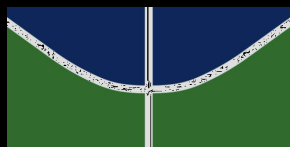
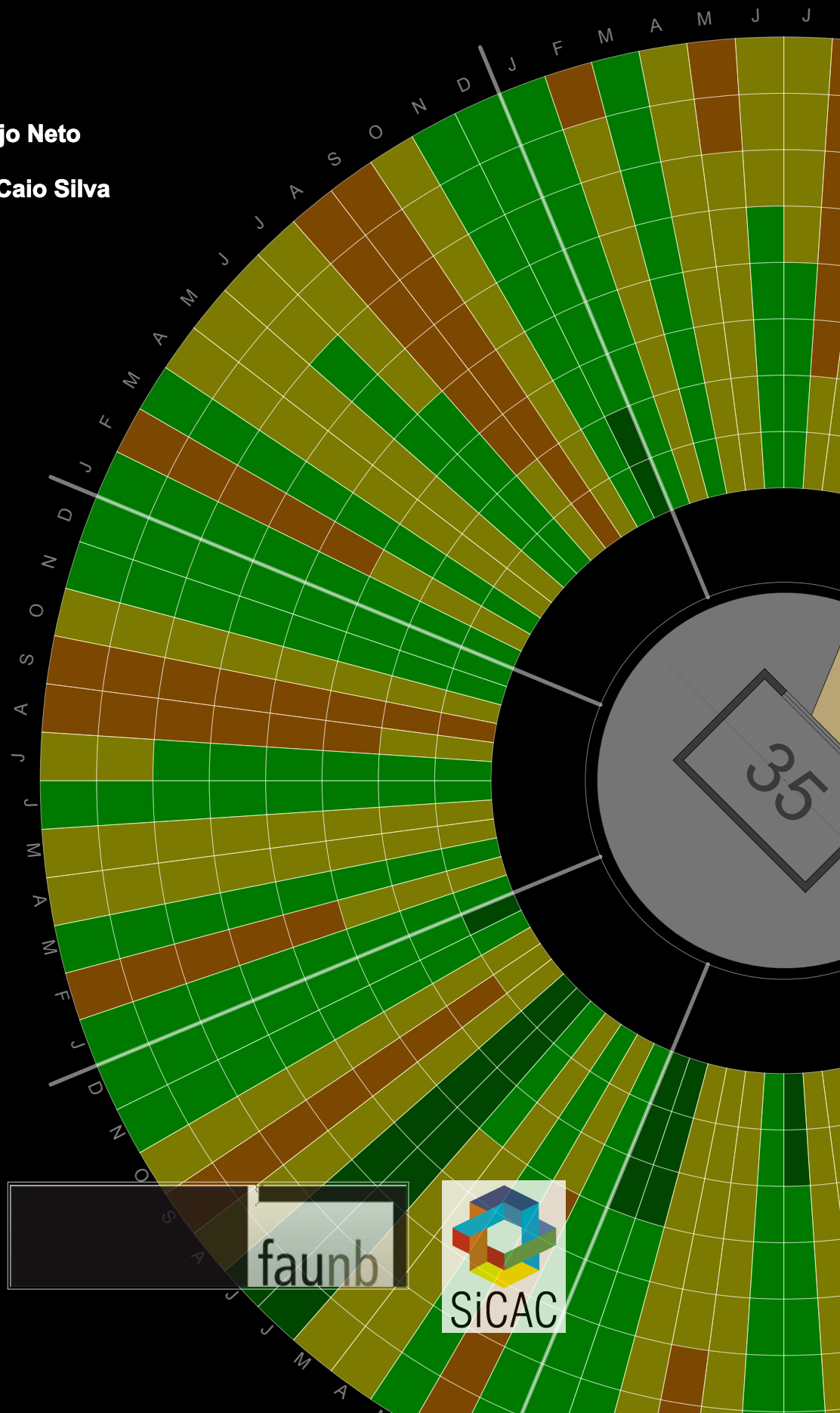


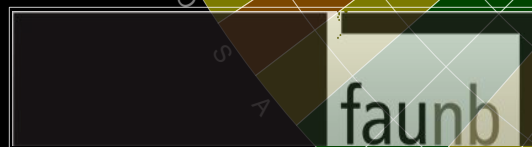
ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ÁREA DE ABERTURA NO CONFORTO TÉRMICO DE AMBIENTES RESIDENCIAIS NO CONTEXTO CLIMÁTICO DE BRASÍLIA

Paulo Cabral de Araújo Neto

Orientador: Prof. Dr. Caio Silva



Dissertação - 2018



ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ÁREA DE ABERTURA NO
CONFORTO TÉRMICO DE AMBIENTES RESIDENCIAIS NO
CONTEXTO CLIMÁTICO DE BRASÍLIA

PAULO CABRAL DE ARAÚJO NETO

ORIENTADOR: CAIO FREDERICO E SILVA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO

BRASÍLIA/DF: MAIO – 2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E
URBANISMO

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ÁREA DE ABERTURA NO
CONFORTO TÉRMICO DE AMBIENTES RESIDENCIAIS NO
CONTEXTO CLIMÁTICO DE BRASÍLIA

PAULO CABRAL DE ARAÚJO NETO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO DA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ARQUITETURA E URBANISMO.

APROVADA POR:

Prof. Caio Frederico e Silva, Dr. (FAU/UnB)
(Orientador)

Profa. Michele Tereza Marques Carvalho, Dra. (FT/UnB)
(Examinadora Externa)

Profa. Cláudia Naves David Amorim, Dra. (FAU/UnB)
(Examinadora Interna)

BRASÍLIA/DF, 08 DE MAIO DE 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

ARAÚJO NETO, PAULO CABRAL de	
Análise da influência da área de abertura no conforto térmico em ambientes residenciais no contexto climático de Brasília.	
[Distrito Federal] 2018.	
xiv, 93p., 216 x 279 mm (PPG-FAU/UnB, Mestre, Arquitetura e Urbanismo, 2018).	
Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.	
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.	
1. Conforto Térmico	2. Simulação Computacional
3. Graus-hora	
I. FAU/UnB	II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAÚJO NETO, P. C. de (2018). Análise da influência da área de abertura no conforto térmico em ambientes residenciais no contexto climático de Brasília. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 93p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Paulo Cabral de Araújo Neto

TÍTULO: Análise da influência da área de abertura no conforto térmico em ambientes residenciais no contexto climático de Brasília

GRAU: Mestre ANO: 2018

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Paulo Cabral de Araújo Neto
SHIS QI 15 Chácara 60 Casa A 71600-800 – Lago Sul, Brasília – DF – Brasil
e-mail: pauloneto2101@gmail.com

“Afinal, há de que ter paciência, dar tempo ao tempo, já devíamos ter aprendido, e de uma vez para sempre, que o destino tem de fazer muitos rodeios para chegar a qualquer parte.”

José Saramago – Ensaio sobre a Cegueira

À Marília, ao Tomás e Eduardo.

AGRADECIMENTOS

À Marília, pelo carinho e pelo apoio incondicional.

Ao Prof. Caio, pela dedicação, generosidade e paciência.

À Cândida, pelo incentivo constante.

André e Bruno, pelo companheirismo e pelas horas de trabalho em conjunto.

Jackson, sr. Excel, pelas semanas poupadas.

Carol e Flávia, pela compreensão.

Ao grupo do SiCAC, em especial ao Thiago, pelos ricos debates.

Grego, Liza, Juliana, Darja e Profa. Cláudia, pelos ótimos momentos, que foram um grande incentivo para o meu retorno.

RESUMO

Problemas relativos ao conforto térmico nas edificações se dão muitas vezes em razão da incidência de radiação solar direta na envoltória do edifício, o que depende de vários fatores, dentre eles, da orientação, do clima e da dimensão das aberturas. O objetivo deste trabalho é analisar a influência da área de abertura envidraçada no conforto térmico de ambientes residenciais no contexto da Zona Bioclimática 4, em especial, no clima de Brasília, Distrito Federal. A metodologia compreende a modelagem computacional de um ambiente residencial de permanência prolongada e a simulação por meio do algoritmo *EnergyPlus* que utiliza a interface gráfica do programa *Design Builder* (versão 5.01.021). Utiliza-se o modelo adaptativo e o método de Graus-hora, testando a variação da porcentagem da área de abertura em razão da área do piso. Para tal, emprega-se o arquivo climático ASHRAE-IWEC fornecido pelo *software* e são simulados modelos com e sem sombreamento nas aberturas. Os resultados destacam uma correlação positiva entre o aumento da área de abertura e o aumento das horas de desconforto térmico, e indicam as fachadas sul e nordeste como as que possuem maior e menor número de horas de conforto, respectivamente. O estudo também conclui que aberturas de até 15% da área do piso tem bom nível de conforto térmico para qualquer orientação, considerando a configuração do modelo simulado. Por fim, os dados obtidos por simulação são compilados num diagrama que, classificando os resultados por cores, permite uma rápida e adequada apreensão das 768 diferentes condições simuladas, no qual destacam-se as orientações e as áreas de aberturas que permitiram ao modelo simulado alcançar maiores e menores níveis de conforto térmico, sendo, portanto, uma ferramenta de auxílio à análise projetual, desde as primeiras fases do desenvolvimento do projeto arquitetônico.

Palavras-chaves: Conforto Térmico, Simulação Computacional, Abertura, Energyplus, Diagrama.

ABSTRACT

Problems related to thermal comfort in buildings are often due to the incidence of direct solar radiation in the building envelope, which depends on several factors, among them the orientation, the climate and the size of the openings. The objective of this work is to analyze the influence of the glazed opening area on the thermal comfort of residential environments in the context of Bioclimatic Zone 4, especially in the climate of Brasília, Federal District. The methodology includes the computational modeling of a long term stay residential spaces and the simulation using the EnergyPlus algorithm that uses the graphical interface of the Design Builder program (version 5.01.021). The adaptive model and the Degrees-hour method are used, testing the variation of the percentage of the opening area ratio by the floor area. For this, the ASHRAE-IWEC climate file provided by the software is used, and shadowing models are simulate. The results highlight a positive correlation between the increase of the opening area and the increase in hours of thermal discomfort, and indicate the south and northeast façades as having the highest and lowest number of comfort hours, respectively. The study also concludes that openings up to 15% of the floor area have a good level of thermal comfort for any orientation, considering the configuration of the simulated model. Finally, the data obtained by simulation are compiled in a diagram that, by classifying the results by color, allows a fast and adequate understanding of the 768 different simulated conditions, in which highlight the orientations and the areas of openings that allowed the simulated model to reach higher and lower levels of thermal comfort, being, therefore, a tool of aid to the design analysis, from the first phases of the development of the architectural project.

Keywords: Thermal Comfort, Computer Simulation, opening areas, diagram.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
<u>1.1</u>	JUSTIFICATIVA	5
<u>1.2</u>	OBJETIVOS	6
1.2.1	Objetivo geral	6
1.2.2	Objetivos específicos	6
<u>1.3</u>	Estrutura do Trabalho	6
2	REFERENCIAL TEÓRICO	8
<u>2.1</u>	Sobre as aberturas	8
<u>2.2</u>	Sobre o clima de Brasília	10
<u>2.3</u>	Modelo e método de avaliação de conforto térmico	12
2.3.1	Modelo Adaptativo	14
2.3.2	O Método Graus-hora	15
<u>2.4</u>	Arquivos climáticos	20
<u>2.5</u>	Área de abertura e a interferência de outras variáveis	23
2.5.1	Vista exterior X eficiência energética	24
2.5.2	Abertura de janelas X consumo de energia	27
2.5.3	Variação da área de piso X desempenho térmico	28
2.5.4	Variáveis no Método Simplificado da NBR 15575 X desempenho térmico ..	30
2.5.5	As aberturas envidraçadas nas normas	32
<u>2.6</u>	Considerações sobre o capítulo	37
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	39
<u>3.1</u>	Definição do modelo	41
<u>3.2</u>	Condições de simulação	44
<u>3.3</u>	Delimitação do objeto da análise	46
<u>3.4</u>	Análise estatística	48
<u>3.5</u>	Apresentação dos resultados	48
4	RESULTADOS	53
<u>4.1</u>	Análise de Variância	53
<u>4.2</u>	Análise dos Resultados	55

<u>4.3</u>	Apresentação de resultados por meio dos diagramas	63
<u>4.4</u>	Painel de diretrizes	69
5	DISCUSSÃO	72
6	CONCLUSÃO	77
	REFERÊNCIAS.....	80
	APÊNDICES	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Contribuição de cada elemento na carga térmica.....	6
Figura 2 – Etapas do trabalho.	7
Figura 3 – Perspectivas das cinco geometrias.....	25
Figura 4 – Variação das dimensões horizontais da habitação.....	30
Figura 5 – Temperatura máxima do ar no interior da sala em função da área envidraçada na fachada, considerando a habitação de referência “a”.	30
Figura 6 – Exemplos de habitações com o mesmo sistema construtivo e projeto arquitetônico com diferentes áreas envidraçadas na fachada.	37
Figura 7 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos.....	40
Figura 8 – croqui da planta baixa do modelo.	41
Figura 9 – croqui do corte do modelo sem sombreamento na abertura.	42
Figura 10 – croqui do corte do modelo com sombreamento na abertura.	42
Figura 11 – Especificação para as paredes.	44
Figura 12 – Especificação para a cobertura.....	44
Figura 13 – Diagrama de desempenho.	49
Figura 14 – Legenda do diagrama de resultados.....	49
Figura 15 – Ícone para uso no diagrama com indicação de três configurações para Sudeste, Noroeste e Nordeste, com 12,5%, 30% e 45% de abertura, respectivamente.	50
Figura 16 – Legenda do centro do diagrama.	51
Figura 17 – Ícone para uso nos painéis com indicação de configurações para Sudoeste, Norodeste e Nordeste com 12,5%,30% e 45% de abertura, respectivamente.	51
Figura 18 – Painel resumo das áreas de aberturas e orientações.....	52
Figura 19 – Teste Tukey.	55
Figura 20 – Número de iPOCs por simulação.....	58
Figura 21 – Gráficos com a média anual de horas de conforto, sem sombreamento.	59
Figura 22 – Gráficos com a média anual de horas de conforto, com sombreamento.	60
Figura 23 – Legenda para do diagrama.	64
Figura 24 – Diagrama da simulação sem sombreamento indicando iPOCs para todo ano (para Verão).	65
Figura 25 – Diagrama da simulação com sombreamento indicando iPOCs para todo ano (para verão).	66
Figura 26 – Diagrama da simulação sem sombreamento indicando iPOCs para abertura de 45% e fachada sudeste.	68
Figura 27 – Diagrama da simulação com sombreamento indicando iPOCs para abertura de 15% e fachada noroeste.	69
Figura 28 – Painél de diretrizes para modelo simulado sem sombreamento.	70
Figura 29 – Painél de diretrizes para modelo simulado com sombreamento.	71
Figura 30 – gráfico da porcentagem de horas de conforto com acréscimo da área de abertura, por orientação, para modelo sem sombreamento.	73
Figura 31 – gráfico da porcentagem de horas de conforto com acréscimo da área de abertura, por orientação, para modelo com sombreamento.	74

Figura 32 – gráfico do acréscimo da percentagem de horas de conforto com aumento da área de abertura, por orientação, para modelo com sombreamento. 75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos dados.	11
Tabela 2 – Percentual de desconforto por períodos do dia.	12
Tabela 3 – Equações para cálculo de temperatura neutra.	15
Tabela 4 – Resumo do cálculo.	18
Tabela 5 – Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento para ZB 4.	19
Tabela 6 – Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento para ZB 4.	19
Tabela 7 – Arquivos climáticos.	22
Tabela 8 – Dimensões das salas para cada índice de ambiente e geometria.	25
Tabela 9 – AIJ para Brasília nas orientações N, S, L e O.	26
Tabela 10 – Importância relativa das variáveis de entrada do tipo modelo 1 número 3 (PAF por orientação de fachada).	28
Tabela 11 – Importância relativa das variáveis de entrada do tipo 2 modelo 2	28
Tabela 12 – Transmitância térmica máxima e permeabilidade do ar dos elementos da envoltória.	34
Tabela 13 – Fatores solares máximos admissíveis dos vãos envidraçados.	35
Tabela 14 – Envoltiva Opaca e envidraçados – Coeficientes de transmissão térmica de referência no Continente e Regiões Autônomas, U_{ref} ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) para estabelecer os valores limites das necessidades nominais de referência de aquecimento N_i	36
Tabela 15 – Indicação de U para paredes.	43
Tabela 16 – Indicação de CT para paredes.	43
Tabela 17 – Indicação de U para coberturas.	43
Tabela 18 – Tabela de conversão de PAF para PRAP.	46
Tabela 19 – Trecho da planilha de compilação de dados extraídos.	47
Tabela 20 – Tabela de classificação de eficiência.	47
Tabela 21 – Tabela de conversão de horas de resfriamento para porcentagem de horas de conforto.	48
Tabela 22 – Análise de Variância de fator duplo sem repetição	54
Tabela 23 – Tabela na ANOVA derivada no programa Excel.	54
Tabela 24 – Tabela com as médias mensais considerando a soma dos resultados para todas as orientações e todas as aberturas.	56
Tabela 25 – Porcentagem de horas de conforto e iPOC para Verão ($T_n + 2$) para modelo simulado sem sombreamento.	58
Tabela 26 – Porcentagem de horas de conforto e iPOC para Verão ($T_n + 2$) para modelo simulado com sombreamento.	58
Tabela 27 – Número de iPOCs por simulação.	72
Tabela 28 – Média anual da porcentagem de horas de conforto e iPOC para modelo sem sombreamento.	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AIJ – Área Ideal de Janela

AMY – Actual Meteorological Year

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

COB – Código de Obra de Brasília

CTE – Código Técnico de la Edificación

CWEC – Canadian Weather for Energy Calculation

DB – Design Builder

DOE – Department of Energy (EUA)

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EWY – Example Weather Years

GH – Graus-hora

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

iPOC – Índice de Percentual de Horas Ocupadas de Conforto

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IWEC – International Weather Year for Year Calculation

LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (UFSC)

NBR – Norma Brasileira

PAF – Percentual de Abertura na Fachada

PAFt – Percentual de Abertura total

PAFo – Percentual de Abertura da fachada Oeste

PD – Pé-direito

PJF – Percentual de Área de Janela na Fachada

PMV – Voto Médio Predito

POC – Percentual de Horas Ocupadas de Conforto

PRAP – Porcentagem da Razão de Área de Abertura pela Área de Piso

RCCTE – Regulamento das Característica de Comportamento Térmico dos Edifícios

RTQ – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações

RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

SWERA – Solar and Wind Energy Resource Assessment

TMY – Typical Meteorological Year

TRY – Test Reference Years

U – Transmitância Térmica

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

WYEC – Weather Year for Energy Calculations

ZB – Zona Bioclimática

LISTA DE SÍMBOLOS

CT – Capacidade Térmica

U – Transmitância Térmica

T – Temperatura externa

Tn – Temperatura neutra

Letras gregas

α – Absortância

τ – Transmitância à Radiação Solar

1 INTRODUÇÃO

A configuração das propriedades dos edifícios tem implicações diretas no seu desempenho térmico (AZARNEJAD e MAHDAVI, 2015), sendo a fachada, especialmente em áreas quentes, responsável por até 40% das cargas de refrigeração nos edifícios (HAMZA, 2004).

Nesse contexto, estão as aberturas envidraçadas, que recebem lugar de destaque pelos projetistas, mas têm despertado preocupação em razão da sua influência no consumo de energia nas edificações por afetar diretamente o dimensionamento dos sistemas de iluminação e de condicionamento de ar (MARINOSKI et al., 2005).

Deve-se atentar à área de abertura para iluminação de forma que não haja excesso de incidência de carga térmica (ALBUQUERQUE e AMORIM, 2012), observando a influência desta variável desde a elaboração do estudo preliminar, pois as aberturas podem contribuir significativamente para o aumento do consumo de energia (GHISI, 2005).

Nesse sentido, construir edificações considerando o clima local e a orientação, conciliando o projeto com as técnicas renováveis e energeticamente compatíveis, é imprescindível frente à disponibilidade de energia (SANTANA, 2006). Profissionais da cadeia da construção civil demandam por prescrições de projeto que orientem e potencializem a qualidade, a eficiência e o conforto dos espaços.

Esse assunto não é recente. Ogura, Akutsu e Lopes (1981) demonstraram preocupação com a economia de energia afirmando que a quantidade de energia gasta com condicionadores de ar e o desconforto térmico eram atribuídos às características térmicas das janelas, sobretudo quanto aos materiais que as compunham.

No período pré-revolução industrial, o vidro era um produto de custo elevado. Assim, grandes aberturas não eram comuns nesse período. O vidro tornou-se mais

acessível economicamente somente em meados do século XIX, facilitando novas possibilidades construtivas a partir do uso do aço e do concreto, que permitiram a utilização de maiores áreas envidraçadas. (MONTEIRO *et al.*, 2012)

Edificações comerciais e institucionais com características semelhantes, especialmente as que compõem sua envoltória com peles, são quase sempre construídas indiferentes ao contexto climático, e também às condições de entorno.

O entendimento equivocado de que os sistemas mecânicos de aquecimento e resfriamento seriam suficientes para garantir o conforto térmico contribuiu para a despreocupação, por parte dos projetistas, com projetos mais bem adaptados aos contextos climáticos locais. Gonçalves (2015) afirma que décadas de euforia com as possibilidades da tecnologia dos sistemas prediais resultaram no esquecimento da noção de como projetar com o clima.

Também na construção de edificações residenciais de baixa renda no Brasil, como colocam Krüger e Lamberts (2000), implantam-se projetos com praticamente nenhuma atenção à região climática onde as casas devem ser construídas. Nesse sentido, com a construção de edificações não adequadas ao clima e ao desenvolvimento social crescente, a diminuição dos preços dos aparelhos motivará a aquisição de equipamentos de ar condicionado, tendendo a agravar o problema de consumo de energia (LAMBERTS, 2014).

Segundo Santos (2015) a resposta para esse tipo de despreocupação passa por duas vertentes na busca pelo desenvolvimento sustentável e pela eficiência energética: uma referente às inovações tecnológicas e outra quanto aos padrões de consumo.

Na tentativa de amenizar o problema do consumo de energia, o projetista deve avaliar os três componentes complementares que interferem no gasto com energia de uma edificação: o clima, o partido arquitetônico e o material da envoltória, sendo esses dois últimos controláveis (DURMAYAZ, KADIOGLU e SEN, 2000).

Adequando a arquitetura ao clima obter-se-á a redução dos sistemas de condicionamento de ar, tanto para refrigeração como para aquecimento, com controles térmicos naturais, e, conseqüentemente, a racionalização do uso de energia (FROTA, 2003).

