A utilização de cores mais escuras nas paredes externas só é recomendada para ambientes com menores taxas de ventilação;
- c) Ambiente com janelas orientadas a leste priorizar área menor de abertura e uso de proteção solar. Oportunizar maiores trocas de ar no ambiente, através de ventilação cruzada;
- d) Ambiente de grande permanência com janela orientada a oeste deve ser evitada. Caso não se consiga uma solução arquitetônica sem abertura à oeste, utilizar cores claras na pintura das paredes externa, adotar as menores áreas de abertura definidas pela legislação, com

dispositivo de proteção solar externo, e buscar o maior aproveitamento da ventilação natural.

Portanto, sugere-se para o método simplificado de avaliação do desempenho térmico da NBR 15.575, ferramentas de avaliação que considerem a relação entre área de abertura e absorvância solar das paredes por orientação solar. Onde para maiores áreas de abertura, só seria indicado valores de absorvância solar de cores mais claras, minimizando os ganhos térmicos no verão pelas vedações verticais.

5.1 Sugestões de Trabalhos Futuros e Limitações do Trabalho

Sugere-se para trabalhos futuros a realização de simulações que, considerem: maiores áreas de aberturas; valores de transmitância e capacidade térmica das paredes diferentes dos apresentados pela NBR 15.575; além de avaliar o fluxo de calor através das vedações verticais. Destaca-se também a sugestão de análises para diferentes cidades em diferentes zonas bioclimáticas.

O trabalho apresenta como limitações, um ambiente de área fixa, com 12 m², sendo considerada três áreas de aberturas apenas. Também se considerou além das paredes internas, o piso e a cobertura como adiabáticos, ou seja, desconsiderando os ganhos e perdas de calor por esses elementos. Ressalta-se ainda que as simulações só foram realizadas para o clima de Florianópolis. E foram utilizados apenas um valor para as características térmicas das paredes (transmitância térmica e capacidade térmica).

REFERÊNCIAS

ABREU et al. Análise comparativa dos procedimentos de desempenho térmico da NBR 15.575 em edificação multifamiliar. In: **XIV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, X Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**. 2017, Balneário Camboriu, 2017. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/encac/files/2017/topico4artigo53.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2018.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15.575-1**: Edificações Habitacionais – Desempenho parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 15.575-4**: Edificações Habitacionais – Desempenho parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-residenciais**. 2008. 215 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2008. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/TESE_Joyce_Correna_Carlo.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2018.

CERVO, A. L.; B. P. A. **Metodologia científica**: para uso dos estudantes universitários. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1983.

FLORIANÓPOLIS. **Lei Complementar nº 060/2000**, de 28 de agosto de 2000. Institui o Código de Obras e Edificações de Florianópolis e dá outras providências. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/07_03_2016_10.59.11.15cb00bd9a43e0d8f9e26413d531daad.pdf>. Acesso em: 25 set.2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW, p. 192, 1997.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. p. 382, 2014.

MARINOSKI, D. L. **Aperfeiçoamento de um sistema de medição de ganho de calor solar através de aberturas**. 2005. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2005. Disponível em: <
http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Deivis_Luis_Marinoski.pdf>. Acesso em: 02 out. 2018.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. D. P. B. **Metodologia da Pesquisa**. 5. ed. Penso. p. 624, 2015.

SANTOS, J. C. P. et al. Comportamento térmico de fechamentos em alvenaria estrutural para a Zona Bioclimática 2 brasileira. **Revista Materia**, v. 20, n. 4, p. 1030–1047, 2015.

SORGATO, M. J. et al. Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 83-101, out./dez. 2014. Disponível em: <
<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/45644>>. Acesso em: 01 out. 2018.

TIBÚRCIO, I. C. S. P. **Ventilação Natural em Edificações Residenciais: Parâmetros normativos para configuração das aberturas**. 2017. 207 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Alagoas - UFAL, Alagoas, 2017. Disponível em:
 <http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/2723/1/Ventila%C3%A7%C3%A3o%20natural%20em%20edifica%C3%A7%C3%B5es%20residenciais_%20par%C3%A2metros%20normativos%20para%20configura%C3%A7%C3%A3o%20das%20aberturas.pdf>. Acesso em: 02 out. 2018.

TSIKALOUDAKI, K. et al. Assessing cooling energy performance of windows for residential buildings in the Mediterranean zone. **Energy Conversion and Management**, v. 64, p. 335–343, 2012. Disponível em:
 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890412002075>>. Acesso em: 10 set. 2018.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Cálculo de Transmitância Térmica

Para a determinação da transmitância térmica, realizou-se o cálculo através da NBR 15.220, no qual, transmitância térmica é o inverso da resistência térmica total do sistema construtivo. Sendo assim, para determinar a resistência térmica do sistema construtivo realiza-se o seguinte cálculo:

$$R_{parede} = \frac{e}{\gamma}$$

No qual,

R_{parede} : Resistência térmica da parede ($m^2.K/W$);

e : espessura da parede;

γ : condutividade térmica ($W/m.K$).

Para o presente Trabalho de Conclusão de Curso, considerou-se uma parede de tijolo maciço, afim de facilitar os cálculos e as simulações. Utilizou-se uma parede com espessura de 21 cm e condutividade térmica de 0,90 $W/m.K$, conforme tabela B.3 da norma para o material tijolo de cerâmica.