As estratégias decorrentes do conhecimento do clima local são diversas, como controle da composição das vedações verticais e coberturas, por exemplo, que podem propiciar um ambiente que dispense ou, ao menos minimize, o uso de equipamentos para refrigeração.

Sigh e Garg (2009) discutem que a energia propiciada por uma janela simples não depende apenas das características térmicas do vidro e dos componentes da esquadria, mas também do clima local, da orientação e dos componentes da envoltória.

O desempenho térmico de uma edificação depende das decisões tomadas nas primeiras fases do projeto arquitetônico (LAMBERTS, GHISI e RAMOS, 2006). Os autores colocam que aspectos como a volumetria do edifício, a orientação das fachadas, as áreas, o posicionamento e sombreamento de janelas, os sistemas construtivos de paredes e coberturas, e até as cores das superfícies expostas ao Sol, são influenciadores do real desempenho da edificação.

Ainda no estudo preliminar, várias ferramentas podem ser utilizadas para que se avaliem as condições básicas de orientação, clima e desempenho térmico. As ferramentas podem ser simplificadas no formato das cartas solares e dos cálculos prescritivos, assim como ferramentas mais sofisticadas, por exemplo softwares de simulação computacional.

Os programas de simulação computacional, mais especificadamente de eficiência energética, permitem verificar o impacto no conforto térmico, no consumo de energia da edificação e nos custos da energia, com diferentes formas de ocupação (OLIVEIRA, 2016).

Com custo reduzido, sobretudo se comparados aos valores e prazos de construção de um edifício ou mesmo de diversos protótipos, os *softwares* de simulação auxiliam na elaboração de projetos eficientes, de forma econômica, podendo ser utilizados desde a concepção do estudo preliminar.

A avaliação de modelos virtuais permite alternar as variáveis de forma rápida, variando o desenho arquitetônico, os componentes da envoltória, o sistema de iluminação e os sistemas de ar condicionado, como propõe Mendes *et al.* (2005).

Dentre as variáveis, são as aberturas o componente da envoltória que permite a entrada de radiação solar direta. Essa radiação solar direta, especialmente nos países de clima quente, é responsável pelo aquecimento dos ambientes, em muitos momentos indesejado, independentemente da sua função.

Segundo Corbella e Yannas (2009), o controle solar das aberturas é indispensável, qualquer que seja a sua orientação, e deve combinar-se com outras estratégias, como a correta escolha da orientação e do cuidado com áreas envidraçadas.

Compreender a influência da abertura no desconforto térmico pode colaborar na elaboração de projetos adequados do ponto de vista do conforto térmico.

A análise desse componente da envoltória é um dos caminhos para compreender os efeitos do projeto no conforto térmico dos ambientes. É possível obter um grande volume de dados, variando a proporção das áreas de abertura em relação à área de piso de determinado ambiente por meio da simulação computacional.

De acordo com Roriz (2003), alguns dos modelos atualmente mais aceitos consideram a capacidade humana de adaptação ao meio, que presumem que as preferências térmicas das pessoas variam em função das condições climáticas, são denominados modelos adaptativos.

Utilizando-se da simulação computacional, sistematizando os dados obtidos pelo método Graus-hora e analisando-os por meio do modelo adaptativo, propõe-se neste estudo compreender a influência das aberturas envidraçadas no conforto térmico de ambientes residenciais em habitações de interesse social.

Além da captura de informações técnicas, é importante sistematizar a análise desses dados a fim de verificar os níveis de conforto térmico. Pretende-se também nesse estudo sugerir uma apresentação de resultados de forma compilada, objetiva e de simples apreensão.

É papel do arquiteto dimensionar corretamente as janelas, tratadas aqui como aberturas envidraçadas, a partir do conhecimento dos conceitos de transmissão de calor, a partir do entendimento de que são pelos fechamentos transparentes as principais trocas térmicas de uma edificação (LAMBERTS, 2014).

1.1 JUSTIFICATIVA

As aberturas nas envoltórias permitem a entrada de luz natural ao mesmo tempo em que promovem ganho de calor. Elas consistem num elemento-chave para o comportamento das fachadas, impactando diretamente no controle eficiente do consumo energético, especialmente quanto às suas proporções em relação ao ambiente, dificultando ou não a entrada da radiação solar direta.

Cavalcante (2010) afirma que a entrada de luz pelas aberturas, ou fechamentos translúcidos, permite a redução do consumo de energia para iluminação, ao mesmo tempo em que possibilita ganhos excessivos de calor.

Poirazis (2005) entende como fundamental para o bom desempenho energético da edificação as características da envoltória, influenciando diretamente na temperatura operativa, sendo também determinante para tal a orientação da fachada.

A proteção solar das aberturas é indispensável para o controle térmico dos ambientes (FROTA, 2003). Destacam-se, portanto, a relevância de se observar o ganho energético no ambiente por meio das aberturas, a importância na orientação das fachadas e a preocupação com a proteção contra a radiação solar direta – questões que carecem de atenção desde os riscos iniciais na elaboração do projeto de uma edificação.

Vários estudos, Durmayaz, Kadioglu e Sen (2000), Ghisi e Tinker (2005), Vendramin (2007), Bisinotto (2012), utilizam como uma das variáveis as dimensões das aberturas para observar o comportamento energético dos ambientes. Esses estudos analisam proporções entre as aberturas e a área de fachada e zonas bioclimáticas distintas das de Brasília.

Lamberts (2014) indica, conforme tabela da figura 1, a abertura como elemento de maior contribuição da carga térmica na edificação.

Figura 1 – Contribuição de cada elemento na carga térmica.

Elemento	Contribuição do Calor
Parede Externa	9%
Abertura	64%
Ocupantes	7%
Iluminação Artificial	10%
Equipamentos	7%
Infiltração	4%

Fonte: LAMBERTS (2014).

Nesse contexto, percebe-se uma lacuna nas pesquisas quanto à análise do conforto térmico e sua relação com as aberturas no contexto climático de Brasília.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a influência da área de abertura envidraçada no conforto térmico de ambientes residenciais no contexto climático de Brasília.

1.2.2 Objetivos específicos

- a. Compreender a relação entre a área de abertura e o conforto térmico em ambientes residenciais no contexto climático de Brasília;
- b. Elaborar diagrama para apresentação dos dados resultantes da simulação, para simplificar a apreensão dos dados coletados.

1.3 Estrutura do Trabalho

O trabalho aqui apresentado está dividido em cinco capítulos, divididos em quatro partes, conforme esquema da figura 2.

O primeiro capítulo é composto pela Introdução, onde o tema está contextualizado, além de expostas as justificativas para o desenvolvimento do trabalho, os objetivos desta pesquisa e este tópico, com a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo, dedicado ao Referencial Teórico, subdivide-se em cinco tópicos. Este capítulo aprofunda questões abordadas na introdução, apresenta uma síntese de estudos cujos assuntos estão relacionados ao tema desta dissertação e versa sobre o conforto térmico e o método de Graus-hora.

O capítulo 3 consiste na descrição do método utilizado nesta pesquisa com o detalhamento das etapas, basicamente separadas em três momentos distintos: a) definições da tipologia a ser utilizada na modelagem e na simulação, dos materiais da envoltória, do método a ser utilizado, das orientações a serem estudadas, das porcentagens de área de abertura a serem consideradas e do *software* de simulação; b) simulações, variando área de abertura e orientação, e análise das configurações que melhor se adequam ao clima de Brasília; e c) delimitação do objeto da análise.

O capítulo 4 destina-se à apresentação dos resultados das simulações e o capítulo 5 discute os resultados e a correlação destes com o Referencial Teórico.

Por fim, nas Considerações Finais, constam as conclusões do trabalho, resumo dos principais resultados, limitações encontradas, diretrizes e perspectivas para trabalhos futuros.

Figura 2 – Etapas do trabalho.



2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para Vitruvius, a orientação adequada proporciona melhores condições de habitabilidade do edifício e da cidade. Mas, além disso, poderia ser utilizado com efeito plástico e até mesmo, místico.
(BITTENCOURT, 2004, P. 18)

Este capítulo apresenta o arcabouço teórico, que, formando a base de conhecimento, permite a escolha do modelo de análise do conforto térmico a ser utilizado, do método para análise dos dados, do arquivo climático e da abordagem sobre o assunto. Para isso, são compostos os cinco tópicos descritos a seguir.

Primeiramente, apresenta-se uma contextualização das aberturas e indica-se a problemática. Num segundo tópico, apresenta-se o contexto do clima de Brasília, tema de uma pequena incursão, que permite absorver informações necessárias para o entendimento das peculiaridades locais. O terceiro tópico dedica-se à conceituação do método adaptativo e do modelo Graus-hora, esclarecendo quanto aos fundamentos e à forma de uso desses processos. O quarto subtópico apresenta os procedimentos para elaboração dos arquivos climáticos. E, por último, discute-se uma série de artigos cujos temas de interesse são inter-relacionados ao conteúdo deste trabalho.

2.1 Sobre as aberturas

Permitir a entrada de luz e o contato visual com a área externa são as principais funções das aberturas. Esse acesso de luz natural estabelece relações

de trocas térmicas, acústicas e luminosas, e desempenha papel na qualidade estética do edifício.

Na história, as aberturas nas fachadas dependeram sempre dos mais diversos fatores para determinação de suas dimensões, forma e transparência, sujeitos à evolução dos materiais, às condições do clima, às questões estéticas, à função da edificação e, nas últimas décadas, aos problemas energéticos.

A evolução das técnicas construtivas permitiu, ao longo da história, a ampliação da área de abertura nas fachadas, desde as primeiras janelas sem vidro ou proteção, passando pela época em que o uso do vidro se tornou comum, a partir do século XIII nas igrejas e no século XVI nas residências (Cole, 2013).

“O sol, as luzes, as cores, a vida exterior, entram em casa, mas o frio e a chuva não. Com os vidros na janela o inverno pode se tornar primavera: a casa não é mais o antro escuro e frio no qual nos refugiamos à noite ou quando chove ou sopra o vento, mas um lugar agradável, luminoso e quente no qual é bom permanecer.” (BUTERA, 2009).

No fim do século XIX, na Revolução Industrial, apresentaram-se novas formas de uso do concreto e do aço, resultando em estruturas que favoreciam o uso de janelas maiores.

Em 1916, uma Comissão presidida por Taylor¹ desenvolveu os primeiros estudos com o objetivo de determinar a influência das condições termo-higrométricas no rendimento do trabalho (FROTA, 1988), correlacionando essas condições com o rendimento do trabalho, assim como acidentes de trabalho em ambientes termicamente desconfortáveis.

A tendência histórica, no que se refere às janelas, é a busca de áreas de vidro cada vez maiores (MASCARÓ, 1991).

As pesquisas e a produção de equipamentos mais eficientes não foram suficientes para evitar uma demanda de energia consumida crescente proporcionalmente superior ao crescimento populacional, decorrente dos padrões

¹ Frederick Winslow Taylor, engenheiro mecânico considerado o pai da Administração científica, com foco na eficiência operacional na indústria.

de crescimento econômico e espacial das cidades (DIAS, 2016, p. 17, *apud* BERARDI, 2013).

Uma parte considerável desse consumo energético deveu-se à utilização de sistemas de aquecimento e resfriamento (DIAS, 2016). A edificação tem sua parcela de responsabilidade a partir do momento que promove ou não a economia de energia, resultado de projetos compatíveis, ou não, com as condições climáticas locais.

2.2 Sobre o clima de Brasília

Segundo Mascaró (1991), “o clima pode ser definido como a feição característica e permanente do tempo, num lugar, em meio as suas infinitas variações”, e compõe-se de fatores estáticos, como a posição geográfica e o relevo; e fatores dinâmicos, por exemplo a temperatura, umidade e radiação.

Como principais variáveis do clima, Dias Cardoso (2012) cita a precipitação e a temperatura, e considera a latitude o principal fator determinante para a sua variação, em razão da quantidade de radiação recebida. Brasília encontra-se na latitude 15° 46' 47" sul.

De acordo com Monteiro (1951), no Centro-Oeste, com temperaturas acima de 18°C para a média do mês mais frio, a característica geral da região permite a classificação de Köppen tipo A. Uma estação seca bem marcada inclui o território na classificação Aw. O autor, entretanto, afirma que em alguns locais onde a altitude, aliada a alguns outros fatores, leva a temperatura média do mês mais frio para abaixo dos 18°C, e sendo a estação seca característica de toda a região, pode-se assinalar a ocorrência de clima Cw.

A EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – utiliza a definição de Golfari, de 1978, que classifica a região das chapadas do Distrito Federal como Cwb, clima subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno. A temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C.

Segundo Braga (2004), em Brasília, a primavera e o outono são ofuscados pela intensa radiação solar, com valores elevados durante todo o ano, sendo intensa e difusa no verão e acentuada e direta no inverno.

A partir da plotagem dos dados de temperatura e umidade para as 8.760 horas do ano sobre a carta bioclimática, obtém-se para Brasília o percentual de 43,6% de horas de conforto, 20,1% de horas de desconforto por calor e 40,9% de horas de desconforto pelo frio (GOULART, 1998).

A partir do fim do outono até o início da primavera, a precipitação é baixa, assim como a nebulosidade, o que implica em meses com radiação direta e temperaturas em elevação, resultando nos meses com temperaturas mais elevadas do ano.

Acompanhando os períodos de maior e menor precipitação, a tabela 1 indica um inverno e um início de primavera com baixa umidade.

São dois os períodos relevantes durante o ano. O primeiro, relativo à necessidade de resfriamento, nos meses de agosto e setembro, fim de inverno e início de primavera, após um longo período de estiagem, conjuga altas temperaturas, baixa umidade e falta de chuvas (baixa nebulosidade). O segundo, também um período seco, que contribui para amplitudes térmicas, em média, de 14°C (BRAGA, 2004), com temperaturas baixas durante à noite.

Apresenta-se na tabela 1 uma compilação dos dados climáticos de Brasília.

Tabela 1 – Resumo dos dados.

mês	temperatura máxima (°C)	temperatura média máxima (°C)	radiação média mensal (Wh/m ²)	índice pluviométrico (mm)	zona de conforto - entre (°C)
janeiro	32,6	26,9	282,08	85	20,99 e 27,99
fevereiro	31,2	26,7	279,44	97	21,12 e 28,12
março	32,1	27,1	273,84	190	20,99 e 27,99
abril	31	26,6	217,52	138	20,91 e 27,91
maio	29,7	25,7	197,54	34	20,25 e 27,25
junho	28,6	25,2	195,9	0	19,78 e 26,78
julho	29,9	25,1	176,87	13	19,81 e 26,81
agosto	32,2	27,3	240,12	57	20,63 e 27,63
setembro	33,4	28,3	259,19	46	21,32 e 28,32
outubro	34,5	27,5	260,31	126	20,93 e 27,93
novembro	33,3	26,2	260,33	174	21,1 e 28,1
dezembro	33,7	26,6	261,82	133	20,77 e 27,77

FONTE: ProjetEEE (2017).

Braga (2005) identifica os horários entre 1h e 8h e 13h e 18h como sendo os períodos de maior desconforto térmico por frio e por calor, respectivamente.

Tabela 2 – Percentual de desconforto por períodos do dia.

DESCONFORTO %		1987
Diurno 6h às 18h	calor	25,9
	frio	19,5
Noturno 18h às 6h	calor	17,3
	frio	55,7
Madrugada 1h às 8h	calor	12,3
	frio	79,1
Manhã 8h às 13h	calor	23,4
	frio	10,6
Tarde 13h às 18h	calor	35,7
	frio	2,92

Adaptado de BRAGA, 2005.

Importante frisar que os dados apresentados dizem respeito ao clima externo, e que as condições de conforto podem ser alteradas em razão de diversas variáveis, como a envoltória da edificação, a orientação, a ocupação, a área de abertura, entre outras.

2.3 Modelo e método de avaliação de conforto térmico

Condições de conforto devem corresponder a um estado de espírito que reflita a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa (ASHRAE Standard 55).

Segundo Frota (2003), a sensação de conforto térmico acontece quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocorrem sem maior esforço – conceito que leva em consideração mecanismos termorreguladores e a atividade do indivíduo (BRAGA, 2005).

Esses mecanismos são ativados quando determinadas condições do meio ultrapassam certas faixas e se comportam de forma diferente a depender da necessidade. A contração dos vasos capilares mais próximos à pele, o arrepio e o tremor do corpo são ativados com a sensação de frio, e, no caso de sensação de calor, a vasodilatação, o suor e até a redução do metabolismo (LAMBERTS, 2016).

Para Lamberts (2016), conforto térmico é uma sensação humana fortemente relacionada à subjetividade e depende, principalmente, de fatores físicos, fisiológicos e psicológicos. O autor explica que os fatores físicos são aqueles que determinam as trocas de calor do corpo com o meio, a exemplo da convecção e da radiação; os fatores fisiológicos referem-se às alterações na resposta fisiológica do organismo, podendo ser ilustrados com a vasodilatação; e os fatores psicológicos aqueles relacionados às diferenças na percepção e na resposta aos estímulos sensoriais, frutos da experiência passada e da expectativa do indivíduo.

Segundo Frota (1988), aproximadamente 20% da energia produzida pelo organismo é transformada em potencialidade de trabalho, e os 80% restantes precisam ser dissipados para que o organismo permaneça em equilíbrio. Esse equilíbrio se dá por meio de trocas térmicas, compreendendo condução, convecção, radiação e evaporação.

Além dos mecanismos termorreguladores, mais estratégias são utilizadas para a manutenção da temperatura corporal, como as vestimentas e a proteção em um abrigo.

Os efeitos térmicos percebidos pelo corpo com o meio, dentro dos ambientes (abrigo), dependem, boa parte, da configuração da envoltória das edificações.

A composição das vedações da envoltória, a orientação e a dimensão das aberturas são variáveis controláveis, definidas na elaboração do projeto.

Segundo Olgyay (1998), o êxito na obtenção de ambientes com condições próximas às de conforto é o principal objetivo ao projetar um edifício, o que significa utilizar ao máximo as possibilidades naturais para melhorar as condições interiores sem recorrer à utilização de equipamentos mecânicos.

Mascaró (1991) afirma que nosso tipo de clima exige soluções que se preocupem com a correta proporção entre a abertura e o ganho térmico, de forma a alcançar as melhores condições de habitabilidade com o menor gasto de energia.

Braga (2004) coloca que “a grande área envidraçada sem nenhuma proteção solar é a principal responsável pelas altas cargas térmicas no interior dos edifícios.”.

De acordo com Pereira (2010), o balanço térmico dos indivíduos depende da temperatura do ar para as trocas convectivas, assim como das trocas radiativas, e

a variável determinante desse processo é a temperatura média radiante. A média aritmética entre a temperatura radiante e a temperatura do ar, utilizada como indicador do impacto do uso de proteção solar no desempenho térmico do ambiente, é a temperatura operativa.

2.3.1 Modelo Adaptativo

O Modelo Adaptativo foi baseado em inúmeros estudos com a ideia de que os ocupantes interagem dinamicamente com o ambiente, adaptando-se a diferentes temperaturas durante variadas épocas do ano e é aplicado em edifícios sem equipamentos de condicionamento de ar.

Apresentando como resultado apenas uma temperatura baseada em uma temperatura média mensal externa, em razão da simplicidade, esses modelos podem ser utilizados nas etapas iniciais da elaboração de projeto.

Pereira e Assis (2010) analisaram quatro diferentes índices de conforto adaptativo, com parâmetros de conforto térmico, avaliando os respectivos desempenhos por meio de simulação computacional. Elas justificam o uso do método adaptativo em razão de diversos estudos de autores nacionais e estrangeiros demonstrarem que o modelo PMV (Voto Médio Preditado) não é capaz de estimar a real sensação de conforto térmico de individuais aclimatados a climas tropicais – este que serve de base para a maioria das normas internacionais.

As autoras observaram que o modelo de Aluciemis (Tabela 3) apresentou resultados mais próximos entre as cidades estudadas, inclusive para localidades com amplitudes térmicas maiores, característica de climas subtropicais ou tropicais mais secos, como o de Brasília, e melhor compatibilidade no uso dos resultados para elaboração de dispositivos de proteção solar.

Tabela 3 – Equações para cálculo de temperatura neutra.

Autores	Equação
Aluciems (1981)	$T_n = 0,314 \cdot T + 17,6 \text{ °C}$
Humphreys (1978)	$T_n = 0,534 \cdot T + 12,9 \text{ °C}$
Nicol e Humphreys (2002)	$T_n = 0,540 \cdot T + 13,5 \text{ °C}$
De Dear e Brager (2002)	$T_n = 0,310 \cdot T + 17,8 \text{ °C}$

Fonte: PEREIRA, 2010.

A Temperatura Neutra (T_n), é a temperatura de conforto, ou neutralidade, e é determinada a partir das equações da tabela 3 e tomando-se como base a temperatura externa (T).

A temperatura operativa, utilizada para determinar os valores de temperatura limite para calor e frio, combina a temperatura do ar com bulbo seco à temperatura média radiante do ambiente em uma média.

Com a ideia de reproduzir as condições reais, em que o indivíduo também é agente nas condições térmicas do ambiente, ao interagir com o meio, os índices adaptativos “...baseiam-se em resultados de trabalhos de campo que medem as condições ambientais e a resposta simultânea de sensação térmica em indivíduos envolvidos em suas tarefas habituais, com a menor intervenção possível dos pesquisadores”. (PEREIRA, 2010, p. 33).

Dessa forma, os dados obtidos nas simulações são tratados, aqui nesse trabalho, com base no modelo adaptativo empregando-se a equação de Aluciems.

2.3.2 O Método Graus-hora

Num breve histórico Kadioglu e Sen (1998) relata que a primeira abordagem analítica sobre graus-dia foi feita por Thom H.C.S. quando, em 1952, considerou o uso de temperaturas diárias para obter uma distribuição normal (que acontece quando as áreas sob a curva são idênticas em ambos os lados, havendo apenas um pico).

Nesse sentido, as análises estatísticas foram aplicadas a fim de obter a relação entre as médias das temperaturas diárias registradas e os graus-dia delas obtidos. Em 1954, Thom apresentou mais esclarecimentos sobre a relação entre a temperatura média e a média de graus-dia, mostrando que essa relação independe do valor-base.

Já em 1966, ele desenvolveu equações para a obtenção da média mensal de graus-dia acima de qualquer temperatura-base pelo desvio-padrão da média mensal de temperaturas. A relação entre os dias de desconforto e o consumo de energia foi observada em 1980 por Diaz e Quayle, concluindo que previsões de tempo precisas podem fornecer projeções precisas de demanda de energia.

Guttman, em seus estudos em 1983, concluiu que a previsão da demanda de energia é dependente não somente das médias históricas, mas também das variações do clima. Lehman, em 1987, analisando variáveis obtidas por estações meteorológicas nos EUA (Estados Unidos da América), verificou a possibilidade de estimar de forma precisa médias diárias e mensais para localidades que não possuem informações sobre temperatura, a partir de parâmetros locais próximos. Mais tarde, Guttman e Lehman, em 1982, consideraram, naquela época, que, como as médias de temperaturas diárias são mais disponíveis do que temperaturas por hora, graus-hora diárias são mais frequentemente estimadas a partir das temperaturas médias diárias em aplicações práticas exigindo informações de graus-hora.

De modo mais específico, o método graus-hora é a obtenção do montante de horas, ou dias (graus-dia), que, a partir de uma referência de temperatura, extrapola o referencial máximo ou mínimo.

Os registros de temperatura estão entre os parâmetros meteorológicos mais comuns para descrever o clima de uma região. Atividades ligadas à agricultura, soluções para arquitetura, geração de energia, transporte, piscicultura, estão todas associadas à flutuação da temperatura (KADIOGLU e SEN, 1998).

Em estudo considerando os componentes da envoltória e a influência de quantidades de variáveis de ocupantes, Durmayaz, Kadioglu e Sen (2000) utiliza o método graus-hora e estima o consumo de gás natural necessário para o

aquecimento de um ambiente com 20 a 60 pessoas, alterando o tipo de vidro (simples ou duplo), áreas envidraçadas e diferentes volumes de troca de ar, observando a influência das variáveis e, podendo afirmar no fim do estudo as melhores condições, do ponto de vista do consumo de energia, por número de pessoas num apartamento.

No estudo de Vendramin (2012) para avaliação do desempenho energético de edificações unifamiliares em quatro cidades do Paraná, identificam-se os graus-dia de temperatura para aquecimento e resfriamento para diferentes temperaturas-base, 14°C a 22°C e 18°C a 28°C, respectivamente, informações essas separadas por estação e por mês. Numa segunda etapa, identificou-se o coeficiente de transferência de calor pelas aberturas, com análise relativa a vidros simples e vidros duplos, e variados volumes de trocas de ar, contando-se o acréscimo no valor do coeficiente a partir do aumento da área de abertura (de 20% a 50%). Como resultado final, registrou-se a estimativa de consumo de energia para aquecimento e resfriamento para cada cidade, por tipo de vidro, por área percentual de abertura e por volume de troca de ar.

O estudo de Kadioglu e Sen (1998) analisa várias propriedades estatísticas de séries de temperatura com níveis-base constantes. Os valores de temperatura maiores do que o nível máximo são obtidos com derivações analíticas bastante simples e aplicados a dados diários de temperatura.

Dependente da variação do clima, o procedimento para constatar a energia necessária para resfriar ou aquecer um ambiente não é tão simples quanto para verificar a quantidade de energia utilizada por um equipamento. A temperatura externa não varia apenas de um local para outro – varia todo o tempo. Geralmente, é mais frio à noite do que no dia, e os dias e as semanas não registram necessariamente temperaturas idênticas às da semana anterior, por exemplo.

Segundo Bromley (2009), há uma maneira correta de calcular graus-hora (que requer grandes quantidades de dados de temperatura) e várias maneiras diferentes de se aproximar do mesmo resultado usando menos dados de temperatura. No entanto, independentemente do método de cálculo, ele sempre começa com a escolha da temperatura-base.

A temperatura-base determinará os graus-dia de aquecimento ou de resfriamento, e sua escolha dependerá também das propriedades térmicas do prédio, dos horários de trabalho e influências externas, como ganhos solares.

Um exemplo simples de cálculo de graus-dia utilizado por Bromley (2009), pode ser representado por meio da Tabela 4:

Tabela 4 – Resumo do cálculo.

dia	temp. externa	cálculo	resultado
1	16°C	1 grau x 1 dia	1 grau-dia para aquecimento
2	15°C	2 graus x 1 dia	2 graus-dia para aquecimento
3	17°C	0 grau x 1 dia	0 grau-dia para aquecimento
4	19°C	0 grau x 1 dia	0 grau-dia para aquecimento
5	15°C (0h às 12h) 16°C (12h às 24h)	2 graus 1/2 dia + 1 grau x 1/2 dia	1,5 grau-dia para aquecimento
6	16°C (0h às 6h) 15°C (6h às 12h) 14°C (12h às 18h) 13°C (18h às 24h)	1 grau x 1/4 dia + 2 graus x 1/4 dia + 3 graus x 1/4 dia + 4 graus x 1/4 dia	2,5 graus-dia para aquecimento

Uma vantagem dessa metodologia é a possibilidade de somar as leituras, o que, nesse caso, resultariam em 7 graus-dia de aquecimento. Por exemplo, num dia real, certamente haveria o registro de grande variação de temperaturas durante todo o dia.

Além da dificuldade apresentada acima, uma variável importante, e que dificultaria ainda mais o cálculo manual, é a aplicação da teoria da temperatura adaptativa, utilizada neste trabalho, que traz, não mais uma temperatura-base, mas várias temperaturas-base a cada variação de temperatura externa.

Com o grande volume de variáveis: temperatura, envoltória, orientação e ocupação, o cálculo manual torna-se bastante complexo. Assim, a simulação computacional surge como ferramenta vantajosa em que se pode relacionar a possibilidade da avaliação termodinâmica, que considera variações do clima externo e padrão de ocupação, além dos efeitos de inércia térmica ao longo do tempo (SANTOS e RORIZ, 2012).

As simulações computacionais, por meio dos arquivos climáticos, permitem obter resultados precisos para intervalos de minutos, viabilizando estudos pelo modelo graus-hora.

No RTQ-R, o cálculo de indicador de graus-hora de resfriamento ou de aquecimento é efetuado por meio de fórmula específica por Zona Bioclimática (ZB). Trata-se de valores estimados, desta forma, considerados indicadores de GH (graus-hora). As tabelas 5 e 6 indicam os limites de graus-hora para aquecimento e resfriamento para cada nível de eficiência.

Tabela 5 – Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento para ZB 4.

Eficiência	EqNumEnvAmb_{Resfr}	Condição
A	5	$GH_R \leq 727$
B	4	$727 < GH_R \leq 1.453$
C	3	$1.453 < GH_R \leq 2.180$
D	2	$2.180 < GH_R \leq 2.906$
E	1	$GH_R > 2.906$

Fonte: RTQ-R – tabela 3.17.

Tabela 6 – Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento para ZB 4.

Eficiência	EqNumEnvAmb_A	Condição (kWh/m².ano)
A	5	$C_A \leq 5,838$
B	4	$5,838 < C_A \leq 11,675$
C	3	$11,675 < C_A \leq 17,513$
D	2	$17,513 < C_A \leq 23,350$
E	1	$C_A > 23,350$

Fonte: RTQ-R – tabela 3.18.

Considera-se assim a utilização neste trabalho do método graus-hora em razão da possibilidade de empregar critérios reais, utilizados pelo RTQ-R, avaliando

as situações simuladas de maneira fundamentada e aproveitando ao máximos os dados extraídos.

2.4 Arquivos climáticos

O conhecimento das condições climáticas externas é requisito básico para simulações termoenergéticas de edificações (SCHELLER *et al.*, 2018). São os dados relativos às condições climáticas locais que serão introduzidos em um programa de simulação e os responsáveis pelos resultados a serem analisados e utilizados para a elaboração de projetos e estudos de gasto energético.

Os *Weather Years* – Anos Climáticos são compilações de anos meteorológicos para localizações específicas, havendo três abordagens para a escolha desse tipo de arquivo: a primeira seleciona um ano contíguo em que as médias mensais e os desvios-padrão para esse ano combinam as médias e os desvios-padrão para um período longo, entre 15 e 30 anos (ex. EWY e TRY-US); a segunda envolve a criação de anos compostos usando meses representativos de diferentes anos (ex. TRY-ROW, TMY, TMY₂, TMY₃, CWEC, WYEC₂ e IWEC); a terceira abordagem inclui os *Actual Meteorological Years* (AMY_s), que representam dados meteorológicos por hora de um único ano que não é necessariamente representativo de um período maior de tempo. A literatura apresenta diversas metodologias para a elaboração dos arquivos climáticos, como exemplifica Doggett (2014):

1. TRY (TRY-US) – esse tipo de arquivo não contempla informações sobre radiação solar e precipitação. Representa um único ano de registro, obtido com a eliminação de anos que tinham meses com altas e baixas temperaturas significativas, e, dessa forma, resultando em um conjunto de dados mais moderados.
2. EWY – foi desenvolvido no Reino Unido na década de 1970 utilizando metodologia semelhante à do TRY-US. Apesar de ainda ser utilizado, o instituto responsável por sua criação elaborou o TMY, compondo um ano no período de 23 anos.

3. TRY (TRY-ROW) – desenvolvido na Europa e em outras partes do mundo, emprega métodos e dados similares aos utilizados no TMY, mas não compatíveis com TRY-US e TRY-ROW.
4. TMY – criado em 1981 a partir de uma parceria entre o *National Climatic Data Center* (NCDC) e o *Department of Energy* (DOE) dos Estados Unidos, representa um refinamento na metodologia TRY, incluindo dados de insolação. O ano típico foi obtido com uma combinação de meses diferentes de todo o período registrado e, assim como o TRY, resultou em dados mais moderados, não atípicos ou extremos. Em 1990, foi criado o TMY₂, e, em 2005, com um formato que inclui maior ênfase nos dados de radiação solar, e nos dados de precipitação, introduziu o TMY₃.
5. WYEC – criado pela ASHRAE em 1983, foi construído a partir do formato TRY. Atualizado em 1992, utilizando a abordagem média ponderada mensal utilizada pelos dados TMY. Assim como o TMY, o WYEC não foi desenvolvido especificamente para uso com programas de simulação de energia, e ambos (WYEC e WYEC₂) não possuem dados de precipitação.
6. CWEC – conjunto de dados que representa o ano típico baseado nas metodologias do WYEC₂/TMY.
7. IWECC – lançado em 2000 pela ASHRAE, esse conjunto de dados com base no formato TMY é destinado ao uso em simulações de energia para edificações. Informações sobre radiação solar são estimadas em uma base horária a partir da geometria do Sol e elementos meteorológicos por hora. Os arquivos não incluem dados quantitativos de chuva, mas sim indicadores de intensidade de chuva.
8. AMY – representam dados contíguos reais por hora e estão disponíveis no formato TMY, e podem ser gerados a partir de fontes de dados ou HTML. A flexibilidade e a personalização são as vantagens desse tipo de arquivo, cuja abrangente fonte de dados é disponibilizada pelo NCDC.

A Tabela 7 apresenta um resumo das informações citadas acima.

Tabela 7 – Arquivos climáticos.

arquivo		metodologia/observações	desenvolvedor
TRY - US	Test Reference Years	não contempla radiação e precipitação	
EWY	Example Weather Years	baseado no TRY-US, substituído pelo TMY	Reino Unido
TRY - ROW	Test Reference Years	método semelhante ao TMY, mas incompatível com TRY-US e TRY-ROW	várias partes do mundo
TMY	Typical Meteorological Year	refinamento do TRY, inclui insolação, dados mais moderados, não atípicos ou extremos (assim como o TRY)	DOE e NCDC USA
WYEC	Weather Year for Energy Calculations	a partir do formato TMY, sem dados de precipitação	Ashrae (USA)
CWEC	Canadian Weather for Energy Calculation	conjunto representa ano típico baseado na metodologia no WYEC e TRY	
IWEC	International Weather Year for Year calculation	formato TMY, radiação estimada, não incluem precipitação, mas indicadores de chuva	Ashrae (USA)
AMY	Actual Meteorological Year	dados reais contíguos por hora, fonte de dados disponíveis pelo NCDC	
SWERA	Solar and Wind Energy Resource Assessment	sem manutenção ou suporte	parceria mundial inclui DOE e NREL
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia	dados medidos nas estações automáticas do Inmet, Instituto Nacional de Meteorologia	INMET - Brasil

O arquivo para uso no EnergyPlus, software desenvolvido pelo DOE, é o EPW, que é uma extensão e não deve ser confundido com um conjunto de dados meteorológicos, compilado do TMY, TMY2 e TMY3, e outros conjuntos de dados internacionais.

De acordo com Scheller *et al.* (2018), no Brasil, destacam-se, dentre os arquivos climáticos para uso em simulação computacional, TRY, TMY, SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment), IWEC e INMET (dados medidos nas estações automáticas do Inmet, Instituto Nacional de Meteorologia), com extensão “.epw”.

Em estudo com objetivo de comparar os arquivos climáticos TRY, SWERA e INMET, a autora utilizou os três arquivos para simulação em diversas cidades, inclusive Brasília, e verificou que havia imprecisões e baixa qualidade dos arquivos, e diferenças entre eles, sendo que para as temperaturas, no TRY e no SWERA, as diferenças são menores, apesar haver, em meses específicos, discrepâncias entre os dois. Quanto à radiação solar, os arquivos SWERA e INMET apresentam valores mais próximos para máxima; e para mínima, TRY e INMET ficam mais próximos. Comparando a radiação desses 3 arquivos com os dados do ATLAS com base de dados SWERA, verifica-se que o arquivo INMET tem valores bem mais altos, e a

diferença é maior ainda se comparados os dados do ATLAS com a base de dados IRENA. O estudo não conclui sobre preferências para o uso em simulações.

Zanoni (2015) desenvolveu estudo comparativo entre a Irradiância Global Horizontal Diária do arquivo climático TMY da base de dados EPW/ANTAC (RORIZ, 2012) e o arquivo de dados horários registrados pelo INMET. Esses dados foram medidos pela estação automática de superfície A001-Brasília, durante os anos de 2001-2013 (13 anos de dados horários). A autora afirma que o arquivo TMY – EPW/ANTAC (RORIZ, 2012) é suficientemente representativo para um ano de dados climáticos para simulação higrotérmica.

De acordo com Doggett (2018), há um conflito na evolução dos conjuntos de dados para modelagem de energia e higrotermia que favoreceu, respectivamente, os anos meteorológicos típicos para fins de energia a longo prazo, e os anos atípicos (extremos), o que não impede que os dados para um não sejam utilizados para outro.

Os arquivos TMY e TRY são gerados a partir da seleção de médias mensais de um período de 20 a 30 anos, em vez de usar as médias de um ano típico. Um ano típico alternativo é produzido com os arquivos WYEC, CWEC, IWEC e DRY, substituindo dias e horas de um mesmo mês por um período de 30 anos. Embora a precipitação seja considerada um parâmetro válido para classificação de zonas climáticas, nem o arquivo TMY nem o WYEC contêm esse tipo de informação.

Pereira e Assis (2010) utilizaram o arquivo climático TMY tipo SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment) em seus estudos para avaliação de modelos de índices adaptativos para o uso no projeto arquitetônico bioclimático.

2.5 Área de abertura e a interferência de outras variáveis

Neste item, são apresentadas sínteses dos estudos desenvolvidos por Ghisi, Tinker e Ibrahim (2005), Sales, Brito e Akutsu (2014), Bisinotto (2012) e Brito *et al.* (2017) que abordam a problemática da abertura por diversos ângulos. O conflito entre a área de abertura e a eficiência energética manifesta-se em todos os trabalhos por vários pontos de vista distintos, concluindo sempre pela importância no cuidado com as áreas de abertura.

Também, trechos específicos da Norma de Desempenho e das normas de Portugal e Espanha, relativos às aberturas.

Os temas tratados discorrem sobre o conflito entre a área necessária para vista do usuário para o exterior e a influência na eficiência energética; sobre a área de janela e o consumo de energia; a variação na área de piso e o desempenho térmico; as variáveis do método simplificado na ABNT NBR 15575/2013 e o desempenho térmico; e a questão das aberturas em normas de outros países.

2.5.1 Vista exterior X eficiência energética

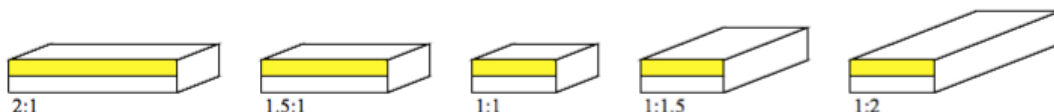
O estudo de Tinker e Guisi (2005) determinou a porcentagem ideal de área de abertura por área de fachada e por orientação, para um melhor desempenho energético, testando diversas proporções de largura e profundidade de ambientes.

Os autores analisaram as áreas mínimas de janela recomendadas pelo Código Britânico para iluminação natural (BS 8206-2, 1992) para garantia de vista para o exterior. O estudo analisa comparativamente as áreas ideais para janela do ponto de vista da eficiência energética. O estudo também considerou a influência da geometria dos ambientes, por meio do índice K, que é o resultado da multiplicação da largura e profundidade do ambiente dividido pela multiplicação da soma dessas dimensões pela distância entre o teto e a superfície de trabalho ($K=(LP)/(h(L+P))$).

O estudo de Ghisi, Tinker e Ibrahim (2005) avalia as dimensões de abertura preconizadas pelo *Code of practice of daylighting* (BS 8206-2, 1992) para melhor vista exterior, comparando com a área ideal de janela (AIJ), que corresponde à área na qual o consumo de energia do ambiente analisado é mínimo. Foram simulados ambientes com cinco geometrias (Figura 3), dez tamanhos por geometria (Tabela 8), onze áreas de janela (0% a 100%, com intervalos de 10%) e quatro orientações. A altura dos ambientes foi assumida fixa e igual a 2,80m. Considerou-se somente vidro simples de 6mm com transmitância térmica de 5,7 W/(m² K) e transmitância à radiação visível de 88%. Determinou-se o índice K ($K = (LP)/(h(L+P))$), sendo L a largura do ambiente, P a profundidade e h a distância entre a superfície de trabalho

e o teto) para cada ambiente a partir das dimensões de largura e profundidade do ambiente e da distância entre a superfície de trabalho e o teto.

Figura 3 – Perspectivas das cinco geometrias.



Fonte: GHISI, TINKER e IBRAHIM, 2005.

Tabela 8 – Dimensões das salas para cada índice de ambiente e geometria.

K*	Geometria (largura:profundidade – L:P)									
	2:1		1,5:1		1:1		1:1,5		1:2	
	L (m)	P (m)	L (m)	P (m)	L (m)	P (m)	L (m)	P (m)	L (m)	P (m)
0,60	3,69	1,85	3,08	2,05	2,46	2,46	2,05	3,08	1,85	3,69
0,80	4,92	2,46	4,10	2,73	3,28	3,28	2,73	4,10	2,46	4,92
1,00	6,15	3,08	5,13	3,42	4,10	4,10	3,42	5,13	3,08	6,15
1,25	7,69	3,84	6,41	4,27	5,13	5,13	4,27	6,41	3,84	7,69
1,50	9,23	4,61	7,69	5,13	6,15	6,15	5,13	7,69	4,61	9,23
2,00	12,30	6,15	10,25	6,83	8,20	8,20	6,83	10,25	6,15	12,30
2,50	15,38	7,69	12,81	8,54	10,25	10,25	8,54	12,81	7,69	15,38
3,00	18,45	9,23	15,38	10,25	12,30	12,30	10,25	15,38	9,23	18,45
4,00	24,60	12,30	20,50	13,67	16,40	16,40	13,67	20,50	12,30	24,60
5,00	30,75	15,38	25,63	17,08	20,50	20,50	17,08	25,63	15,38	30,75

Fonte: GHISI, TINKER e IBRAHIM, 2005.

O índice K diz respeito ao volume e é diretamente proporcional à área do ambiente, mantendo-se o h fixo. Por outro ponto de vista, o K é inversamente proporcional ao pé-direito (PD), especificamente, à distância entre a altura da área de trabalho e o teto. Isto é, quanto maior o PD, menor o K, mantendo-se as dimensões do ambiente fixas.

No estudo de Ghisi, Tinker e Ibrahim (2005), foram obtidas as áreas ideais de porcentagem de abertura de janela², por orientação, para melhor eficiência energética do ambiente. Essas AIJ's foram comparadas com as áreas

² No estudo de Ghisi (2005), a porcentagem de área envidraçada refere-se à proporção entre a área da janela e a área da fachada (PAF).

recomendadas para garantir vista para o exterior. Dentre os resultados obtidos, verificou-se que muitas das áreas mínimas recomendadas para garantir vista para o exterior são maiores que as AIJs, tendência observada nas oito cidades consideradas na análise, inclusive Brasília, e que a adoção de áreas de janelas maiores que as indicadas acarreta aumento significativo do consumo de energia, especialmente nos ambientes com índice K pequeno. Observou-se também que ambientes com pouca profundidade e menores ambientes apresentam maior consumo de energia.

Os resultados obtidos por Ghisi (2002), para a cidade e Brasília, quanto à Área Ideal para Janela são apresentados na tabela 9.

Tabela 9 – AIJ para Brasília nas orientações N, S, L e O.

Proporção do ambiente	Área Ideal de Janela para Brasília			
	NORTE	LESTE	SUL	OESTE
2:1	3,05K + 10,34	4,54K + 13,51	5,04K + 16,78	2,57K + 8,89
1,5:1	3,15K + 13,02	5,66K + 12,45	6,56K + 17,34	3,60K + 8,41
1:1	4,24K + 14,53	8,14K + 14,57	7,57K + 22,89	4,38K + 10,57
1:1,5	6,83K + 15,57	9,49K + 20,05	11,72K + 24,39	3,55K + 14,69
1:2	8,57K + 18,86	12,27K + 23,06	11,35K + 34,59	4,46K + 16,60

Adaptado de Ghisi (2002) – tabela F.2. (apêndices), p. 268.

Ghisi, Tinker e Ibrahim (2005) constataram também o conflito entre o conforto térmico e o conforto lumínico. Isso se dá quando afirmam que a melhor opção do ponto de vista do conforto térmico é uma proporção menor entre a área da janela e a profundidade do ambiente, o que permite uma melhor distribuição de luz natural, mas não o mais baixo consumo de energia para resfriamento. Exemplificando, um ambiente com área de abertura de 50% e profundidade de 1/3 da largura terá uma distribuição de luz diferente de um ambiente com 12% de área de abertura e profundidade de 1/2 da largura – o primeiro teria melhor distribuição da luz natural, mas maior carga térmica por insolação.

Outra conclusão destaca a viabilidade do uso da proporção entre a área da fachada e o volume do ambiente para comparar o consumo de energia de ambientes com diferentes proporções de largura e profundidade.

2.5.2 Abertura de janelas X consumo de energia

Bisinotto (2012) identificou a influência da porcentagem da área de janela no consumo de energia, determinando, especificamente quanto à variável PAF a importância relativa dessa variável para o consumo energético em porcentagem, quando comparada a outras variáveis, como o volume, o potencial instalado, a ocupação, a cor da fachada e a orientação.