Figura 01 - Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais

Material	ρ (kg/m^3)	λ ($W/(m.K)$)	c ($kJ/(kg.K)$)
Argamassas			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
Cerâmica			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92

Fonte: NBR 15.220-2 (ABNT, 2005).

Logo:

$$R_{parede} = \frac{e}{\gamma} = \frac{0,21 \text{ m}}{0,90 \text{ (W/m.K)}} = 0,233 \text{ m}^2.K/W$$

A resistência total da parede é dada por:

$$R_T = R_{se} + R_{parede} + R_{si}$$

No qual:

R_T : Resistência térmica total dos sistemas construtivos ($m^2.K/W$);

R_{parede} : Resistência térmica da parede ($m^2.K/W$);

R_{se} : Resistência térmica superficial externa ($m^2.K/W$);

R_{si} : Resistência térmica superficial interna ($m^2.K/W$).

Os valores de R_{se} e R_{si} , são tabelados e são em função da direção do fluxo de calor, nos casos de vedações verticais o fluxo é horizontal. Conforme tabela A.1 da MBR 15.220-2, conforme abaixo.

Figura 02 - Resistência térmica superficial interna e externa

$R_{si} (m^2.K)/W$			$R_{se} (m^2.K)/W$		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15.220-2 (ABNT, 2005).

Portanto, a resistência térmica total será:

$$R_T = R_{se} + R_{parede} + R_{si}$$

$$R_T = 0,04 + 0,233 + 0,13$$

$$R_T = \mathbf{0,403 \, m^2.K/W}$$

Sendo assim, foi possível determinar a transmitância térmica utilizada nas simulações. Que segundo a NBR 15.220-2, se dá pela seguinte fórmula:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Onde:

U: Transmitância térmica da parede ($W/m^2.K$);

R_T : Resistência térmica total dos sistemas construtivos ($m^2.K/W$).

Sendo assim, obteve-se o seguinte resultado de transmitância térmica.

$$U = \frac{1}{R_T}$$
$$U = \frac{1}{0,403} = \mathbf{2,48\ W/m^2.K}$$

Observa-se que este valor está de acordo com o que é preconizado pela NBR 15.575 (ABNT, 2013), para obtenção do desempenho térmico mínimo das vedações verticais, no qual a transmitância térmica deve ser menor ou igual a 2,5 W/m².K.

APÊNDICE B – Legenda para simulação

Figura 01 – Legenda para simulação

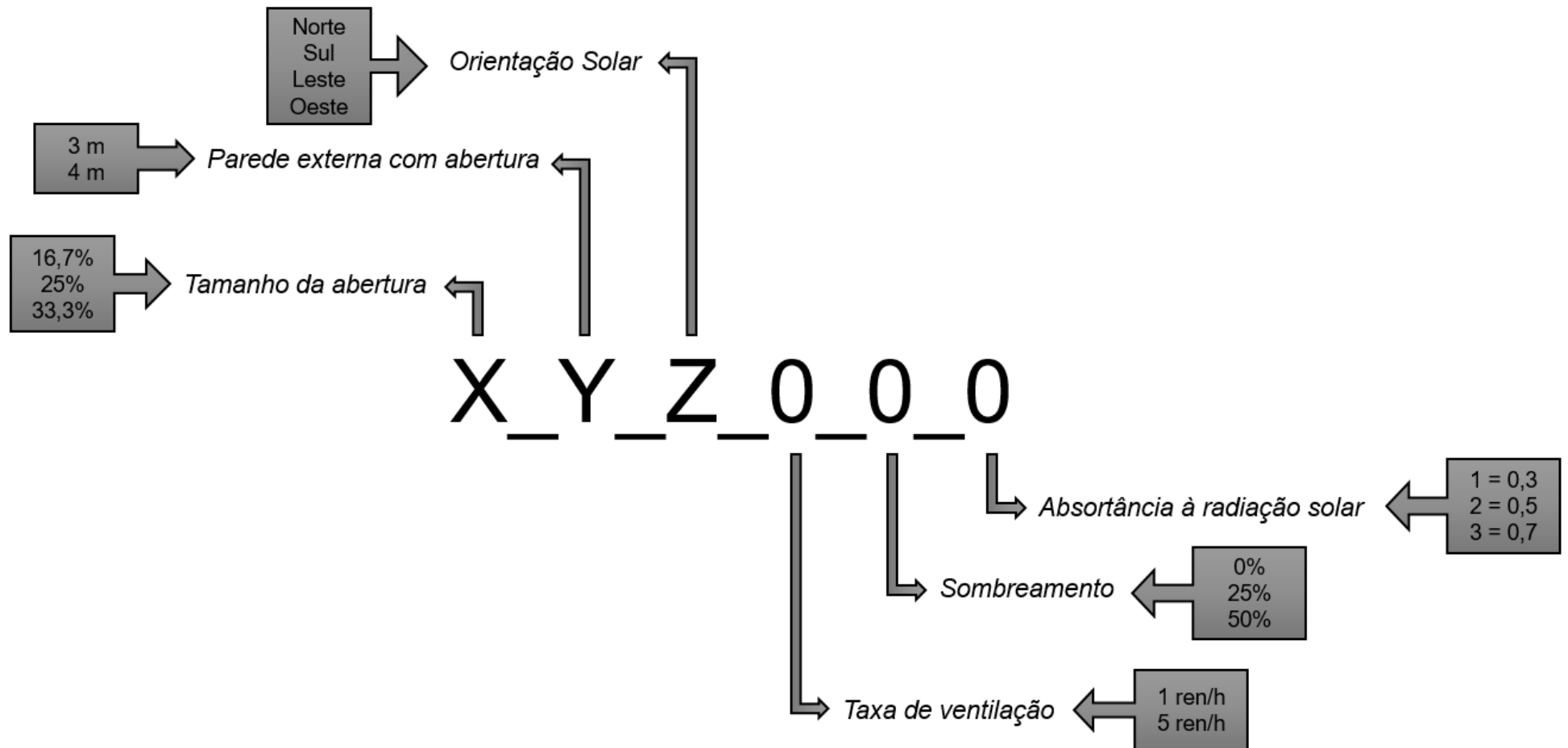
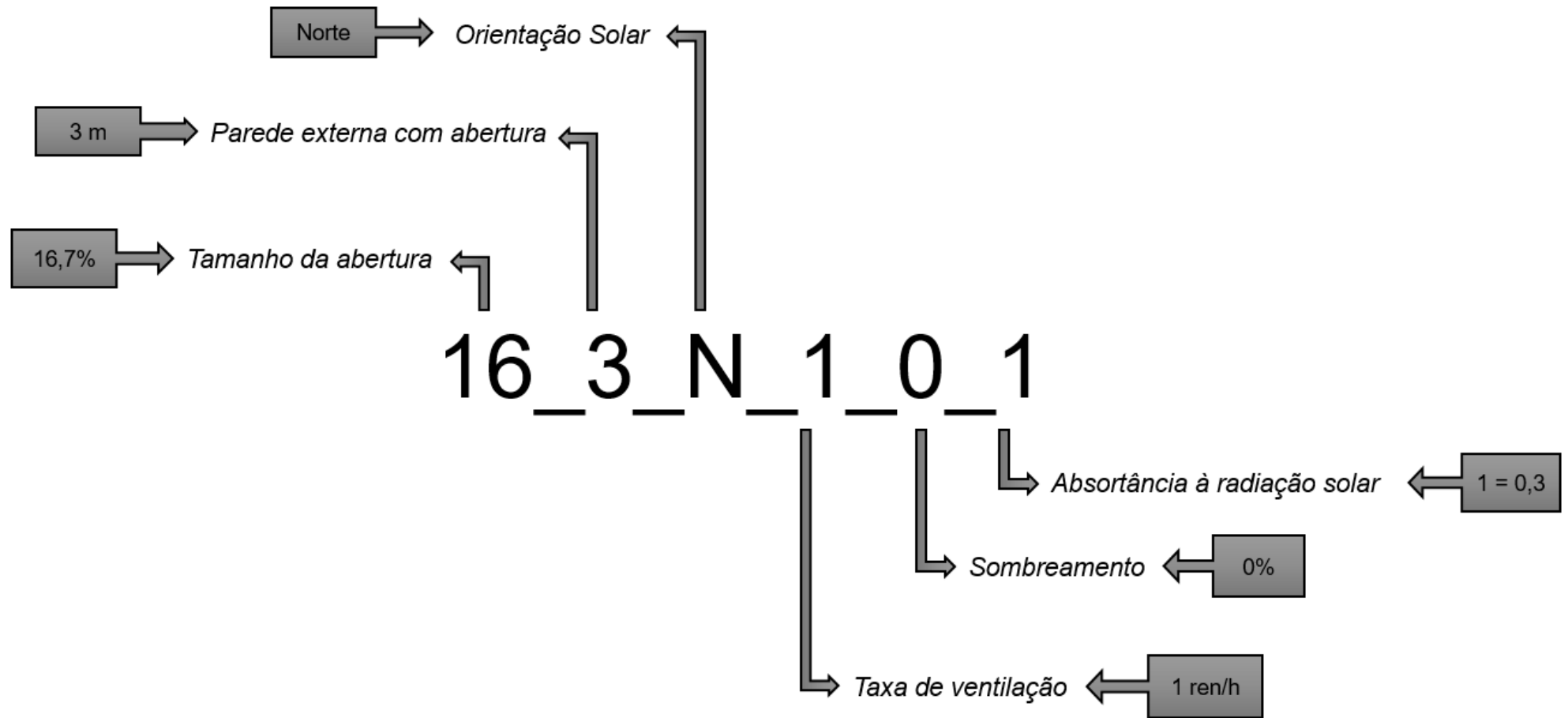