A partir do levantamento de áreas de janelas em edificações construídas na cidade de São Carlos, verificou-se no estudo de Bisinotto (2012) a influência do índice PAF no consumo de energia. Na metodologia do trabalho, foram colocadas em grupos distintos as variáveis em condicionantes não componentes da envoltória e condicionantes componentes da envoltória. Estas, referentes às variáveis construtivas (orientação, materiais, abertura etc.), e aquelas relativas às variáveis climáticas e de ocupação. As análises foram feitas a partir do resultado da relação entre três modelos conforme variável geométrica a ser relacionada com o consumo de energia: PAF/orientação de fachada, PAF/volume e PAF/área de cobertura, e, para cada modelo foram estudados três tipos de combinações de variáveis, permitindo-se identificar as variáveis mais relevantes na determinação do consumo de energia. Utilizou-se os dados colhidos no levantamento das edificações para determinação dos modelos mais representativos, os quais são avaliados quanto à importância de cada variável.

No caso apresentado na tabela 10, o número de ocupantes mostrou a variável mais significativa. Quanto às orientações, observa-se que todas exercem influência no ganho energético, menos a Nordeste (NE), com índice menor do que 5%, indicando ser a mais apropriada para orientação de aberturas em edificações de São Carlos.

No caso do modelo representado na tabela 11, a orientação "... assume papel relevante, chegando a obter importância relativa da mesma ordem aproximada de grandeza que o potencial instalado no edifício (cerca de 10%)". (BISINOTTO, 2012, p. 59).

Tabela 10 – Importância relativa das variáveis de entrada do tipo modelo 1 número 3 (PAF por orientação de fachada).

Variável	Importância Relativa (%)
Ocupante	16,05
Volume	13,08
Potencial Instalado	12,71
Sombreamento SE	12,42
PAF SE	11,68
Cor	10,24
PAF SO	9,08
PAF NO	8,45
Sombreamento NO	6,29

Adaptado de BISINOTTO (2012).

Tabela 11 – Importância relativa das variáveis de entrada do tipo 2 modelo 2

Variável	Importância Relativa (%)
PAF/Volume	25,75
Cor (absortância)	24,43
Ocupante	19,48
Potencial Instalado	11,68
Orientação	10,11
Sombreamento SO	8,65

Adaptado de BISINOTTO (2012).

2.5.3 Variação da área de piso X desempenho térmico

Utilizando-se dos critérios da Norma de Desempenho (ABNT NBR 15575-2013) para a cidade de São Paulo (ZB 3), o estudo de Sales (2014) avaliou edificação residencial variando as dimensões proporcionalmente para largura e profundidade, reduzindo a área inicial à taxa de 5% até 35% da área original (Figura 4), empregando dois sistemas construtivos, denominados Leve e Pesado.

O sistema Leve era constituído por:

“Paredes externas: compostas por chapas cimentícias com espessura de 10mm na face externa (massa específica da ordem de 1.600 kg/m³) e placa de gesso acartonado, com espessura de 12,5 mm, na face interna. As placas estão

posicionadas a uma distância de 9 cm entre si, com o interior preenchido com lã de vidro com espessura de 5 cm e massa específica da ordem de 12 kg/m³ e condutividade térmica de 0,04 W/(m °C). O acabamento externo das paredes é em cores claras; Paredes internas: compostas por placas de gesso acartonado, com espessura de 12,5 mm, posicionadas a uma distância de 9 cm entre si; Cobertura: composta por forro horizontal com placas de gesso acartonado com espessura de 12,5 mm, com 10 cm de lã de vidro sobre o forro, com massa específica da ordem de 12 kg/m³ e condutividade térmica de 0,04 W/(m °C), sob telhado em telhas de fibrocimento com 5 mm de espessura. A cor externa da superfície das telhas é escura". (SALES, 2014, p. 512).

E o sistema Pesado, por paredes internas, externas e lajes de concreto convencional, com 10cm de espessura e massa específica da ordem de 2.400kg/m³. O acabamento externo das paredes é feito em cores claras; telhado em telhas de fibrocimento, com 6mm de espessura, sobre laje horizontal de concreto convencional com 10cm de espessura e massa específica da ordem de 2.400kg/m³. Sobre a laje, há 4cm de EPS com condutividade térmica de 0,04W/(m °C) e massa específica da ordem de 20kg/m³. A cor externa da superfície das telhas é escura.

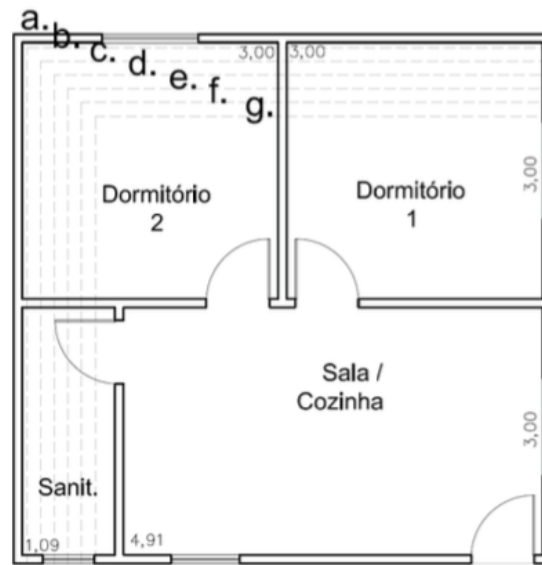
As aberturas mantiveram porcentagem de 15% da área do piso, e o PD utilizado foi de 2,5m. Para as edificações com a maior área e com a menor área, foram simuladas também variações de PD desde 2,5m até 3,0 m, com intervalos de 10cm, assim como as áreas de janelas, de 15% a 30%.

Em duas das configurações simuladas, foram avaliadas condições com diferentes áreas de abertura, com valores de 15% a 30% da área do piso.

Por um lado, o estudo concluiu que aumentos proporcionais dos ambientes, como os realizados nesse, não geram efeitos significativos no desempenho térmico, mantendo-se as características da edificação, como a proporção nas áreas e janelas.

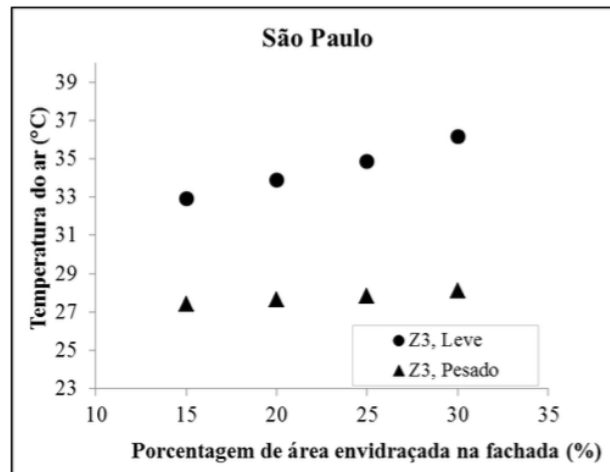
Por outro lado, Sales, Akutsu e Brito (2014) verificaram o aumento de até 1°C na temperatura interna a cada 5% de acréscimo de área envidraçada, na edificação de baixa inércia térmica, a depender das condições climáticas do local em que a edificação está implantada.

Figura 4 – Variação das dimensões horizontais da habitação.



Fonte: SALES, BRITO e AKUTSU (2014).

Figura 5 – Temperatura máxima do ar no interior da sala em função da área envidraçada na fachada, considerando a habitação de referência "a".



Fonte: SALES, BRITO e AKUTSU (2014).

2.5.4 Variáveis no Método Simplificado da NBR 15575 X desempenho térmico

O Método Simplificado para avaliação do desempenho térmico da ABNT NBR 15575/2013 permite que habitações "... que serão construídas com o mesmo sistema construtivo, porém com diversas proporções de áreas envidraçadas na fachada, possam atender aos critérios do nível 'Mínimo' de desempenho térmico

pelo método simplificado de avaliação, sem, no entanto, proporcionar um desempenho térmico adequado na prática” (BRITO, 2017, p. 49).

Isso acontece porque a análise preconizada pela Norma avalia apenas os fechamentos opacos, sem considerar a área de abertura da fachada.

Simulando 21 diferentes sistemas construtivos na Zona Bioclimática 8 e comparando os resultados obtidos com os alcançados pelo Método Simplificado, seguindo o exigido pela Norma de Desempenho, Brito (2017) verificou que o atendimento ao método detalhado não significa o alcance dos critérios mínimos pelo Método Simplificado.

Dentre as recomendações do estudo, estavam o limite da área envidraçada na fachada de até 15% da área de piso – constatado no trabalho de Sales, Brito e Akutsu (2014) – e a necessidade de efetuar a avaliação pelo Método Detalhado para paredes com maior absorvância à radiação solar ou maior área envidraçada na fachada (BRITO, 2017).

Os problemas relacionados ao atendimento dos requisitos e critérios referentes ao desempenho térmico pelo procedimento simplificado na NBR 15575 têm sido motivo de vários estudos (CHVATAL, 2014; SORGATO *et al.*, 2014; ALMEIDA, 2016; BRITO *et al.* 2012).

Chvatal (2014) obteve resultados que indicaram que o procedimento simplificado não representa de forma correta os impactos da transmitância e da absorvância da envolvente avaliados pelo Método de Simulação, podendo levar a uma classificação de desempenho equivocada.

Observa-se também uma característica da norma que pode levar ao equívoco como a desconsideração da absorvância para as vedações nas zonas bioclimáticas 1 e 2. No caso do estudo de Chvatal (2014), foi possível constatar que, simulando a edificação estudada na zona 1 com absorvância de 0,9, o desempenho seria insuficiente, mas, pelo processo simplificado, o nível mínimo (M) de desempenho térmico seria alcançado.

Sorgato (2014) registra que é possível constatar que os procedimentos de avaliação do desempenho térmico mínimo da ABNT NBR 15575:2013 (Simplificado e Simulação) não apresentam equivalência, e que o procedimento simplificado da

norma, apesar de ser uma ferramenta de aplicação rápida, pode gerar incertezas consideráveis em seus resultados.

Almeida (2016), comparando resultados entre o cálculo prescritivo e as temperaturas medidas *in loco*, encontrou resultados que, apesar de os valores terem sido atendidos integralmente aos requisitos e critérios contidos na referida norma para a unidade estudada, evidenciaram a necessidade de uma revisão desse arcabouço normativo, na medida em que revelaram temperaturas internas maiores que temperaturas externas na maior parte do dia.

Além dos limitadores ao método prescritivo citados, há a desconsideração das dimensões das aberturas, variante que, como coloca Santana (2006), interfere diretamente no consumo de energia, pois dentre os parâmetros analisados no envelope do edifício, é o percentual de área de janela na fachada (PJF) que apresenta maior influência na variação do consumo de energia, constatando em seu estudo que, a cada 10% de aumento do PJF, ocorreu um acréscimo do consumo de energia de 2,9%.

2.5.5 As aberturas envidraçadas nas normas

O objetivo aqui é verificar as exigências referentes ao desempenho térmico em outras normas, especialmente quanto aos detalhes relativos à envoltória, de forma a identificar possíveis exigências específicas relacionadas às aberturas das fachadas.

São destacadas as normas da Espanha (CTE – Real Decreto 314/2006) e as de Portugal (RCCTE – Decreto Lei 80/2006). Ambas apresentam critérios para transmitância térmica e permeabilidade e/ou áreas máximas para as aberturas.

Considerado um marco no setor de construção espanhol, o *Código Técnico de la Edificación* (CTE), avaliando características qualitativas ou quantitativas, a depender da função da edificação, define metas de desempenho e maneiras de alcançá-las. As questões relativas ao desempenho térmico estão incluídas no Documento Básico HE (*Ahorro de Energía*).

O CTE/2006 é dividido em duas partes. A primeira contém as disposições e condições gerais de aplicação do CTE, e as exigências básicas que devem ser

cumpridas pelos edifícios; e a segunda, formada pelos Documentos Básicos (DB), contém a caracterização das exigências básicas e sua quantificação mediante o estabelecimento dos níveis ou valores limites do conjunto de características qualitativas e quantitativas do edifício, identificáveis objetivamente, que determinam sua capacidade de cumprir as exigências básicas correspondentes (CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN, 2006).

O objetivo do DB HE é estabelecer regras e procedimentos que permitam a economia de energia, e, além de caderno próprio, contém outros cinco, que especificam parâmetros cujo cumprimento assegure o atendimento à norma.

O conteúdo do caderno HE 1 tem relação direta com o tema deste trabalho e aplica-se a novas edificações, reformas e ampliações, e àquelas com alteração do uso:

- HE 1: a exigência básica é a limitação da demanda energética, que, por meio de uma envoltória, permita o conforto térmico tanto no verão como no inverno, em função do clima local e de características de isolamento, inércia, ventilação e exposição à radiação. Há especial preocupação com a condensação superficial e interna dos materiais e com as perdas e os ganhos de calor por pontes térmicas.

Os requisitos são os seguintes: em edifícios privados, as características dos elementos da envoltória devem ser tais que evitem as transferências na qualidade térmica dos diferentes espaços habitáveis³, devendo-se limitar, da mesma forma, a transferência de calor entre as unidades de uso diferente e entre as unidades e as áreas de uso comum do edifício.

São estabelecidos, inclusive, critérios com limites de transmitância térmica e permeabilidade das aberturas, conforme a tabela 12.

³No caso de edifícios residenciais, espaços formados por salas, quartos, cozinha, banheiro e zonas de circulação dentro desses.

Tabela 12 – Transmitância térmica máxima e permeabilidade do ar dos elementos da envoltória.

Parâmetro	Zona climática de inverno					
	α	A	B	C	D	E
Transmitância térmica de paredes e elementos em contato com o solo ($W/m^2.K$)	1,35	1,25	1,00	0,75	0,6	0,55
Transmitância térmica de coberturas e pisos e em contato com o ar ($W/m^2.K$)	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35
Transmitância térmica das aberturas ($W/m^2.K$)	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Permeabilidade das aberturas ao ar ($m^3/h.m^2$)	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 27	≤ 27	≤ 27

Fonte: DBHE (tabela 2.3).

Em Portugal, o RCCTE (Decreto Lei 80/2006), especificamente quanto ao desempenho térmico, estabelece requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização, nomeadamente ao nível das características da envoltória, limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos (<http://www.rccte.com/>). Entre a primeira versão do RCCTE, em fevereiro de 1990, e a atual, verificou-se uma significativa melhora na qualidade da construção, podendo-se observar a prática generalizada de aplicação de isolamento térmico nos edifícios, mesmo que para além do que o RCCTE exige, numa prova de que o referido Regulamento conseguiu atingir, e mesmo superar, os objetivos a que se propunha (Diário da República n. 67, 4 de abril de 2006).

A despeito de ter sido um dos últimos países da Zona do Euro a dispor de um regulamento para o assunto, inovou ao incluir requisitos de conforto no verão, exigindo proteção nos vãos envidraçados (CAMELO *et al.*, 2006).

O RCCTE/2006 indica requisitos mínimos referentes à envoltória e aos vãos envidraçados, e limita os valores das necessidades nominais de energia útil para aquecimento, das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento e das necessidades nominais de energia útil para produção de água quente sanitária.

Para os edifícios, o regulamento impõe requisitos mínimos de qualidade térmica aos elementos da envoltória tanto da transmitância térmica dos elementos opacos, como do fator solar das aberturas. As exigências variarão para as vedações de

acordo com a zona climática de inverno (se representa uma parede, cobertura, ou sobre alguns locais não aquecidos), havendo distinção entre os isolamentos externos e os entre unidades autônomas e áreas não climatizadas.

Os requisitos regulamentares para os vãos envidraçados são expressos em termos do “fator solar dos vãos envidraçados horizontais e verticais”. Os valores dependem da zona climática de verão e da inércia térmica do edifício. Os requisitos relativos ao fator solar são impostos para os vãos não orientados a Norte (entre Noroeste e Nordeste) e com uma área superficial superior a 5% da área útil de pavimento do espaço que servem (CAMELO *et al.*, 2006).

Tabela 13 – Fatores solares máximos admissíveis dos vãos envidraçados.

Classe de Inércia Térmica	Zona Climática		
	V1	V2	V3
fraca	0,15	0,15	0,10
média	0,56	0,56	0,50
forte	0,56	0,56	0,50

Fonte: quadro 3.2, pg. 66, CAMELO *et al.*(2006).

O Regulamento preconiza diferentes valores de referência para habitações unifamiliares a depender da área útil e impõe requisitos cumulativos para o seu atendimento:

1. Para todos os elementos opacos, U máximo conforme tabela 9;
2. Coberturas de cor clara;
3. Inércia térmica média ou forte;
4. Área de vãos envidraçados menor ou igual a 15% da área útil do pavimento;
- e
5. Vãos envidraçados com mais de 5% da área útil do espaço que servem e não orientados no quadrante norte devem ter fatores solares que não excedam os seguintes valores por zona climática: V1 – 2,25; V2 – 0,20; V3 – 0,15.

Tabela 14 – Envolvente Opaca e envidraçados – Coeficientes de transmissão térmica de referência no Continente e Regiões Autônomas, Uref (W/m².°C) para estabelecer os valores limites das necessidades nominais de referência de aquecimento Ni.

Envolvente Opaca em Zona Corrente		Continente Zona Climática de Inverno			Madeira e Açores
		I1	I2	I3	I1
Exterior	paredes	0,70	0,60	0,50	1,40
	coberturas e pavimentos	0,50	0,45	0,40	0,80
Interior	paredes	1,40	1,20	1,00	2,00
	coberturas e pavimentos	1,00	0,90	0,80	1,25
Envidraçados		4.30	3.30	3.30	4.30

Fonte: quadro 3.3, pg. 69, CAMELO *et al.*, 2006.

Em outra linha, o RTQ – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações – considera as áreas de abertura para o cálculo da etiqueta incluindo na fórmula para determinação do IC (indicador de consumo) por meio do Percentual de Abertura na Fachada (PAF), especificamente, ao escolher a pior situação entre o PAFt (Percentual de Aberturas Total) e o PAFo (Percentual de Abertura da Fachada Oeste).

A importância das aberturas na determinação do conforto térmico também tem norteado estudos no LabEEE (SORGATO, 2014) e no IPT (BRITO, 2012) a sugerir ajustes no método do cálculo simplificado da ABNT NBR 15575-2013, visto que este não considera a área de abertura para determinar o atendimento aos critérios de desempenho, dessa forma, aprovando edificações que não apresentam, na prática, o desempenho esperado.

As variações na área envidraçada da fachada devem ser efetuadas com base em estudos específicos para se garantir que não prejudicarão o desempenho térmico do ambiente. Um acréscimo de 5% na área envidraçada da fachada pode acarretar uma elevação da temperatura máxima do ar interno de 1°C, na edificação de baixa inércia térmica. Cabe ressaltar que isso depende também das condições climáticas do local em que está implantada a edificação (SALES, 2014).

Figura 6 – Exemplos de habitações com o mesmo sistema construtivo e projeto arquitetônico com diferentes áreas envidraçadas na fachada.



Fonte: FABRÍCIO, 2017.

Um método para previsão do desempenho térmico a ser utilizado durante a elaboração de projetos é indispensável para verificação e possíveis ajustes ainda na etapa de projeto (FROTA, 2003).

2.6 Considerações sobre o capítulo

No contexto do desenvolvimento das edificações, as aberturas revolucionaram a habitação permitindo a visão do exterior, a higienização dos ambientes, a entrada da luz e a percepção da fachada como temática arquitetônica, mas também trouxeram os problemas de superaquecimento dos espaços e o desconforto térmico.

A solução para o desconforto térmico com o uso de equipamentos, mesmo que cada vez mais eficientes, acarretou num aumento crescente na demanda do consumo de energia.

Está na elaboração do projeto a resposta ao problema de desconforto e gasto energético, e o primeiro passo é o conhecimento do clima local.

A cidade de Brasília, com verões chuvosos e invernos secos, apresenta características que precisam mais bem conhecidas, especialmente nas peculiaridades, como a primavera ser a estação mais quente do ano, a amplitude térmica do inverno e a radiação difusa dos verões.

Somente observando o clima, a orientação solar e as especificidades locais, como a topografia e as interferências de outras edificações, por exemplo, é possível alcançar o conforto térmico.

Sabe-se que a percepção de conforto é subjetiva, dependendo de uma série de variáveis, e não apenas de níveis fixos de temperatura – há uma interação dinâmica do homem com o ambiente, que se adapta a diferentes temperaturas.

Entendendo essa adaptação, é possível mensurar em dias ou horas o conforto que determinado ambiente, voltado para uma orientação fixa e com vão de abertura predeterminado, provoca em seu ocupante. A metodologia inclui a utilização de uma fórmula para determinar a Temperatura Neutra (T_n).

Uma ferramenta para mensurar esses períodos é a simulação computacional, que pretende agilizar o processo de forma a propiciar o seu uso desde o estudo preliminar. Para isso, dados climáticos são compilados e organizados em arquivos que, inseridos no *software*, permitem fornecer informações detalhadas sobre o comportamento térmico da edificação.

A Determinação do índice K, elaborado por Ghisi (2002), assim como classificação dos ambientes à medida de suas proporções, e o teste do efeito da variação das áreas de abertura, como Bisinotto (2012) realizou em seu estudo tendo como base a cidade de São Carlos e a respectiva Zona Bioclimática, no caso, a ZB3, são procedimentos que servem como suporte para novos estudos.

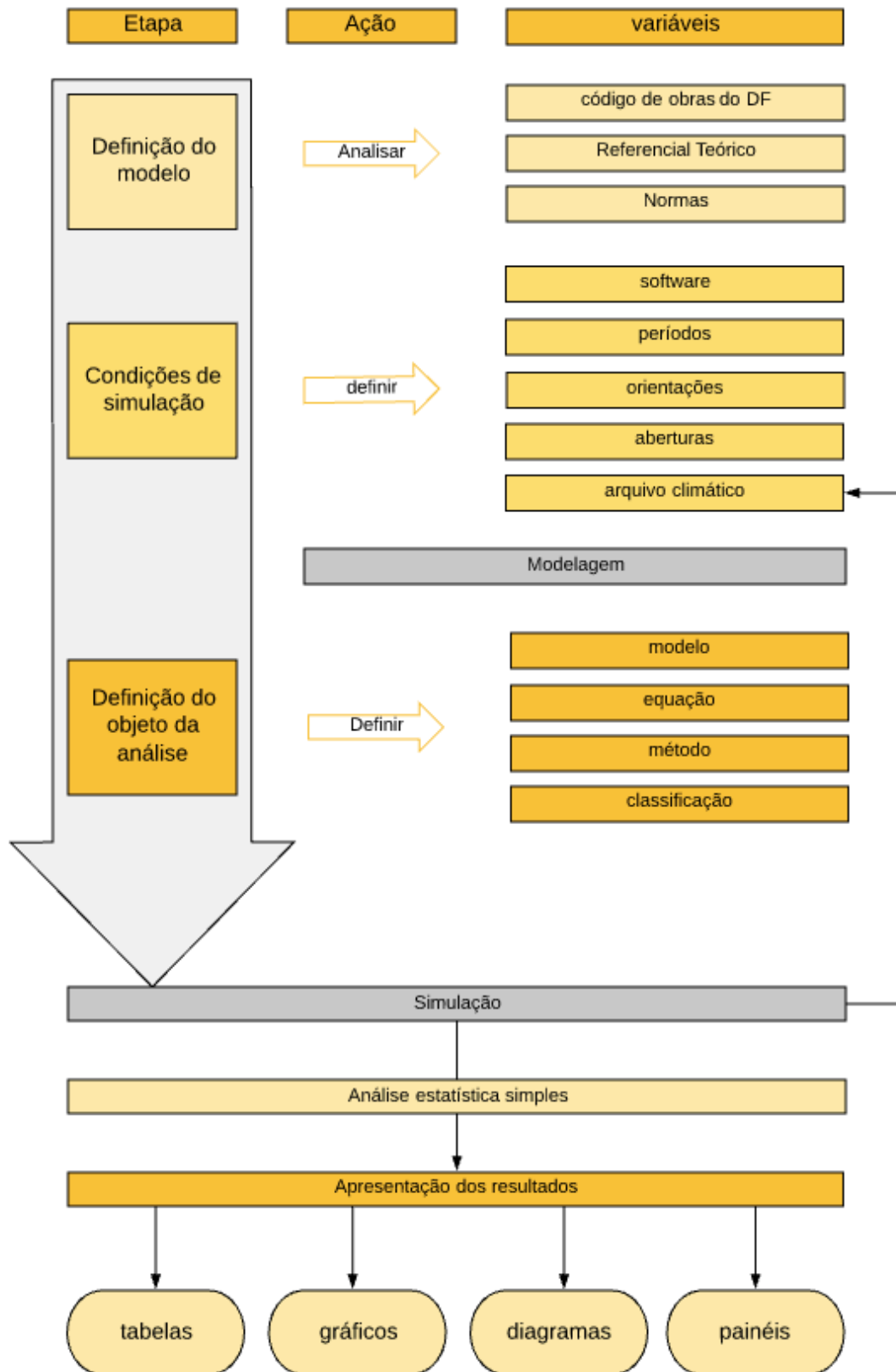
O contínuo trabalho sobre conforto térmico oferecerá informações passíveis de aperfeiçoamento dos métodos de elaboração de projeto como também para aprimoramento dos preceitos normativos. A revisão do método prescritivo para desempenho térmico na ABNT NBR 15575-2013 pode considerar os resultados desses trabalhos e o exemplo de outras normas, como o CTE e o RCCTE, que indicam requisitos para área envidraçadas, por exemplo.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com base nos objetivos deste trabalho, apresentam-se os procedimentos metodológicos que podem ser subdivididos em sete etapas (Figura 7).

A primeira etapa, destinada à definição do modelo, compreende a definição das dimensões do modelo e configurações das vedações. As escolhas foram baseadas no Código de Obras de Brasília, nas normas ABNT NBR 15220 e ABNT NBR 15575 e nas Referências Teóricas. A segunda etapa refere-se às condições de simulação, definindo-se as orientações, as porcentagens de abertura, os períodos a serem estudados, o arquivo climático a ser empregado, o *software* e a razão a ser utilizada entre a abertura e o ambiente. Em seguida, executa-se a modelagem, numa terceira etapa. Para a quarta etapa, a delimitação do objeto teve como encargo determinar o modelo, o método, os critérios e a equação da qual resultariam os valores a serem utilizados. Em seguida, a simulação. A fim de checar a significância dos resultados, uma análise estatística simples. Para finalizar, a apresentação dos resultados, por meio de tabelas, gráficos, diagramas e painéis.

Figura 7 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos.



3.1 Definição do modelo

A definição das dimensões do modelo utilizado neste trabalho tem como princípio o preconizado no Código de Obras de Brasília (COB), que exige como menor área para dormitório 8m^2 com dimensão mínima de 2,4m. Mantendo-se a área mínima, tem-se 3,33m como segunda dimensão de área. Adaptando-se o modelo para que seja classificado conforme estudo de Ghisi (2002), obtém-se área de $8,64\text{m}^2$ com dimensões de 2,4m x 3,6m, geometria 1,5:1 (Tabela 8) e $K = 0,8$. A área de abertura inicial é de 12,5% com relação à área de piso e o pé-direito de 2,5 m.

O modelo é simulado com e sem sombreamento. Apesar da necessidade específica de controle solar para cada orientação, o sombreamento, no caso deste estudo, caracteriza-se pela inclusão de um beiral de 50cm, característico de habitações de interesse social. Na figura 8 tem-se a planta baixa com a projeção do beiral e a indicação, na cor laranja, das paredes adiabáticas, assim designadas de forma a não interferir no efeito gerado pela insolação na parede com a abertura.

Figura 8 – croqui da planta baixa do modelo.

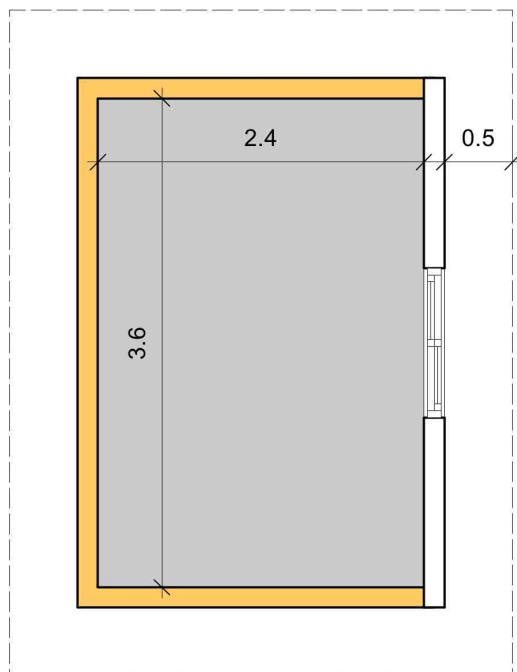


Figura 9 – croqui do corte do modelo sem sombreamento na abertura.

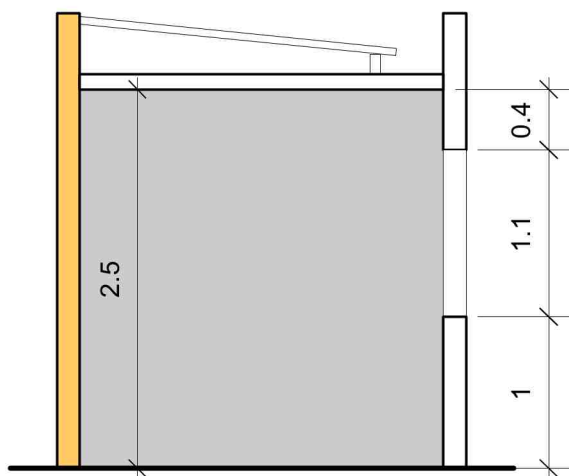
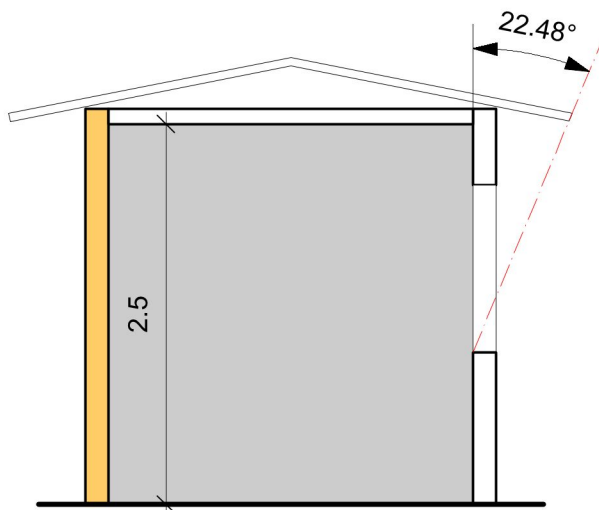


Figura 10 – croqui do corte do modelo com sombreamento na abertura.



Para definição da composição das vedações, levou-se em consideração o prescrito na ABNT NBR 15.220-2005, que indica para a Zona Bioclimática 4 parede pesada e cobertura leve isolada, Transmitância Térmica (U) $\leq 2,20\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ e $U \leq 2,00\text{W/m}^2\cdot\text{K}$, respectivamente.

Após a definição do perfil da cobertura e das paredes, definiu-se, a partir dos critérios exigidos pela ABNT NBR 15575-2013, os índices de Transmitância Térmica e Capacidade Térmica dos componentes, conforme tabelas 15 a 17.

Tabela 15 – Indicação de U para paredes.

Transmitância térmica U W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	α _a ≤ 0,6	α _a > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5

a α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.

Fonte: ABNT NBR 15575-4:2013.

Tabela 16 – Indicação de CT para paredes.

Capacidade térmica (CT) kJ/m ² .K	
Zonas 1,2,3,4,5,6 e 7	Zona 8
≥ 130	Sem requisito

Fonte: ABNT NBR 15575-4:2013.

Tabela 17 – Indicação de U para coberturas.

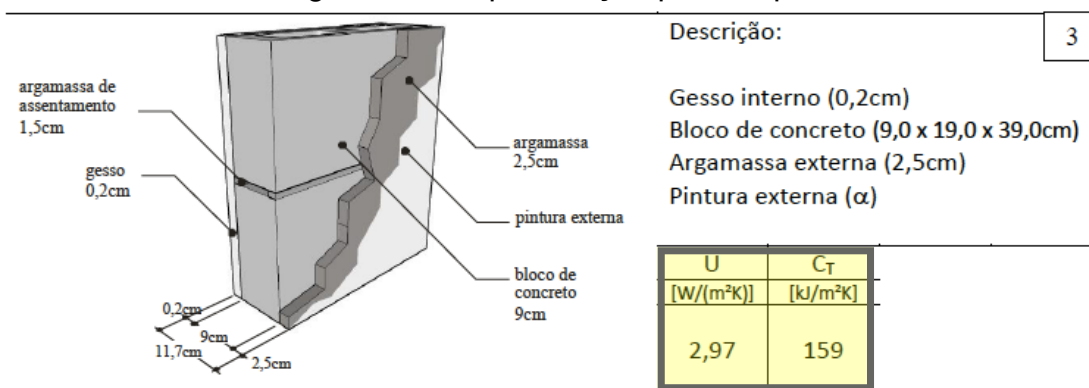
Transmitância térmica W/m ² .K				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
U ≤ 2,30	α ≤ 0,6	α > 0,6	α ≤ 0,4	α > 0,4
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FT	U ≤ 1,5 FT

α é absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura
 NOTA O fator de correção da transmitância (FT) é estabelecido na ABNT NBR 15220-3.

Fonte: ABNT NBR 15575-5:2013.

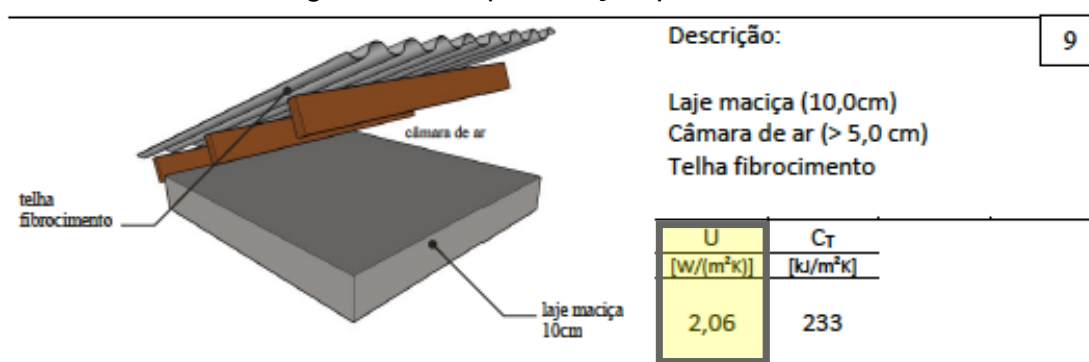
A composição escolhida para este estudo atende aos critérios da ABNT 15575-2013 e leva em consideração o proposto para a ZB 4, e utilizou as especificações das figuras 11 e 12.

Figura 11 – Especificação para as paredes.



Fonte: anexo da Portaria Inmetro nº 50/2013.

Figura 12 – Especificação para a cobertura.



Fonte: anexo da Portaria Inmetro nº 50/2013.

Para o fechamento da abertura, optou-se pelo vidro simples incolor de 6mm.

Descrição conforme o software *Design Builder*:

Sgl Clr 6mm

Total solar transmission (SHGC) 0,810

Direct solar transmission 0,775

Light transmission 0,881

U-value (ISO 1022/EN 673) (W/m²K) 6,121

U-value (ISO 15099/NFRC) (W/m²K) 6,121

3.2 Condições de simulação

Este tópico define as condições de simulação do modelo utilizado. Foram simulados modelos, com e sem sombreamento, com aberturas de 12,5%, 15%,

20%, acrescentando 5% até 45% de Porcentagem da Razão de Área de Abertura pela Área de Piso (PRAP) com aberturas a 1m do piso (peitoril) e 1,1m de altura, para oito orientações (N, S, L, O, NO, NE, SO e SE).

O *software* utilizado para as simulações, *Design Builder*, mostrou-se interessante quanto à inclusão de dados relativos ao projeto, aliado à sua interface amigável para modelagem e interação com o *EnergyPlus*, *software* recomendado pela norma brasileira de desempenho das edificações (ABNT NBR 15575-1:2013) e pelo Programa de Conservação de Energia (Procel). (SANTOS, 2017).

O arquivo climático utilizado foi o ASHRAE-IWEC fornecido pelo *software*.

Os estudos indicados no capítulo 2 utilizam o PAF⁴, cujo valor é determinado pela razão entre a área da abertura e a área da fachada. O COB e a NBR ABNT 15.575-2013 indicam valores mínimos para área de aberturas pela porcentagem da área da janela em relação da área de piso. Dessa forma, a porcentagem de abertura para este estudo considera o preconizado pela norma e pelo Código (COB). Para isso, foi necessária a elaboração de uma tabela de conversão, para que o resultado obtido na simulação fosse apresentado em PRAP, e não em PAF (tabela 18), como são inseridas as informações no *Design Builder*.

Partindo da porcentagem da razão da área de abertura pela área do piso, considerando a altura do peitoril a 1m do piso, obteve-se a dimensão horizontal da janela, e, multiplicando esse valor pela dimensão vertical fixa de 1,1m, chegou-se à área da abertura. Dividindo-se esse valor pela área da parede, obteve-se o PAF para a respectiva PRAP. O valor sofreu arredondamento⁵, e a margem de erro entre a área real e a simulada ficou em aproximadamente 1%.

Observou-se que a área máxima de abertura para o modelo, utilizando-se a parede de maior dimensão, é de 45%, após a constatação de que a abertura de 50%, mantendo-se fixas as dimensões verticais (até o peitoril e até o fim da abertura), extrapolaria a dimensão da respectiva parede, conforme vê-se na tabela 18.

⁴ PAF – Percentual de Área de abertura da Fachada.

⁵ Por mensagem eletrônica, a equipe de suporte do *software Design Builder* informou que na próxima revisão a área de abertura levará em consideração duas casas após a vírgula, o que não ocorre na versão utilizada.

Tabela 18 – Tabela de conversão de PAF para PRAP.

PRAP	área da abertura (m2)	dimensão vertical da abertura (m)	dimensão horizontal da abertura (m)	PAF (%)	valor de <i>input</i> (PAF em %)*	erro
12,5%	1,08	1,1	0,98	10,91	11	0,99%
15,0%	1,296	1,1	1,18	13,09	13	1,01%
20,0%	1,728	1,1	1,57	17,45	17	1,03%
25,0%	2,16	1,1	1,96	21,82	21	1,04%
30,0%	2,592	1,1	2,36	26,18	26	1,01%
35,0%	3,024	1,1	2,75	30,55	31	0,99%
40,0%	3,456	1,1	3,14	34,91	35	1,00%
45,0%	3,888	1,1	3,53	39,27	39	1,01%
50,0%	4,32	1,1	3,93	43,64	44	0,99%

*Arredondamento.

As demais configurações aplicadas foram: *Activity Template – Domestic Bedroom*; *occupancy schedule – Dwell_DomBed_Occ*; *Airtightness* – cinco trocas por hora.

O período de simulação compreendeu um ano inteiro, com resultados de hora em hora.

3.3 Delimitação do objeto da análise

O resultado final é apresentado em porcentagem de horas de conforto, desta forma, coube a esta etapa definir os critérios, o método e o modelo a serem utilizados.

Foram utilizados os dados relativos à temperatura operativa para obtenção das horas de conforto, que é a temperatura que mais se aproxima da percepção do conforto do usuário (SANTOS, 2017).

A equação de Auliciems⁶ (Tabela 3) foi utilizada para obtenção dos valores de temperatura neutra e foram adotados, neste trabalho, os valores de + 2 °C para desconforto por calor (verão), e – 7 °C para desconforto por frio (inverno).

⁶ $T_n = 0,314 \times T - 17,6$ °C (onde “Tn” é a Temperatura neutra e “T” a Temperatura operativa).

Tabela 19 – Trecho da planilha de compilação de dados extraídos.

Temperatura Operativa	Outside Dry-Bulb Temperature	Tn	Tn+2	Tn-7
21,43834	19,675	23,778	25,77795	16,77795
23,22648	19,1	23,5974	25,5974	16,5974
22,82894	18,9	23,5346	25,5346	16,5346
22,46201	18,425	23,3855	25,38545	16,38545
22,13454	18	23,252	25,252	16,252
21,82715	17,6	23,1264	25,1264	16,1264
21,60583	17,35	23,0479	25,0479	16,0479
21,84563	17,825	23,1971	25,19705	16,19705
23,03277	19,5	23,723	25,723	16,723

Para avaliação do resultado, optou-se por utilizar a classificação de percentual de horas de conforto da tabela de eficiência do RTQ-R (tabela 20), que indica para a cidade de Brasília o número de horas necessárias para resfriamento do ambiente, correspondendo ao número de horas de desconforto.

Tabela 20 – Tabela de classificação de eficiência.

Cidade: BRASILIA-DF		ZB 4		Tipo do arquivo: TRY			
Eficiência	EqNum	GHR		C _R (kWh/m ² .ano)		C _A (kWh/m ² .ano)	
A	5	GHR ≤ 727		C _R ≤ 4,155		C _A ≤ 5,838	
B	4	727 < GHR ≤	1453	4,155 < C _R ≤	8,306	5,838 < C _A ≤	11,675
C	3	1453 < GHR ≤	2180	8,306 < C _R ≤	12,457	11,675 < C _A ≤	17,513
D	2	2180 < GHR ≤	2906	12,457 < C _R ≤	16,608	17,513 < C _A ≤	23,350
E	1	2906 < GHR		16,608 < C _R		23,350 < C _A	

Fonte: RTQ-R (2014).

Para este trabalho, definiu-se que os resultados da simulação seriam apresentados informando porcentagem de horas de conforto. Dessa forma, uma tabela de conversão foi elaborada a fim de que o percentual de horas de conforto fosse classificado de A a E, indicadas pelas respectivas cores, e recebendo o nome de iPOC – índice de porcentagem de horas de conforto (tabela 21).

Tabela 21 – Tabela de conversão de horas de resfriamento para porcentagem de horas de conforto.

graus hora de resfriamento (GH _r)	porcentagem equivalente de horas de desconforto por calor/GH _r	porcentagem equivalente de horas de conforto	percentual de horas ocupadas de conforto (POC)	índice de POC (iPOC)
727	8,30%	91,70%	100% e 91,70%	A
1453	16,59%	83,41%	91,69% e 83,40%	B
2180	24,89%	75,11%	83,4% e 75,11%	C
2906	33,17%	66,83%	75,1% e 66,83%	D
			abaixo de 66,82%	E

Adaptado de RTQ-R (2014).

3.4 Análise estatística

Previamente à apresentação dos resultados, a fim de confirmar a significância dos dados, realizou-se uma análise estatística simples, utilizando-se o *software* Excel para a Análise de Variância e o PAST, para o teste de Tukey.

3.5 Apresentação dos resultados

Os resultados apresentam-se primeiramente em tabelas com valores em porcentagem de horas de conforto, tendo nas colunas a porcentagem de aberturas e nas linhas as orientações, indicando o iPOC.

Para uma pronta análise de avaliação, elaborou-se um diagrama (figura 13) que agrega todas as informações simuladas relativas aos meses, às áreas de abertura, orientações e respectivos iPOC.

O diagrama exhibe os resultados das 768 combinações para as oito orientações, 12 meses e oito áreas de abertura (Figura 13), indicando o iPOC para cada combinação. Para uma leitura fluida, os meses foram colocados no sentido horário, com as orientações no padrão utilizado na carta solar, e os escaninhos mais próximos ao centro correspondem à abertura de 12,5%, subindo gradualmente à medida que estes aumentam a área (Figura 14).

Figura 13 – Diagrama de desempenho.