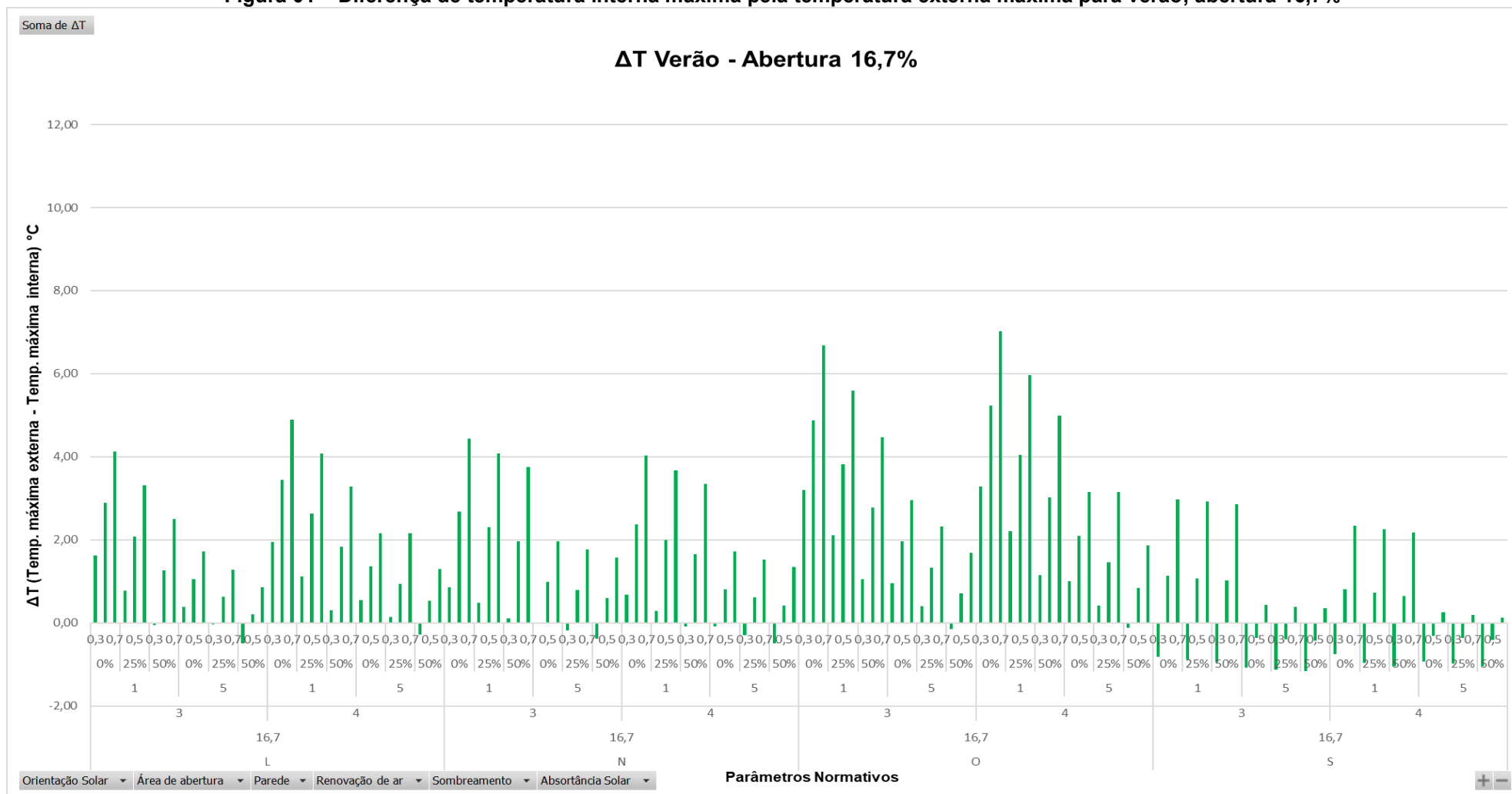
Figura 02 – Legenda para simulação, exemplo



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

APÊNDICE C – Gráficos diferença de temperatura interna máxima pela temperatura externa máxima para verão

Figura 01 – Diferença de temperatura interna máxima pela temperatura externa máxima para verão, abertura 16,7%



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Figura 02 – Diferença de temperatura interna máxima pela temperatura externa máxima para verão, abertura 25%

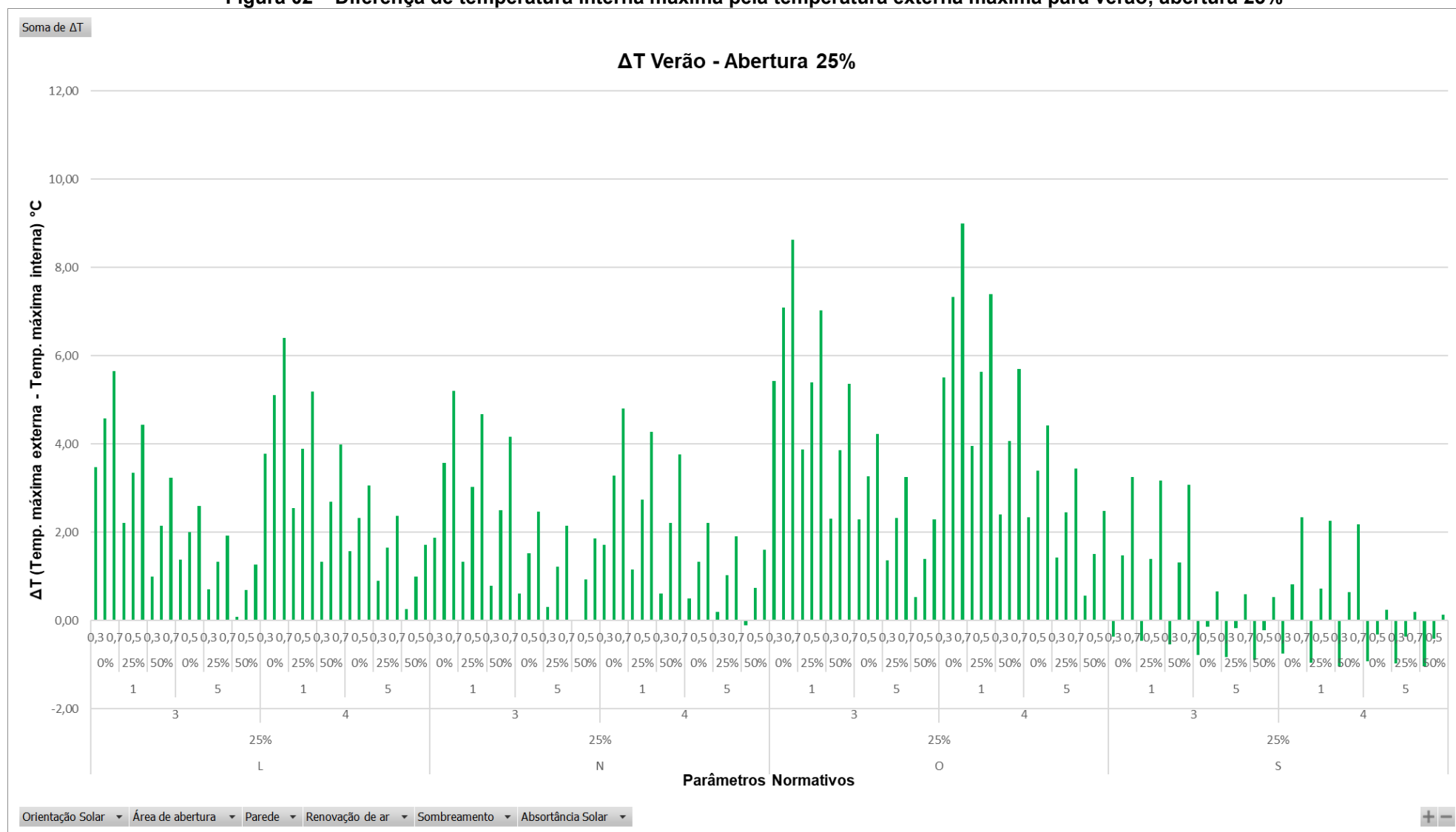
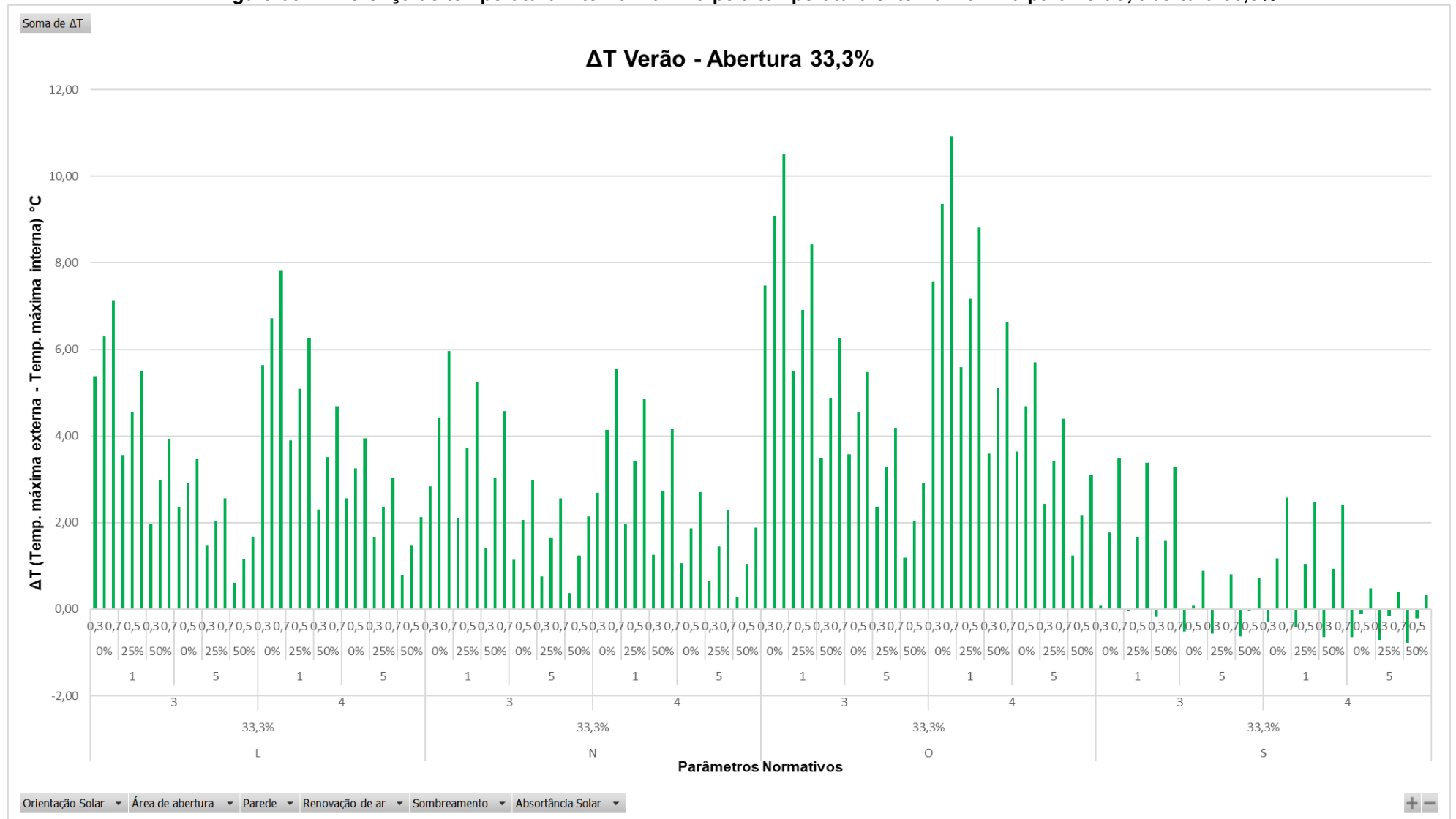