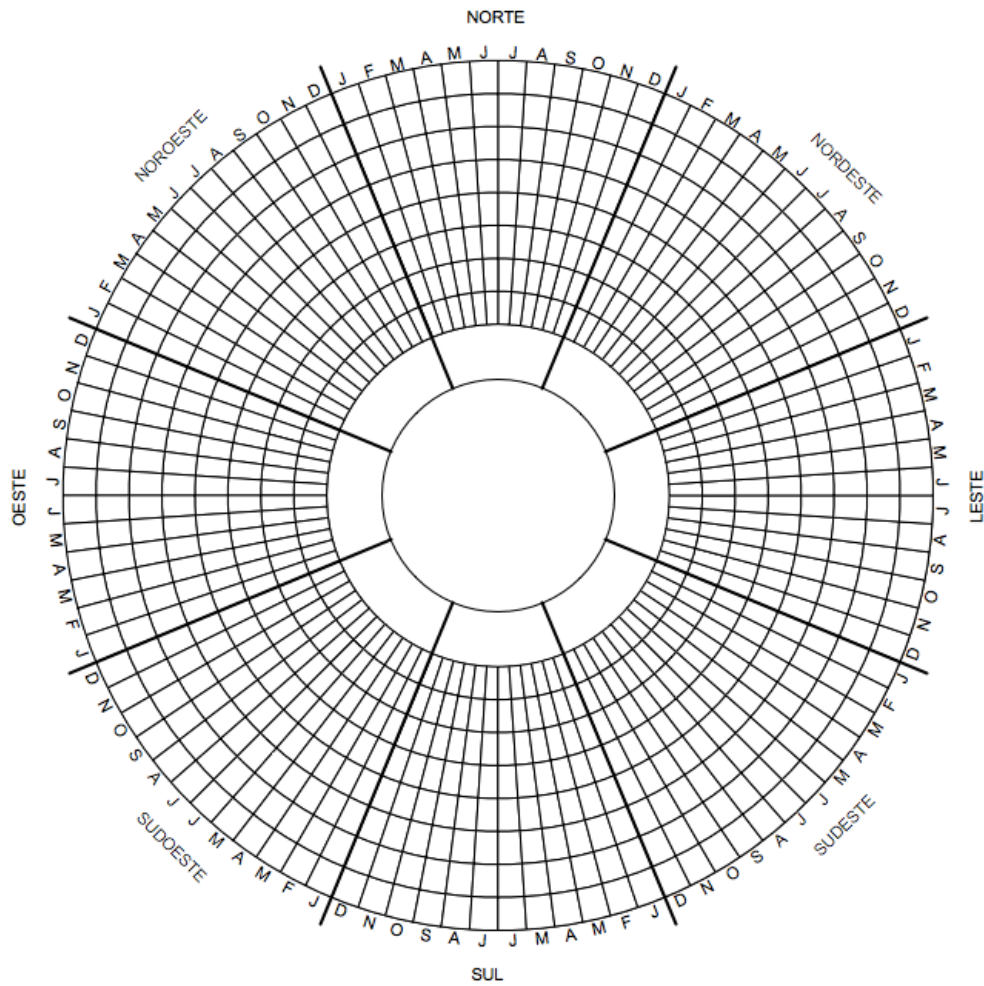
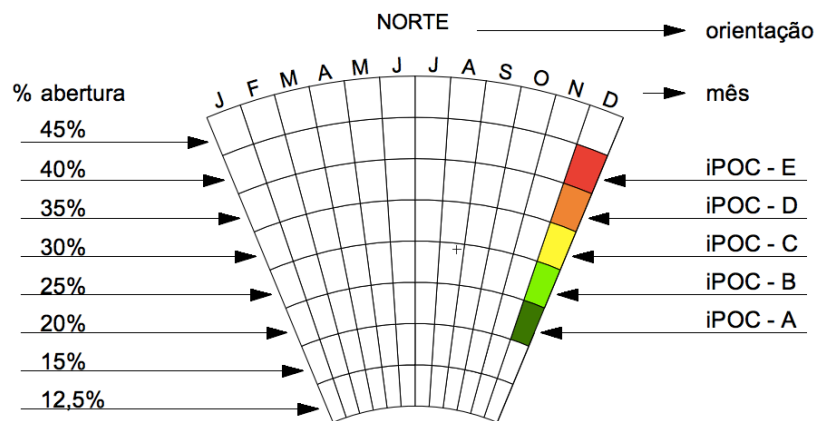
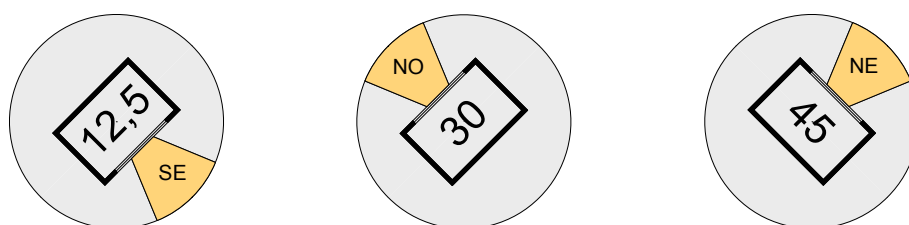


Figura 14 – Legenda do diagrama de resultados.



Para identificar a configuração de forma mais rápida, elaborou-se um ícone contendo uma planta na proporção do modelo simulado com a indicação da abertura, cujo valor está indicado no centro do desenho, voltada para uma determinada orientação, esta indicada com a respectiva letra (Figura 15).

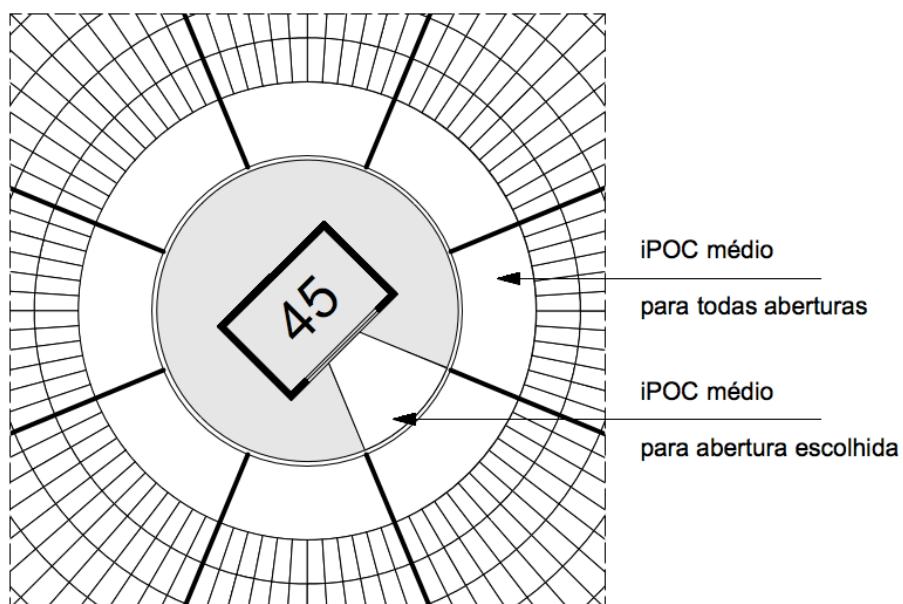
Figura 15 – Ícone para uso no diagrama com indicação de três configurações para Sudeste, Noroeste e Nordeste, com 12,5%, 30% e 45% de abertura, respectivamente.



Os ícones e o diagrama podem ser utilizados simultaneamente, de modo a representar uma determinada situação, aquele, no centro do diagrama com as informações sobre orientação, período e abertura, conforme a figura 16.

Na área central do diagrama o escaninho entre os iPOC's para abertura de 12,5% e o círculo central indica o iPOC médio para o ano para todas as aberturas (Figura 16). Quando utilizado o ícone no centro do diagrama, a área que na figura 15 indica a orientação, indicará iPOC anual para uma abertura específica, conforme figura 16.

Figura 16 – Legenda do centro do diagrama.



Para imediata identificação das condições de conforto, são acrescentadas aos ícones cores de fundo, indicando orientação aconselhável (iPOCs A e B), aconselhável com ressalvas (iPOC C) e desaconselhável (iPOCs D e E), nas cores azul claro, azul médio e azul escuro, respectivamente, conforme figura 17. Desta forma, os ícones compõem um painel com as oito orientações e oito porcentagens de abertura (figura 18).

Figura 17 – Ícone para uso nos painéis com indicação de configurações para Sudoeste, Noroeste e Nordeste com 12,5%,30% e 45% de abertura, respectivamente.

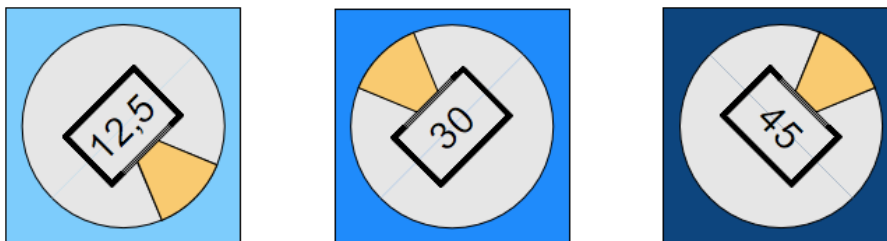


Figura 18 – Painel resumo das áreas de aberturas e orientações.

	12,5	15	20	25	30	35	40	45
LESTE								
NORDESTE								
NOROESTE								
NORTE								
OESTE								
SUDESTE								
SUDOESTE								
SUL								

4 RESULTADOS

Os resultados obtidos nesta pesquisa são apresentados em três diferentes formas. A primeira delas por meio do resultado gráfico das tabelas das médias anuais por simulação, isto é, sem sombreamento e com sombreamento. Em seguida são exibidos os diagramas, com a compilação dos resultados de uma simulação completa. E, por último, os painéis com os ícones indicando, por cor, as configurações que melhor se adequam ao clima de Brasília, considerando as configurações do modelo simulado.

Os resultados apresentam-se em porcentagem de horas de conforto e estão classificados por cor, indicando o iPOC, de acordo com o item 3.3 dos Procedimentos Metodológicos. As variadas formas de análise, por de tabelas e diagramas, permitem uma fácil apreensão dos dados. Antes dos resultados propriamente ditos são apresentados os resultados da Análise de Variância.

Nesse sentido, este capítulo subdivide-se em quatro subtópicos.

4.1 Análise de Variância

Nesse tópico, validaram-se os dados obtidos na simulação do modelo sem sombreamento ao utilizar-se a Análise de Variância⁷ (ANOVA – *Analysis of Variance*). Os dados tratados aqui são as médias de temperatura anuais.

Verifica-se no tópico 4.2 que para todas as orientações, à medida que a área de abertura aumenta, há tendência de diminuição da porcentagem de horas de conforto térmico. O objetivo nesse tópico é verificar se essa tendência é estatisticamente significativa.

⁷ A ANOVA é um teste estatístico que tem como objetivo verificar se há uma diferença significativa entre as médias e os fatores que exercem influência em alguma variável dependente (SOUTO, 2015).

Primeiramente, foi feita análise da ANOVA no Excel⁸, resultando nas Tabelas 22 e 23.

Tabela 22 – Análise de Variância de fator duplo sem repetição

<i>SUMÁRIO</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
LESTE	8	6,2193159	0,77741449	0,00970347
NORDESTE	8	5,89111543	0,73638943	0,01123462
NOROESTE	8	6,18378456	0,77297307	0,00641092
NORTE	8	6,16138873	0,77017359	0,00683282
OESTE	8	6,51980127	0,81497516	0,00606895
SUDESTE	8	7,06677494	0,88334687	0,00427956
SUDOESTE	8	7,21396276	0,90174535	0,00253817
SUL	8	7,65303913	0,95662989	0,00130657
12,5	8	7,34965198	0,9187065	0,0021831
15	8	7,24746917	0,90593365	0,00275468
20	8	7,03193431	0,87899179	0,00419894
25	8	6,81516924	0,85189615	0,00559466
30	8	6,52647849	0,81580981	0,00718564
35	8	6,2197954	0,77747443	0,00886222
40	8	5,97693132	0,74711642	0,01033713
45	8	5,74175281	0,7177191	0,0114441

O Excel, na função Análise de dados, permite a escolha da análise a ser feita, neste caso, ANOVA: Fator duplo sem repetição, em razão das variáveis de coluna (aberturas) e de linha (orientações).

Quanto maior o F, maior a influência da variável analisada, neste caso a PRAP. O valor de F apresentado na Figura 23, maior que F crítico, indica significância. Essa informação é reforçada pelo valor P, menor do que 0,05.

Tabela 23 – Tabela na ANOVA derivada no programa Excel.

<i>ANOVA</i>						
<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>F crítico</i>
Linhas	0,34021439	7	0,04860206	85,9470837	2,676E-25	2,20323159
Colunas	0,31091664	7	0,04441666	78,545704	2,0094E-24	2,20323159
Erro	0,02770892	49	0,00056549			
Total	0,67883995	63				

⁸ Excel versão 13.34 – função utilizada: Análise de dados.

Para identificar quais tratamentos foram significativos, informação não revelada pela ANOVA, utilizou-se o método Tukey⁹ por meio do aplicativo Past¹⁰, que forneceu os resultados apresentados na Figuras 21.

A Figura 19, com resultados do Teste de Tukey, indica oito combinações sem variância significativa: para fachada leste, para 35% a 45% de abertura; para fachadas nordeste e noroeste, para 40% e 45% de abertura; e para fachada norte, 45% de abertura.

Figura 19 – Teste Tukey.

One-way ANOVA	Residuals	Tukey's pairwise	Kruskal-Wallis	Mann-Whitney pairwise	Dunn's post hoc			
Tukey's Q below the diagonal, p(same) above the diagonal. Significant comparisons are pink.						Copenhaver-Holland 1988		
	A	B	C	D	E	F	G	H
A		1	0,9762	0,7576	0,2444	0,0248	0,002521	0,0002672
B	0,4308		0,9975	0,9027	0,4078	0,05554	0,006549	0,0007573
C	1,378	0,9477		0,9986	0,8237	0,2444	0,04394	0,006549
D	2,24	1,809	0,8615		0,9889	0,6045	0,1817	0,03745
E	3,446	3,015	2,068	1,206		0,9762	0,6641	0,2586
F	4,825	4,394	3,446	2,585	1,378		0,9944	0,8387
G	5,902	5,471	4,523	3,662	2,455	1,077		0,9975
H	6,849	6,419	5,471	4,609	3,403	2,025	0,9477	

Verifica-se, portanto, que os resultados apresentados na simulação são coerentes e significativos estatisticamente.

4.2 Análise dos Resultados

As tabelas permitem a observação de dados referentes a configurações específicas, assim como uma análise comparativa entre os resultados de duas simulações com diferentes configurações.

Inicialmente é apresentada tabela com as médias mensais de porcentagem de conforto somando-se todas as porcentagens de abertura e orientações simuladas.

Em seguida são exibidas tabelas com os resultados das médias anuais de porcentagem de horas de conforto por orientação por abertura (tabelas 25 e 26), acompanhadas dos respectivos gráficos. Esse procedimento é seguido para as

⁹ Método Tukey: é um teste de comparação de média e serve como um complemento para o estudo da Análise de Variância.

¹⁰ software Past versão 3.18.

duas diferentes condições de simulação do modelo (sem sombreamento e com sombreamento).

Por fim, as tabelas compreendidas nos Apêndices I e IV com os valores relativos às aberturas por mês para cada orientação são comentadas, também indicando os resultados para simulação sem e com sombreamento.

Observando-se a Tabela 24 verifica-se a variação dos índices de conforto por mês, evidenciando o período mais crítico do ano, com os meses de agosto a outubro. Observa-se também a evolução da porcentagem de conforto com o incremento do sombreamento do modelo simulado, e o pleno conforto para situações relativas à necessidade de aquecimento considerando $T_n - 7$.

Tabela 24 – Tabela com as médias mensais considerando a soma dos resultados para todas orientações e todas as aberturas.

média de POC das 8 orientações e 8 porcentagens de abertura				
período ▶	verão		inverno	
meses ▼	sem sombreamento	com sombreamento	sem sombreamento	com sombreamento
janeiro	88,84%	93,32%	100,00%	100,00%
fevereiro	73,16%	80,00%	100,00%	100,00%
março	86,88%	92,10%	100,00%	100,00%
abril	81,10%	87,07%	100,00%	100,00%
maio	83,19%	87,98%	100,00%	100,00%
junho	88,04%	91,68%	100,00%	100,00%
julho	85,18%	89,46%	100,00%	100,00%
agosto	75,64%	81,51%	99,96%	99,97%
setembro	71,10%	79,09%	100,00%	100,00%
outubro	79,13%	85,74%	100,00%	100,00%
novembro	88,54%	93,38%	100,00%	100,00%
dezembro	91,25%	95,80%	100,00%	100,00%

O resultado da soma dos valores de todas as orientações e todas as aberturas não identifica os períodos críticos que atingem o módulo simulado. São as porcentagens apresentadas por orientação e por abertura que possibilitam a definição das estratégias para amenizar os problemas com o conforto térmico. Mas conhecer o efeito que cada orientação assinala no modelo estudado ampara

tomadas de decisão que dependam da posição solar, como, por exemplo, a angulação de brises, indicando azimute e altura do Sol nesses períodos.

Considerando-se os resultados obtidos para o inverno, com condições de conforto pra quase 100% das horas tanto para simulações sem sombreamento como para com sombreamento, optou-se para a apresentação de resultados e as correspondentes análises a seguir os dados obtidos apenas para $T_n + 2$.

As tabelas 25 e 26 mostram a porcentagem de horas de conforto e os índices de porcentagem de conforto (iPOC) para as médias anuais por orientação e por porcentagem da razão da área da abertura pela área do piso (PRAP).

Observa-se que para todas as configurações de orientação e porcentagem de abertura há aumento nas horas de conforto com a utilização do sombreamento no modelo simulado. Essa diferença varia desde 0,46% para abertura de 12,5% na fachada sul até 16,01% para abertura de 45% na fachada norte, indicando uma influência maior da proteção solar, neste caso, o sombreamento, no acréscimo da porcentagem de horas de conforto para as fachadas críticas, isto é, as que apresentam menor porcentagem de horas de conforto durante o ano.

Verifica-se também nessas tabelas a diminuição da porcentagem das horas de conforto com o acréscimo na porcentagem da área de abertura, para todas as orientações.

Depreende-se na Tabela 25 que a diminuição nas horas de conforto é maior nas fachadas mais críticas. Na fachada nordeste a diminuição da porcentagem de conforto da abertura de 12,5% para a de 45% é de 32,59%, enquanto que na fachada sul é de 9,73%.

Na Tabela 26 o efeito é semelhante, apesar de das diferenças menos acentuadas. Na fachada nordeste a diminuição da porcentagem de conforto da abertura de 12,5% para a de 45% é de 28,08%, enquanto que na fachada sul é de 6,05%.

Tabela 25 – Porcentagem de horas de conforto e iPOC para Verão (Tn +2) para modelo simulado sem sombreamento.

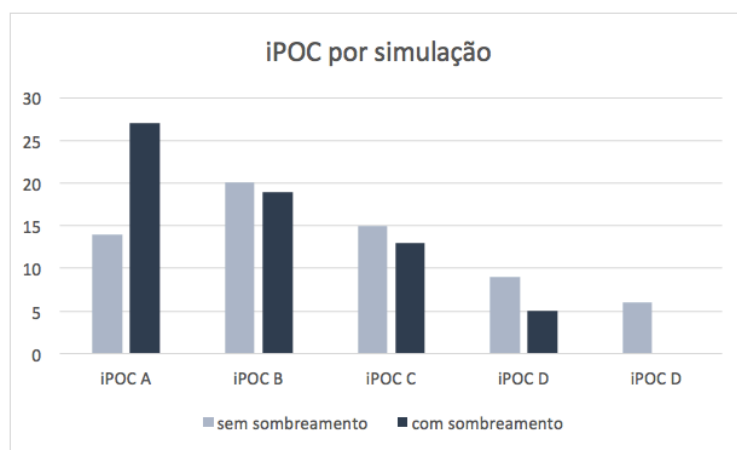
média anual	POC sem sombreamento							
	porcentagem de área de abertura pela área do piso							
orientação	12,5	15	20	25	30	35	40	45
LESTE	90,13%	88,15%	84,34%	80,88%	76,58%	71,50%	67,19%	63,17%
NORDESTE	87,69%	85,45%	80,44%	76,34%	71,33%	66,35%	62,39%	59,12%
NOROESTE	87,35%	86,06%	82,92%	79,61%	75,92%	71,77%	68,86%	65,88%
NORTE	87,33%	85,76%	82,75%	79,84%	75,73%	71,60%	68,17%	64,95%
OESTE	90,98%	89,71%	87,33%	84,23%	80,09%	76,23%	73,23%	70,19%
SUDESTE	96,09%	95,14%	93,09%	90,94%	87,53%	84,01%	81,28%	78,60%
SUDOESTE	96,09%	95,44%	93,91%	92,12%	89,56%	86,86%	84,79%	82,63%
SUL	99,29%	99,05%	98,43%	97,56%	95,91%	93,66%	91,78%	89,63%

Tabela 26 – Porcentagem de horas de conforto e iPOC para Verão (Tn + 2) para modelo simulado com sombreamento.

média anual	POC com sombreamento							
	porcentagem de área de abertura pela área do piso							
orientação	12,5	15	20	25	30	35	40	45
LESTE	94,54%	93,20%	90,09%	86,47%	82,31%	78,55%	75,54%	71,84%
NORDESTE	94,88%	93,07%	88,95%	84,88%	79,29%	74,85%	71,56%	68,24%
NOROESTE	91,86%	90,64%	87,82%	85,60%	82,34%	79,05%	76,62%	74,26%
NORTE	93,96%	92,69%	90,04%	87,55%	84,27%	81,10%	78,26%	75,35%
OESTE	93,51%	92,65%	90,84%	88,53%	85,53%	81,87%	79,46%	76,60%
SUDESTE	98,49%	97,91%	96,42%	94,59%	92,18%	89,67%	87,03%	84,62%
SUDOESTE	97,66%	97,28%	96,10%	94,97%	93,18%	91,11%	89,22%	87,39%
SUL	99,75%	99,63%	99,40%	98,96%	98,07%	96,74%	95,26%	93,72%

O aumento nos valores de porcentagem de horas de conforto reflete diretamente nos iPOCs. A Figura 20 mostra a evolução no conforto do ambiente simulado com a inclusão do sombreamento no modelo. O número de configurações com iPOC A cresce 93% e com iPOC E cai para zero.

Figura 20 – Número de iPOCs por simulação.



Os resultados apresentados nas tabelas 25 e 26 podem também ser compreendidos de forma rápida nos gráficos das Figuras 23 e 24. Na Figura 21 o gráfico indica que apenas com até 15% de área de abertura temos todas as orientações com iPOC A ou B; somente a fachada sul permanece na faixa de A e B com todas as aberturas simuladas; fachadas nordeste, noroeste e norte entram na faixa C antes dos 15% de abertura; fachadas sul, sudeste e sudoeste permanecem dentro da faixa A e B até os 35% de abertura.

Figura 21 – Gráficos com a média anual de horas de conforto, sem sombreamento.

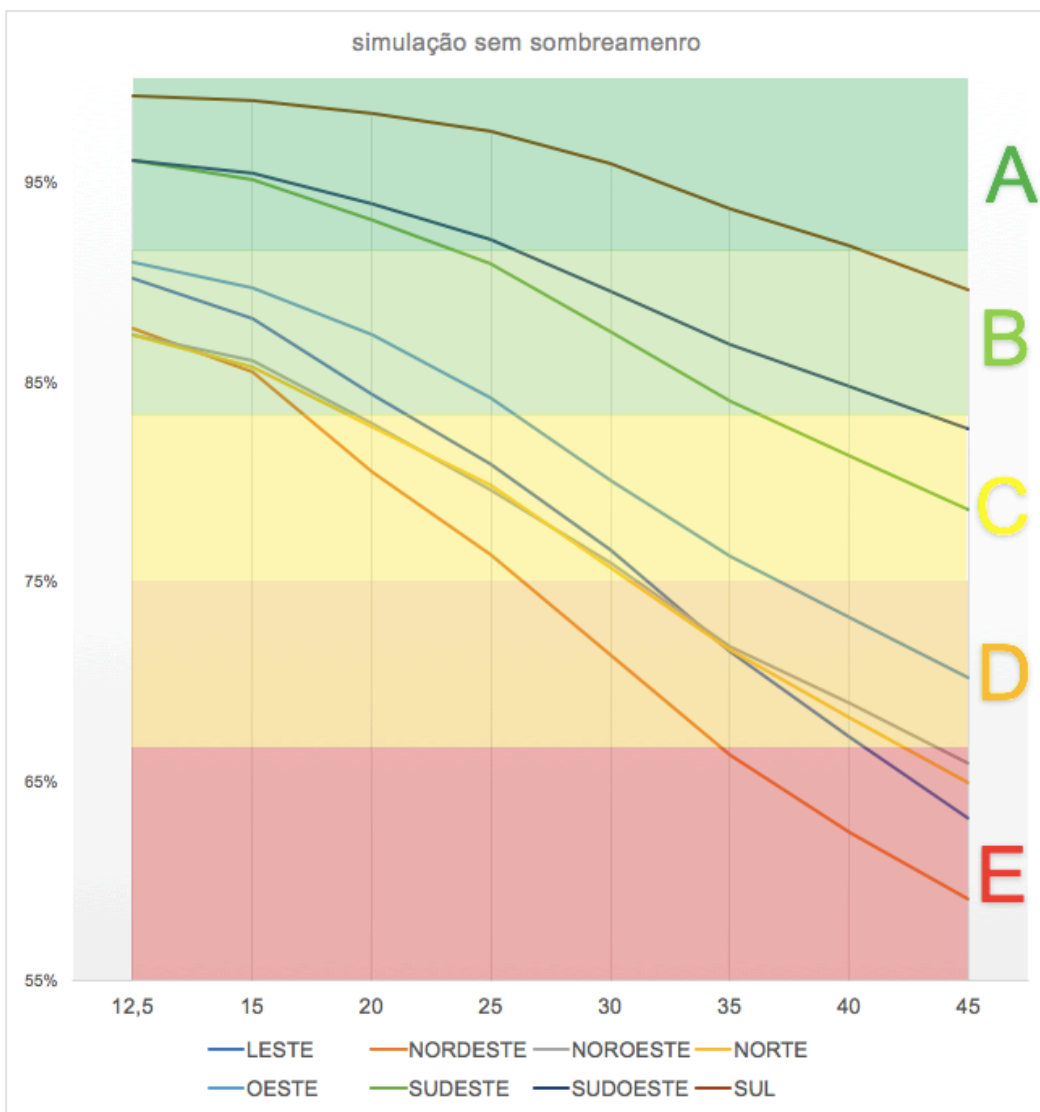
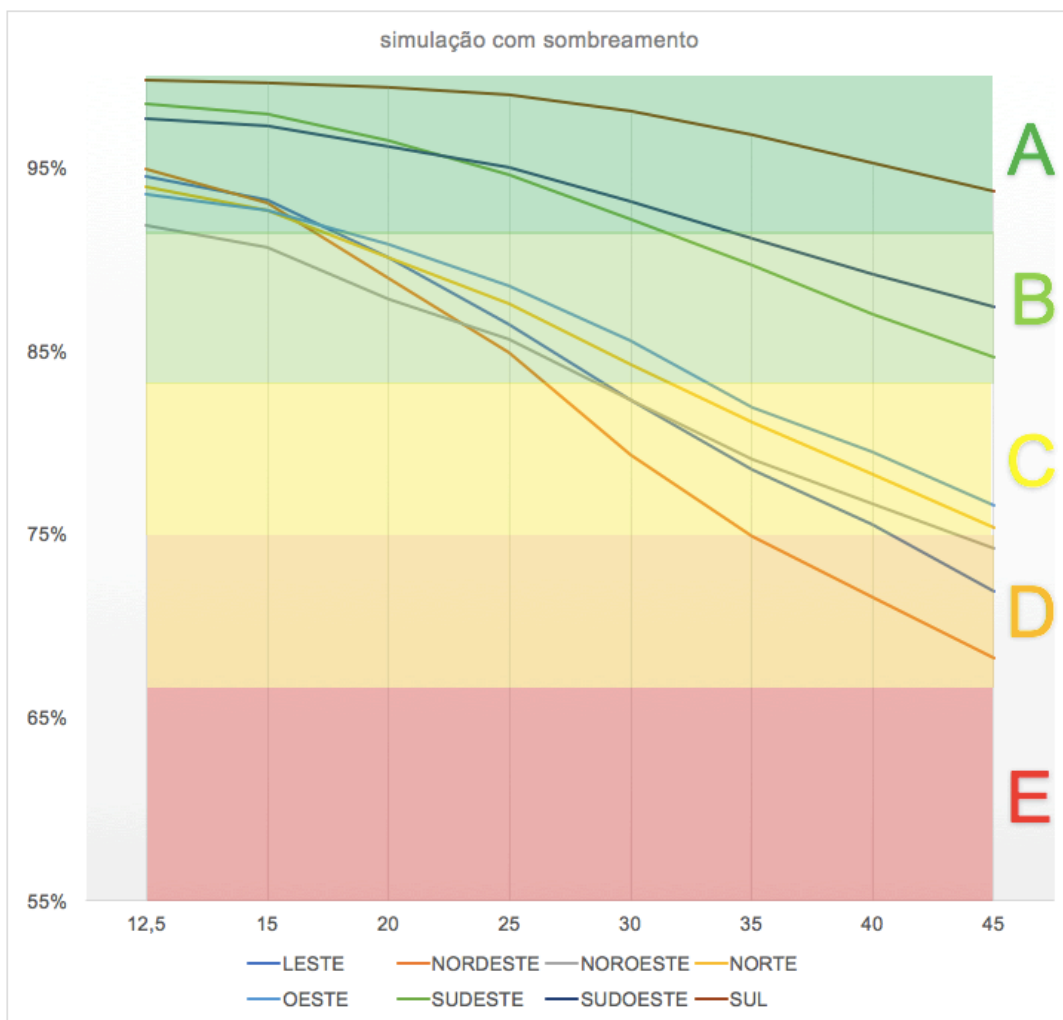


Figura 22 – Gráficos com a média anual de horas de conforto, com sombreamento.



Na figura 22 o gráfico indica que com até 25% de área de abertura temos todas as orientações com iPOC A ou B; fachadas leste, nordeste, noroeste e norte entram na faixa C após 25% de abertura; fachadas sul, sudeste e sudoeste permanecem dentro da faixa A e B com todas as aberturas simuladas.

Independentemente se simulado com ou sem sombreamento a fachada com menor percentual de conforto é a Nordeste com 73,64% de horas de conforto na simulação sem sombreamento e 81,96% na simulação com sombreamento. Nesta última, apenas com porcentagem de abertura de 12,5% e 15% obtém-se iPOC B, e de 35% a 45%, iPOC E.

Por outro lado a fachada sul é a que apresenta resultados com maior porcentagem de horas de conforto, permanecendo dentro da faixa A para todas as porcentagens de abertura na simulação com sombreamento e com até 40% de abertura dentro da mesma faixa na simulação sem sombreamento.

Nos parágrafos a seguir, comentam-se os resultados com as médias mensais, para cada porcentagem de abertura, por orientação. As tabelas encontram-se nos Apêndices I a IV. Constata-se a diminuição das horas de conforto nas duas simulações (sem e com sombreamento) à medida que a porcentagem de abertura cresce. Verifica-se também o efeito positivo, isto é, com o aumento da porcentagem das horas de conforto, quando utilizado sombreamento, nesse caso, o beiral de 50 cm.

Analisando-se a fachada leste (Apêndice I) e considerando-se a média anual, tem-se as aberturas com porcentagem de 12,5%, 15% e 20% indicando condição 'aconselhável', aberturas com 25% e 30% como 'aconselhável com ressalvas' e aberturas com 35% a 45% como 'desaconselhável'. Para estudo de proteção solar deve-se levar em conta, para qualquer porcentagem de abertura o azimute e a altura solar nos meses de fevereiro, setembro e outubro. Estes meses também merecem atenção especial mesmo com o sombreamento, conforme tabela no Apêndice III e para aberturas acima de 30% da área do piso faz-se necessário estudo para uso de proteção solar complementar.

Para a fachada nordeste (Apêndice I), considerando a média anual, tem-se as aberturas com porcentagem de 12,5% e 15% indicando condição 'aconselhável', aberturas com 20% e 25% como 'aconselhável com ressalvas' e aberturas acima de 30% como 'desaconselhável'. Para estudo de proteção solar deve-se levar em conta, para qualquer porcentagem de abertura o azimute e a altura solar nos meses de fevereiro, abril, maio, agosto e setembro. Os meses de agosto e setembro também merecem atenção especial mesmo com o sombreamento, conforme tabela no (Apêndice III), e para aberturas acima de 15% da área do piso faz-se necessário estudo para uso de proteção solar complementar.

Analisando-se a fachada noroeste (Apêndice I) e considerando-se a média anual, tem-se as aberturas com porcentagem de 12,5% e 15% indicando condição

'aconselhável', aberturas com 20% a 30% como 'aconselhável com ressalvas' e aberturas com 35% a 45% como 'desaconselhável'. Para estudo de proteção solar deve-se levar em conta, para qualquer porcentagem de abertura o azimute e a altura solar nos meses de julho a setembro. Estes meses também merecem atenção especial mesmo com sombreamento, conforme tabela no Apêndice III, e para aberturas acima de 30% da área do piso faz-se necessário estudo para uso de proteção solar complementar.

Verificando-se a fachada norte (Apêndice I) e considerando-se a média anual, tem-se as aberturas com porcentagem de 12,5% e 15% indicando condição 'aconselhável', aberturas com 20% e 30% como 'aconselhável com ressalvas' e aberturas com 35% a 45% como 'desaconselhável'. Para estudo de proteção solar deve-se levar em conta, para qualquer porcentagem de abertura o azimute e a altura solar nos meses de abril e setembro. Estes meses também merecem atenção especial mesmo com sombreamento, conforme tabela no Apêndice III, e para aberturas acima de 35% da área do piso faz-se necessário estudo para uso de proteção solar complementar.

Analisando-se a fachada oeste (Apêndice II) e considerando-se a média anual, tem-se as aberturas com porcentagem de 12,5% a 25% indicando condição 'aconselhável', aberturas com 30% e 35% como 'aconselhável com ressalvas' e aberturas com 35% a 45% como 'desaconselhável'. Para estudo de proteção solar deve-se levar em conta, para qualquer porcentagem de abertura o azimute e a altura solar nos meses de fevereiro, setembro e outubro. Estes meses também merecem atenção especial mesmo com sombreamento, conforme tabela no Apêndice IV, e para aberturas acima de 30% da área do piso faz-se necessário estudo para uso de proteção solar complementar.

Apresentam-se na fachada sudeste (Apêndice II), considerando-se a média anual, as aberturas com porcentagem de 12,5% a 35% indicando condição 'aconselhável' e aberturas com 40% e 45% como 'aconselhável com ressalvas'. Para estudo de proteção solar deve-se levar em conta, para qualquer porcentagem de abertura o azimute e a altura solar no mês de fevereiro, que também merecem atenção especial mesmo com sombreamento, conforme tabela no Apêndice IV.

Analisando-se a fachada sudoeste (Apêndice II) e considerando-se a média anual, tem-se as aberturas com porcentagem de 12,5% a 40% indicando condição 'aconselhável' e aberturas com 45% como 'aconselhável com ressalvas'. Para estudo de proteção solar deve-se levar em conta, a partir de 20% de abertura o azimute e a altura solar nos meses de fevereiro. Fevereiro também merecem atenção especial mesmo com sombreamento, conforme tabela no Apêndice IV, e para aberturas acima de 30% da área do piso faz-se necessário estudo para uso de proteção solar complementar nos meses de setembro e outubro.

Na fachada sul (Apêndice II) e considerando-se a média anual, tem-se as todas as porcentagens abertura indicando condição 'aconselhável'. Para estudo de proteção solar deve-se levar em conta, para porcentagem de abertura a partir de 35% no mês de fevereiro, na condição sem sombreamento, o azimute e a altura (Apêndice II). Mês que também merece atenção especial mesmo com sombreamento, conforme Anexo IV, e para aberturas a partir de 40% da área do piso faz-se necessário estudo para uso de proteção solar complementar.

4.3 Apresentação de resultados por meio dos diagramas

O diagrama apresenta a compilação de todos os dados gerados nas simulações. Essa forma de apresentação auxilia a visualização dos dados compilados, agilizando a apreensão das informações.

A intenção dessa ferramenta é contribuir na busca de dados para a concepção de estudos preliminares, guiando o projetista na escolha da correta orientação e na mais adequada área de abertura quanto ao potencial de conforto térmico.

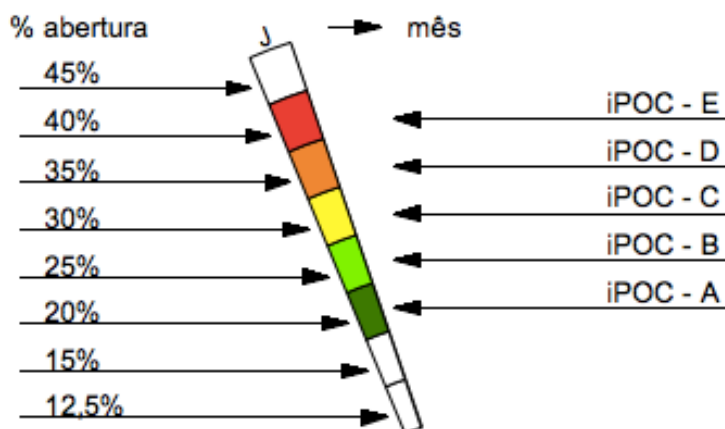
A apresentação do diagrama se dá em uma planta circular com os pontos cardeais e colaterais, tendo a orientação Norte na parte superior do desenho.

Para cada orientação, há 12 divisões, uma para cada mês, que estão indicados em sentido horário. Do centro para a borda, há oito divisões, uma para cada porcentagem de abertura, sendo a primeira com menos área, da menor porcentagem de abertura, 12,5%; e a última, referente a 45%.

Considerando a proposta de uma ferramenta para rápida visualização, os índices (porcentagem de horas de conforto) não são inseridos, mas apenas as cores correspondentes aos iPOCs.

Repete-se aqui, parcialmente, a Figura 14, de forma a facilitar o entendimento das informações contidas no diagrama.

Figura 23 – Legenda para do diagrama.



Observa-se na Figura 24 que os índices dependem tanto das condições climáticas mensais quanto da porcentagem de abertura e da orientação. Para todas as aberturas e orientações, há variação de até dois níveis de iPOC. Tomando como exemplo a fachada Sul, tanto a abertura de 12,5% quanto a de 45% recebem índices A a C, e B a D, respectivamente.

A questão é que as condições climáticas não são controláveis, e, do ponto de vista o projeto, a porcentagem de abertura e a orientação, sim.

Figura 24 – Diagrama da simulação sem sombreamento indicando iPOCs para todo ano (para Verão).

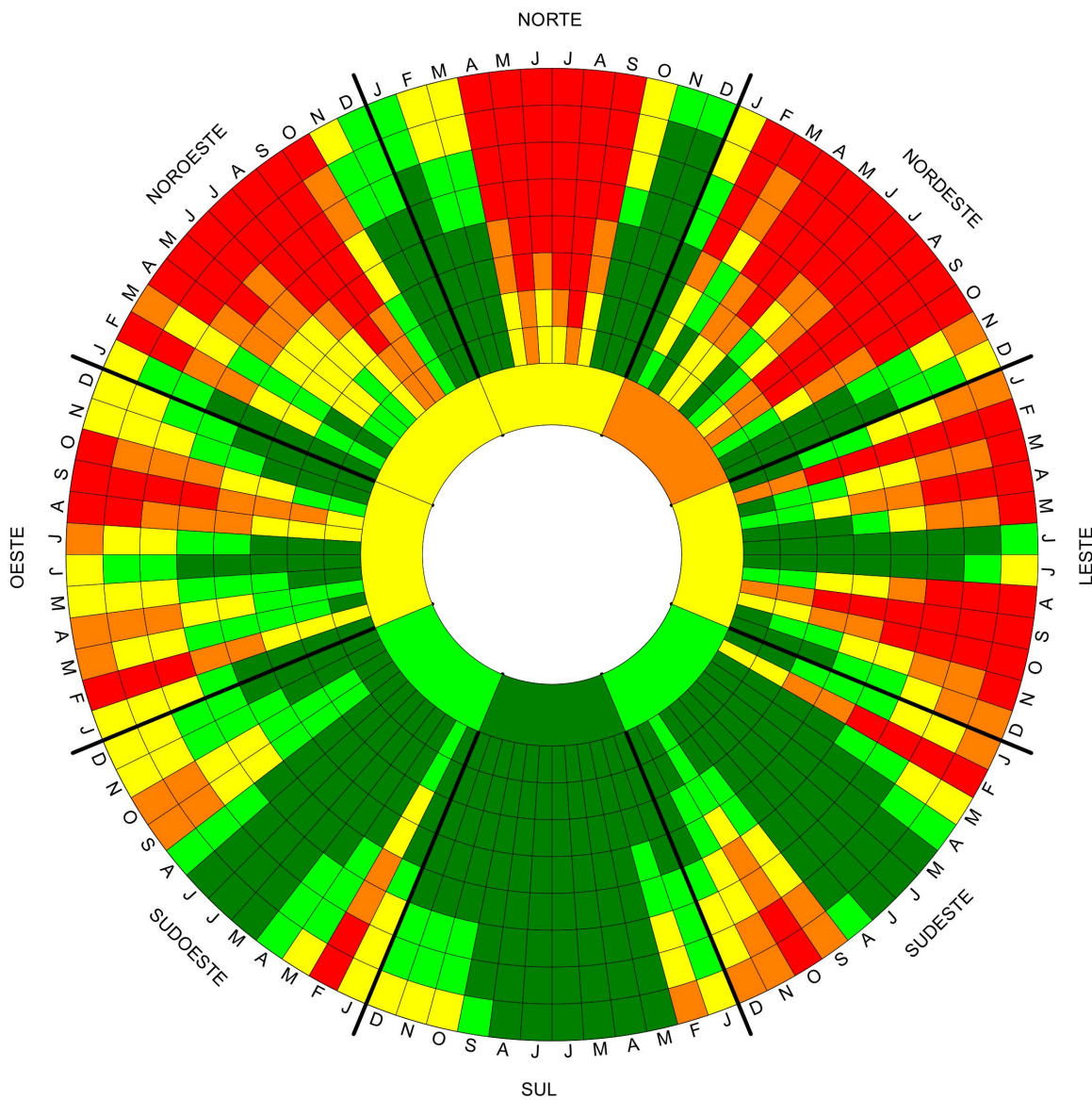
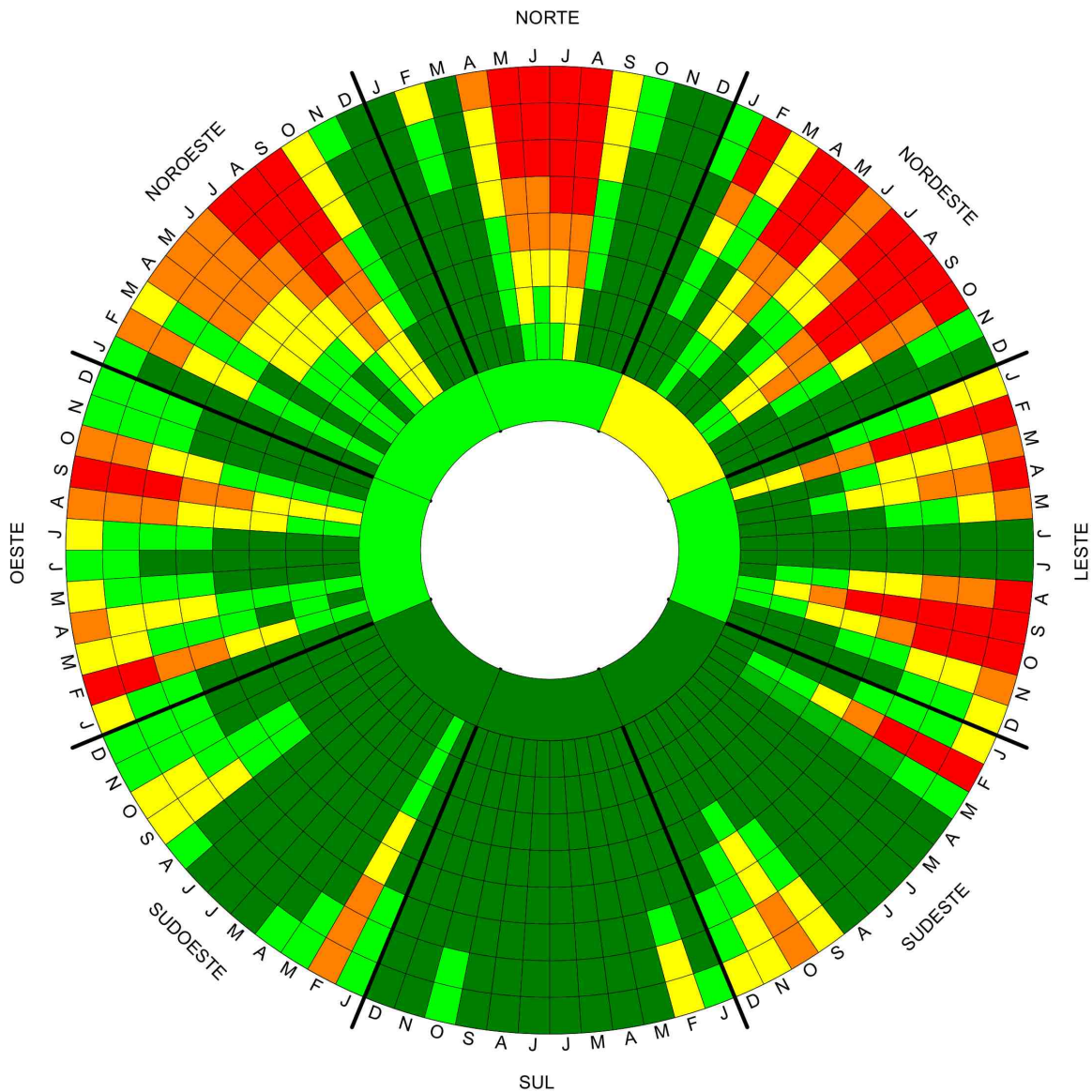


Figura 25 – Diagrama da simulação com sombreamento indicando iPOCs para todo ano (para verão).