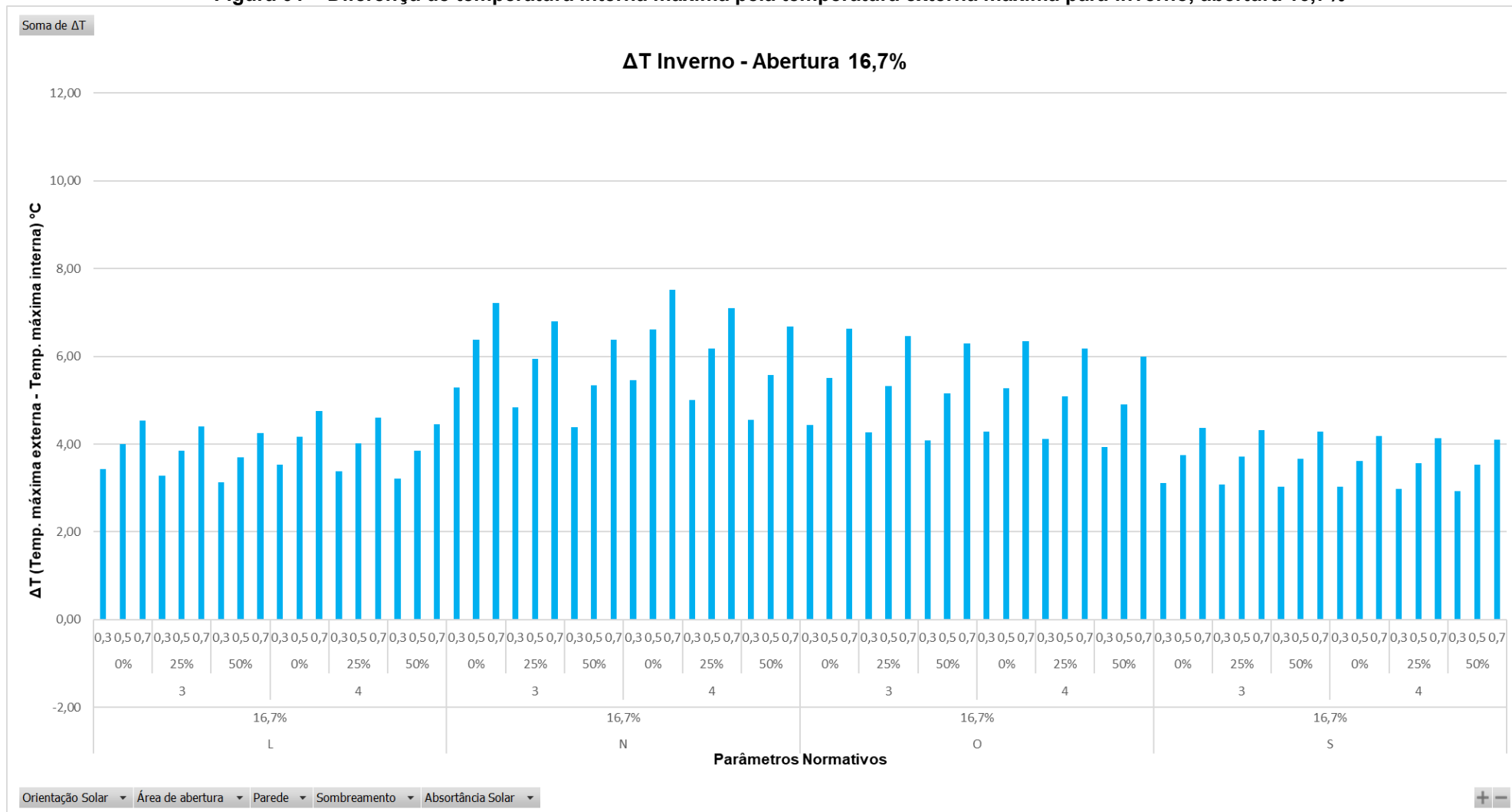
Figura 03 – Diferença de temperatura interna máxima pela temperatura externa máxima para verão, abertura 33,3%



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

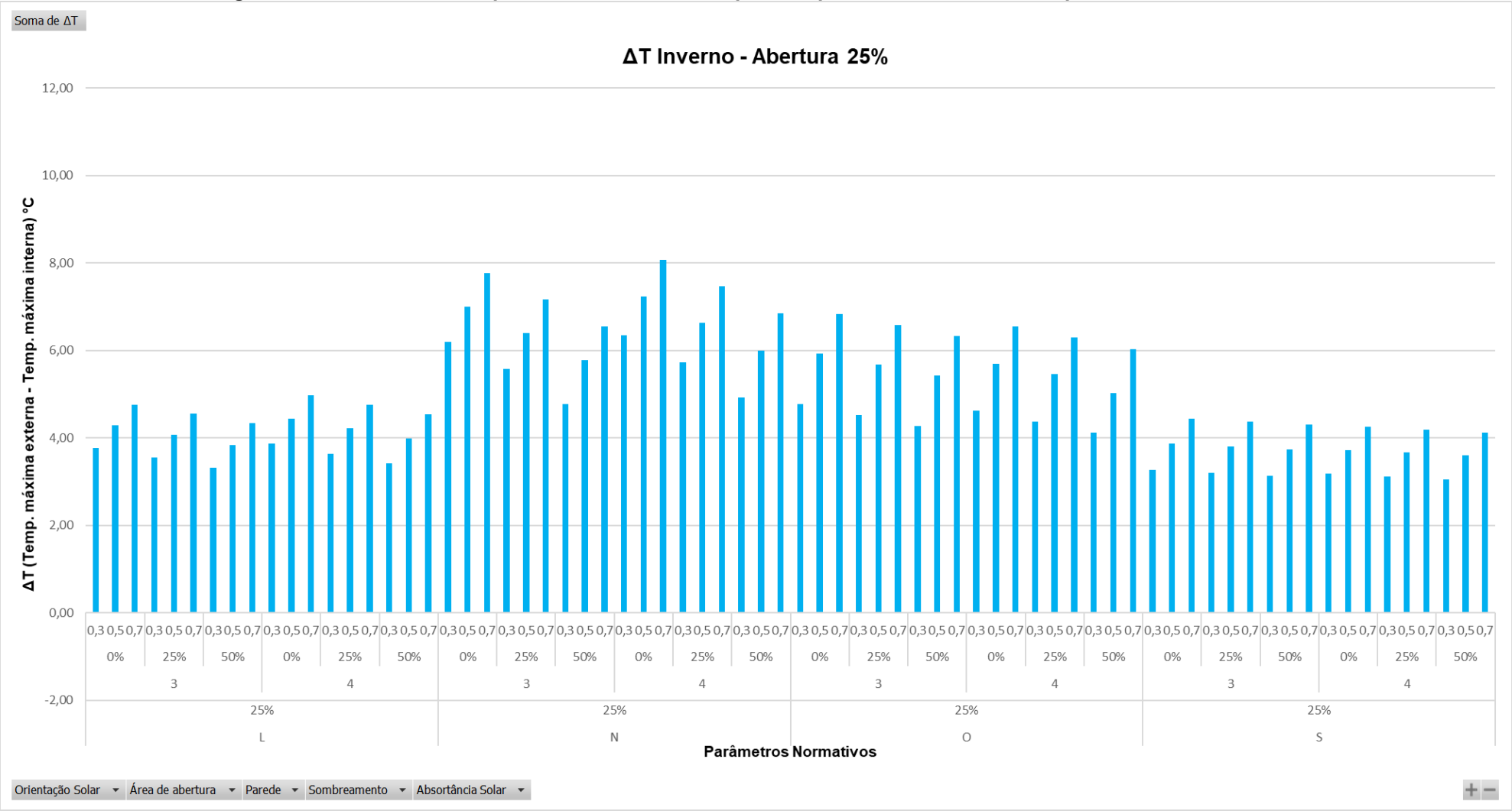
APÊNDICE D – Gráficos diferença de temperatura interna máxima pela temperatura externa máxima para inverno

Figura 01 – Diferença de temperatura interna máxima pela temperatura externa máxima para inverno, abertura 16,7%



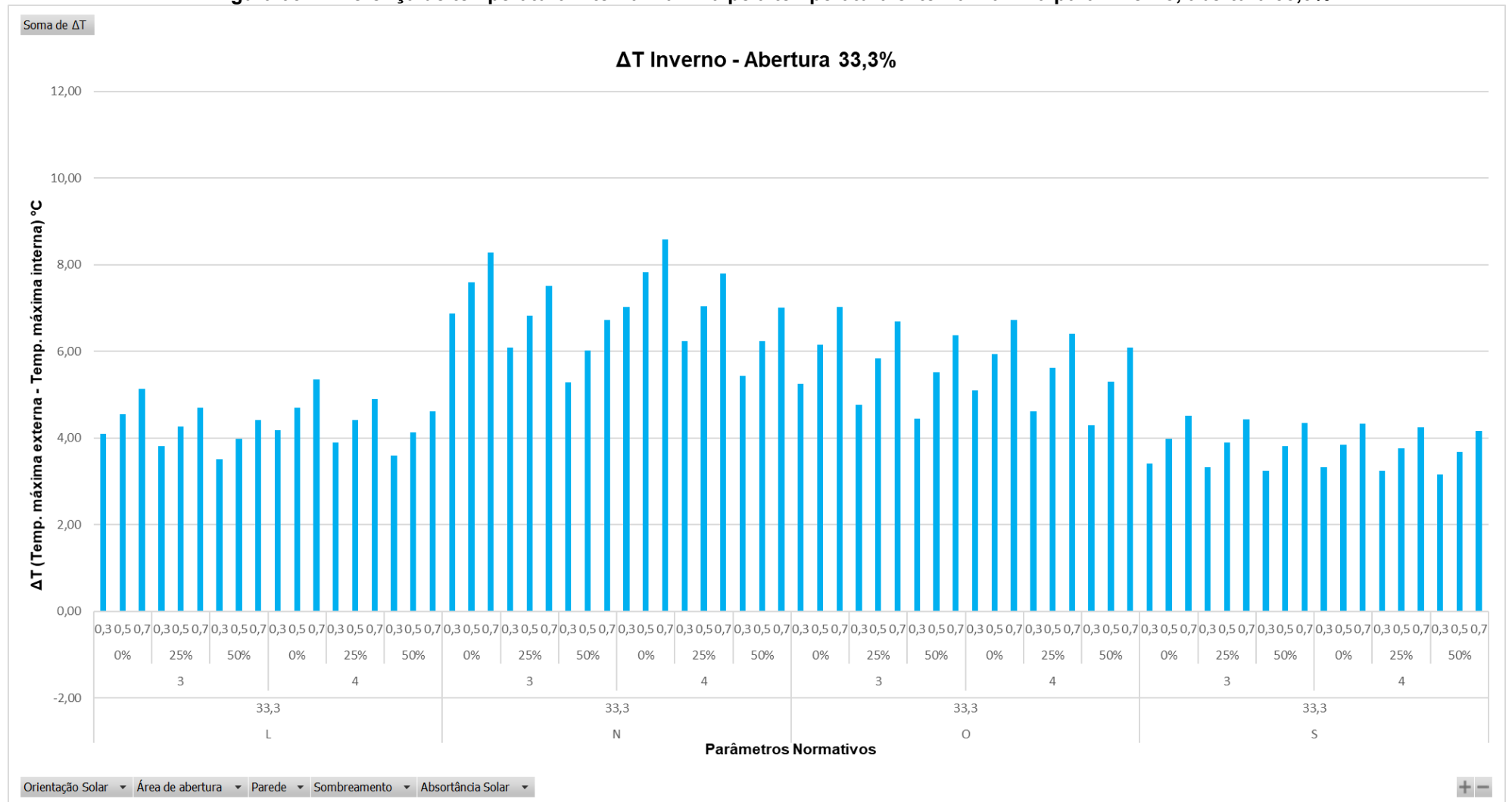
Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Figura 02 – Diferença de temperatura interna máxima pela temperatura externa máxima para inverno, abertura 25%



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Figura 03 – Diferença de temperatura interna máxima pela temperatura externa máxima para inverno, abertura 33,3%



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

GLOSSÁRIO

ABSORTÂNCIA À RADIAÇÃO SOLAR:	Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.
ATRASO TÉRMICO:	Tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor.
CALOR ESPECÍFICO DO ELEMENTO:	Quociente da capacidade térmica pela massa.
CAPACIDADE TÉRMICA:	Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema.
CONDUTIVIDADE TÉRMICA:	Propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1K/m^2 .
DENSIDADE DE MASSA APARENTE:	Quociente da massa pelo volume aparente de um corpo.
DIA TÍPICO DE PROJETO DE INVERNO:	Dia definido como um dia real, caracterizado pelas seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar incidente em superfície horizontal para o dia mais frio do ano segundo a média do período dos últimos dez anos.
DIA TÍPICO DE PROJETO DE VERÃO:	Dia definido como um dia real, caracterizado pelas seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar incidente em superfície horizontal para o dia mais quente do ano segundo a média do período dos últimos dez anos.

EMISSIVIDADE:	Quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura.
MANUTENIBILIDADE:	Grau de facilidade de um sistema, elemento ou componente de ser mantido ou recolocado no estado no qual possa executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas, procedimentos e meios prescritos.
PARÂMETRO:	Princípio através do qual é possível estabelecer uma comparação; padrão.
RESISTÊNCIA SUPERFICIAL EXTERNA:	Resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície externa de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção.
RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERNA:	Resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície interna de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção.
RESISTÊNCIA TÉRMICA DO MATERIAL:	Quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário.
RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL:	Somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa.
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL:	Consiste em empregar formalizações em computadores, tais como expressões matemáticas ou especificações mais ou menos formalizadas, com o propósito de imitar um processo ou operação do mundo real.
SOMBREAMENTO:	Ato ou efeito de sombrear.

TAXA DE VENTILAÇÃO:

Vazão de ar exterior que circula por um ambiente através de aberturas intencionais.

TRANSMISSIVIDADE:

Fração de energia radiante que é transmitida através de uma superfície.

TRANSMITÂNCIA TÉRMICA:

Transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo; neste caso, dos vidros e dos componentes opacos das paredes externas e coberturas, incluindo as resistências superficiais interna e externa, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes.

ZONA BIOCLIMÁTICA:

Região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano.

* Os significados das palavras acima, foram extraídos de dicionários da língua portuguesa e das NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) e NBR 15.220-1 (ABNT, 2005).