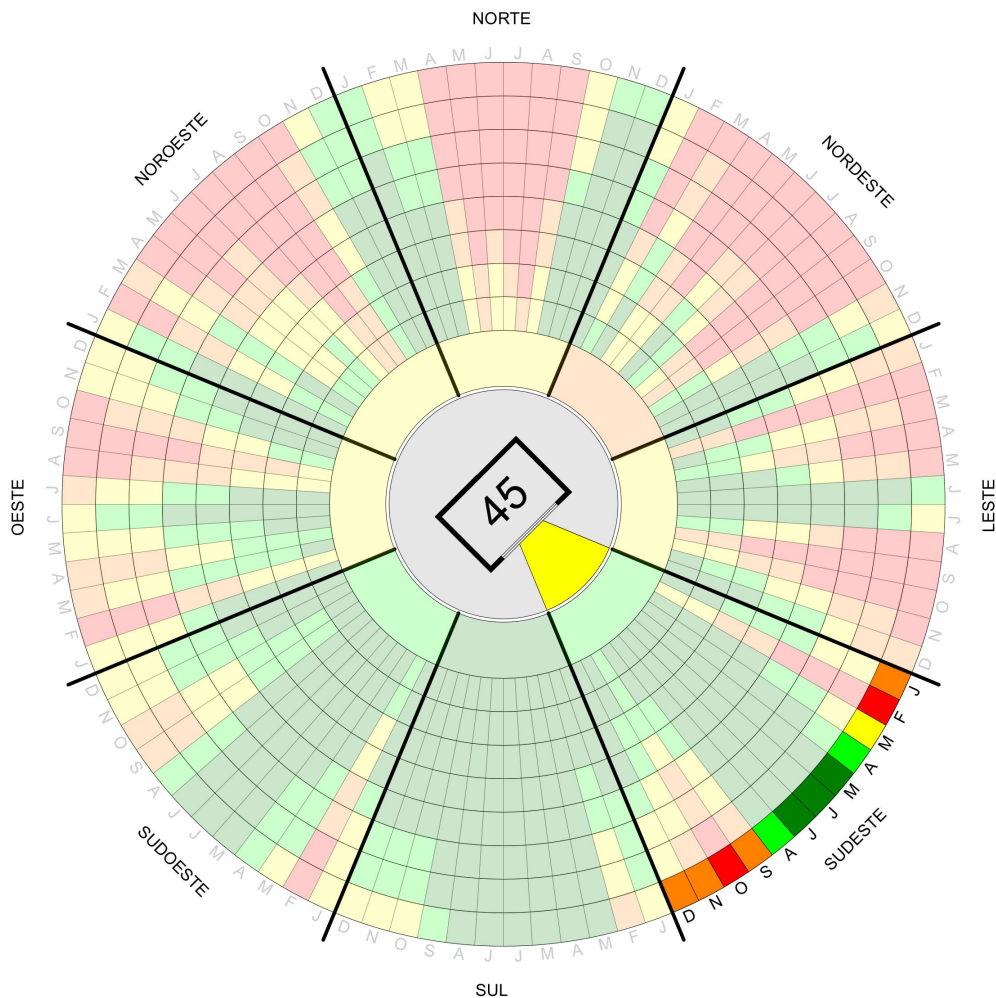
Percebe-se no diagrama da Figura 25 as mesmas características citadas na Figura 24, com diferenças significativas de níveis de conforto ou desconforto para uma mesma orientação ou mesma abertura. Verifica-se, porém, um acréscimo das horas de conforto em razão do sombreamento aplicado às fachadas.

Comprovando-se a necessidade de sombreamento a partir desses resultados, a etapa seguinte durante a elaboração do projeto deve identificar os períodos críticos no ano para definir a estratégia como, por exemplo, a angulação dos brises.

O lançamento inicial do partido no projeto arquitetônico é o momento adequado para verificar a condição de conforto térmico. Utilizando do diagrama, rapidamente verifica-se a etiqueta para a orientação escolhida e tem-se a situação para porcentagens de abertura de 12% a 45%.

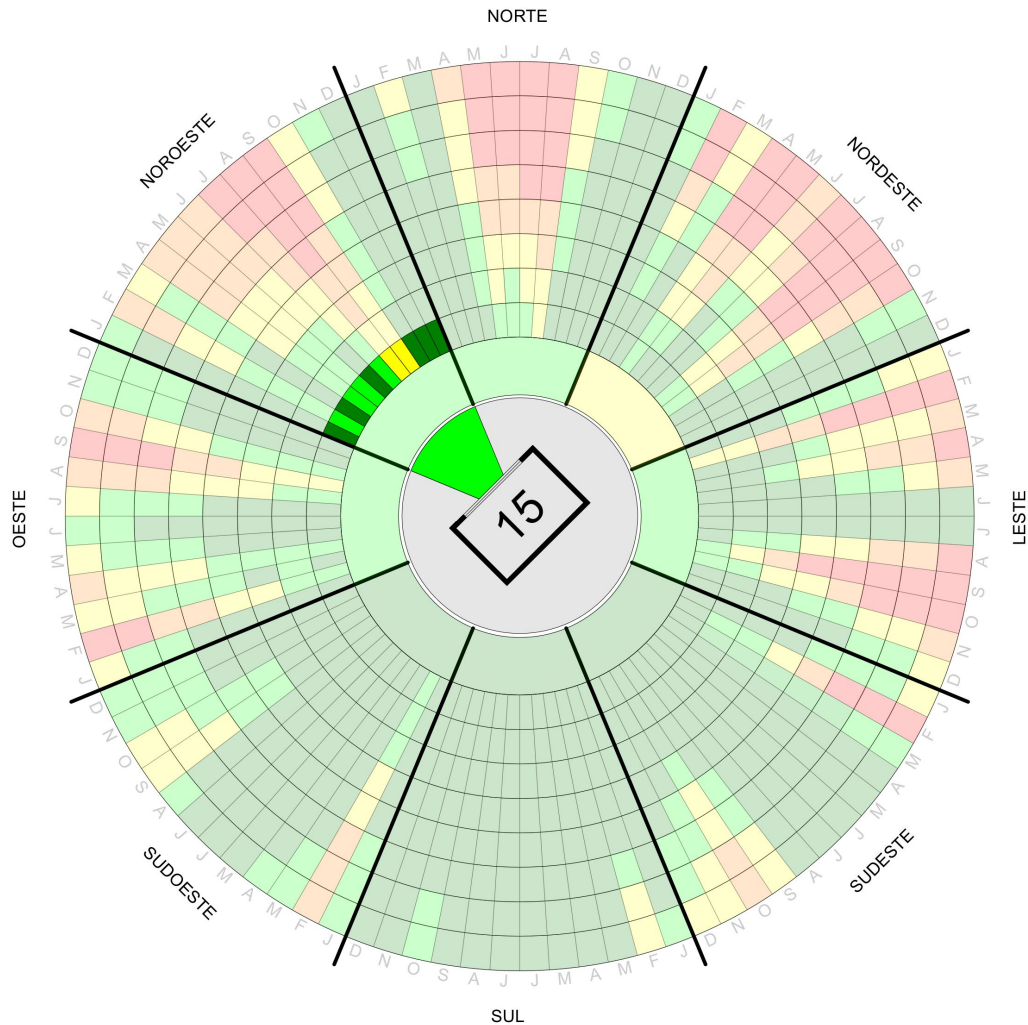
O exemplo da figura 28 apresenta as variáveis: fachada sudeste e abertura em 45%, para simulação sem sombreamento Na figura 29, temos o resultado referente à fachada noroeste, com abertura de 15%, para simulação com sombreamento.

Figura 26 – Diagrama da simulação sem sombreamento indicando iPOCs para abertura de 45% e fachada sudeste.



Observa-se a média anual para a abertura de 45% e orientação sudeste com iPOC C, e respectivas variações durante o ano. É necessária atenção especial, isto é, incremento na proteção solar para os meses de setembro a fevereiro.

Figura 27 – Diagrama da simulação com sombreamento indicando iPOCs para abertura de 15% e fachada noroeste.



Observa-se a média anual para a abertura de 15% e orientação noroeste com iPOC B, e respectivas variações durante o ano. É necessária alguma atenção para os meses de agosto e setembro.

4.4 Painel de diretrizes

Uma ferramenta de apoio constitui-se num documento de consulta a um conjunto de dados. A apresentação desses dados, partindo-se do pressuposto que

deve atender ao maior número de profissionais e, nesse caso, ser útil desde o lançamento inicial do projeto arquitetônico, pretende-se que seja clara, simples e objetiva. Dessa forma, os painéis de diretrizes indicam de maneira imediata a informação necessária.

A legenda indica se a configuração entre abertura e orientação é desaconselhável (azul escuro), se é aconselhável com ressalvas (azul médio), ou se é uma configuração aconselhável (azul clara).

Figura 28 – Painél de diretrizes para modelo simulado sem sombreamento.

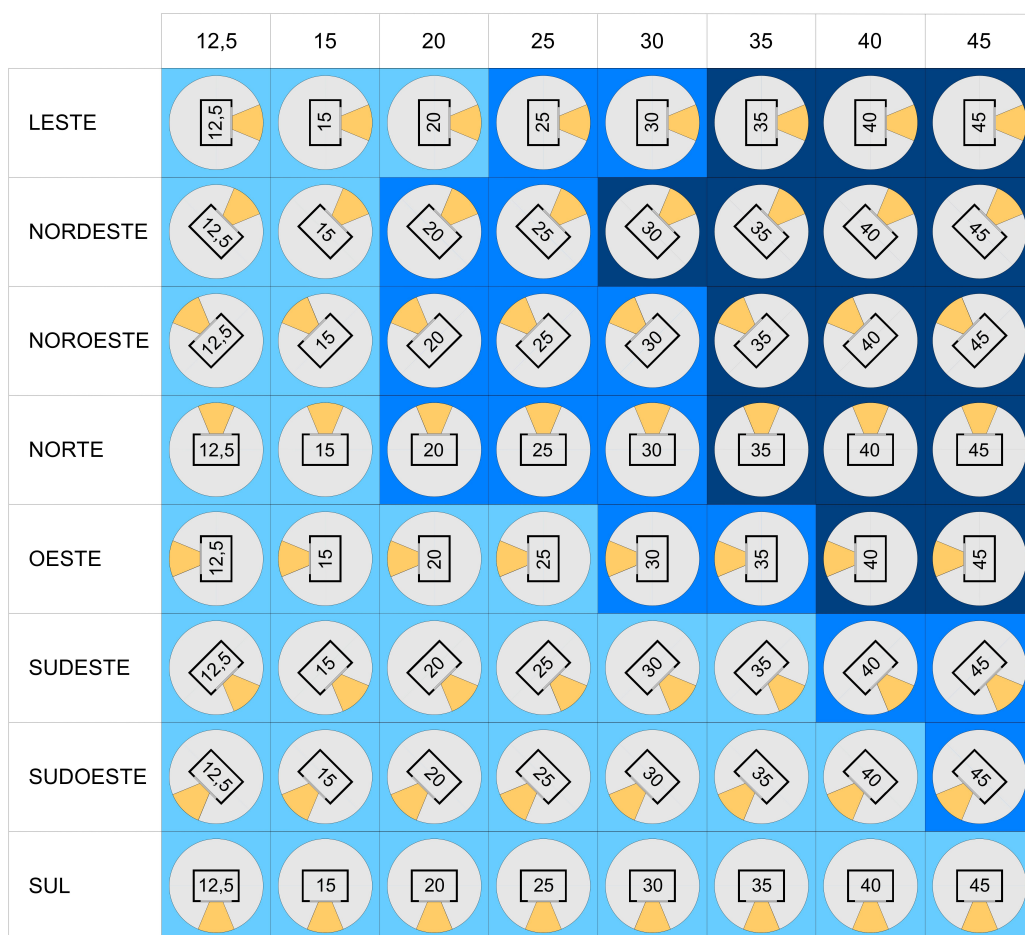
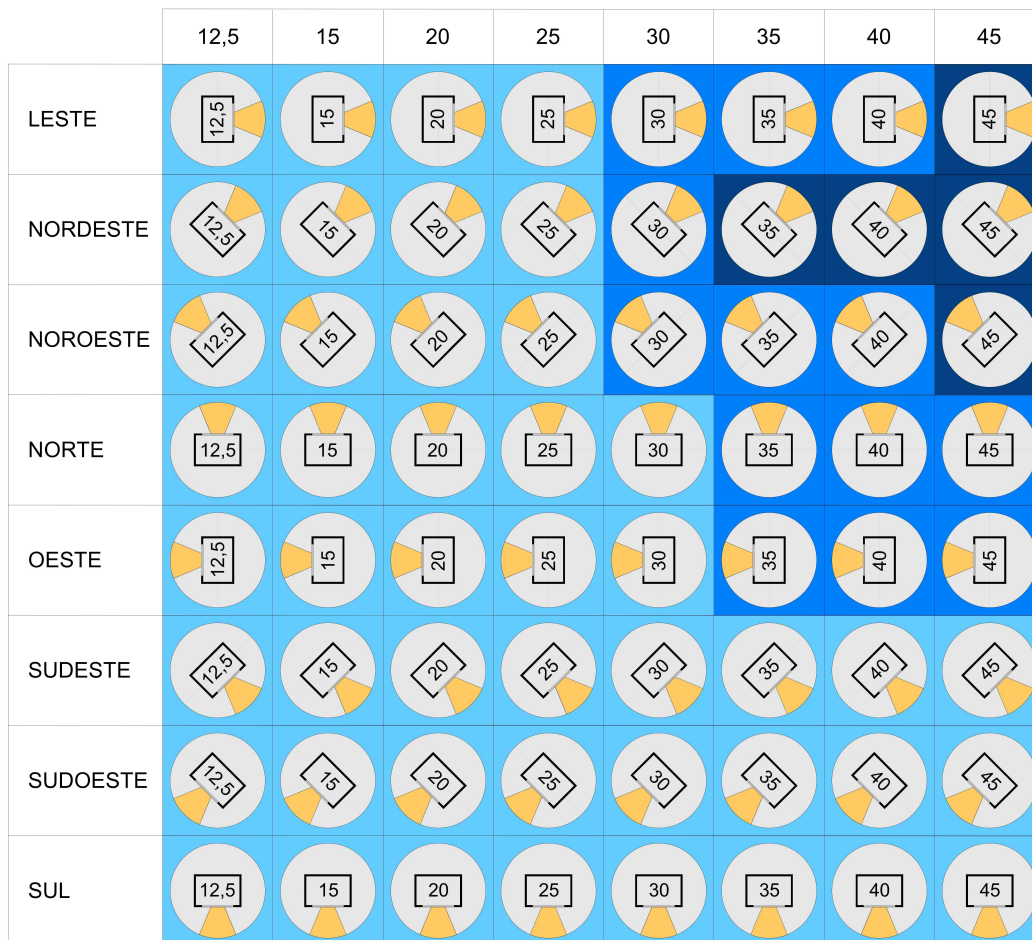


Figura 29 – Painél de diretrizes para modelo simulado com sombreamento.



5 DISCUSSÃO

Este tópico traz a discussão dos resultados apresentados no capítulo anterior. De modo geral, os resultados se apoiam em outras pesquisas apresentadas no referencial teórico desta dissertação, especialmente nos de Ghisi (2002), Bisinotto (2012), e Sales, Akutsu e Brito (2014).

O trabalho de Ghisi (2002) apresenta uma série de tabelas que indicam a AIJ para diversas configurações. Na tabela F.2. dos apêndices daquela Tese encontram-se as fórmulas para as AIJs em Brasília. Apesar das diferenças entre as condições de simulação os resultados alcançados nessa dissertação são coerentes com os obtidos por Ghisi (2002), visto que todas as AIJs, quando comparadas aos números da tabela 28 indicam POC acima de 82%.

Apurou-se também que para todas as orientações, com até 15% de área de abertura tem-se todas as orientações aqui simuladas com iPOC A ou B, resultado que se mostra congruente com o trabalho de Ghisi (2002). Entende-se dessa forma também o uso do arquivo climático ASHRAE-IWEC como sendo válido para estudos na Zona Bioclimática 4.

Importante frisar que as porcentagens de AIJ indicadas apresentam-se em PAF e a tabela 25 indica a correspondente PRAP.

Tabela 27 – Número de iPOCs por simulação.

	área Ideal de Janela para proporção 1;5:1			
orientação	N	L	S	O
fórmula para AIJ	3,15K + 13,02	5,66K + 12,45	6,56K + 17,34	3,60K + 8,41
AIJ para K = 0,8	15,54	16,98	22,59	11,29
PRAP	entre 15% e 20%	aprox. 20%	entre 25% e 30%	entre 12,5% e 15%

Adaptado de GHISI (2002).

O trabalho de Ghisi (2002) resume os índices de área ideal de janela para quatro orientações. Neste sentido, este trabalho avança na demonstração dos

resultados para oito orientações, portanto, orientações como Nordeste e Noroeste possuem potencial desconforto térmico e merecem maior atenção dos projetistas.

Estudando a porcentagem da área de janela no consumo de energia elétrica em residências na cidade de São Carlos, Bisinotto (2012) ratifica a importância da porcentagem da área de abertura no conforto térmico, por meio do consumo energético. Em uma das configurações estudadas por Bisinotto (2012), a variável PAF/Volume apresentou Importância Relativa de 25,75%, reforçando destaque da viabilidade do uso da proporção entre a área da fachada e o volume do ambiente para comparar o consumo de energia (GHISI, TINKER e IBRAHIM, 2005). O modelo estudado nessa dissertação tem K pequeno (0,8), e em razão do seu volume recebe maior influência da área de abertura.

Verificou-se nesse trabalho a diminuição dos níveis de conforto à medida que se aumenta a área de abertura, situação condizente com a encontrada por Sales, Akutsu e Brito (2014), que verificaram o aumento de até 1°C na temperatura interna a cada 5% de acréscimo de área envidraçada, conforme tabelas 25 e 26, aqui representadas nos gráficos das figuras 30 e 31.

Figura 30 – gráfico da porcentagem de horas de conforto com acréscimo da área de abertura, por orientação, para modelo sem sombreamento.

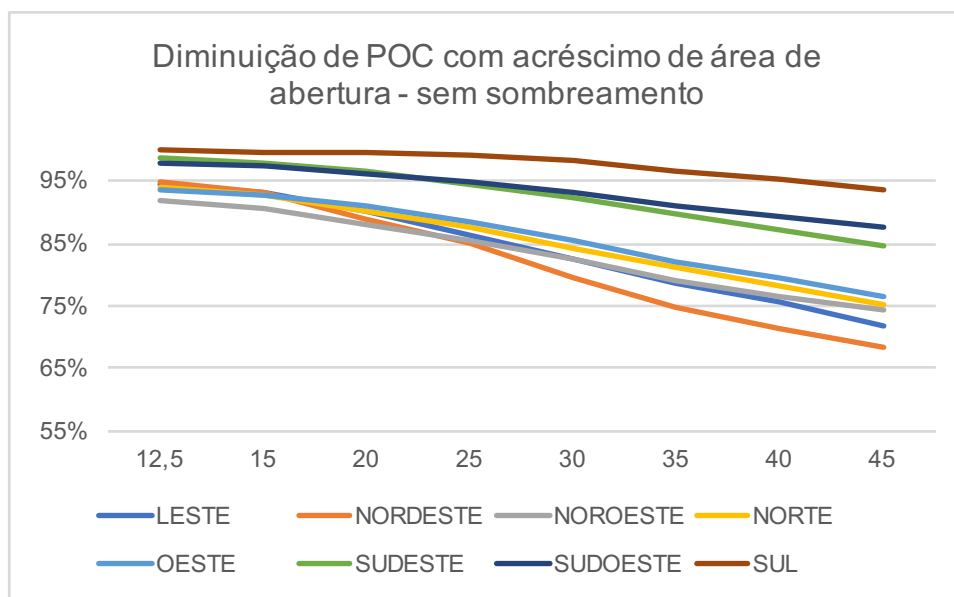
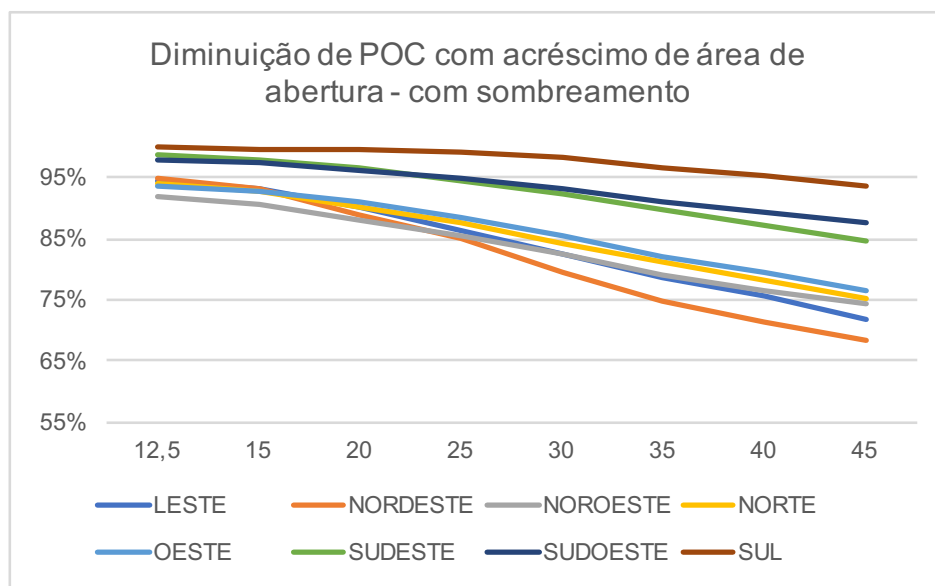


Figura 31 – gráfico da porcentagem de horas de conforto com acréscimo da área de abertura, por orientação, para modelo com sombreamento.



Essa constatação ratifica a ideia de que o método simplificado da ABNT NBR 15575/2013 para Desempenho Térmico pode aprovar condições que não entregam o correspondente desempenho, por avaliar apenas os fechamentos opacos, sem considerar a área de abertura da fachada.

Em relação às normas internacionais, cita-se o Código Técnico Espanhol que especifica critérios com limites de transmitância térmica e permeabilidade das aberturas. O modelo simulado nesse estudo utiliza apenas uma especificação de vidro, e, limitar a transmitância para as áreas envidraçadas poderia ser uma opção a ser incorporada no cálculo prescritivo da Norma de Desempenho Brasileira 15.575.

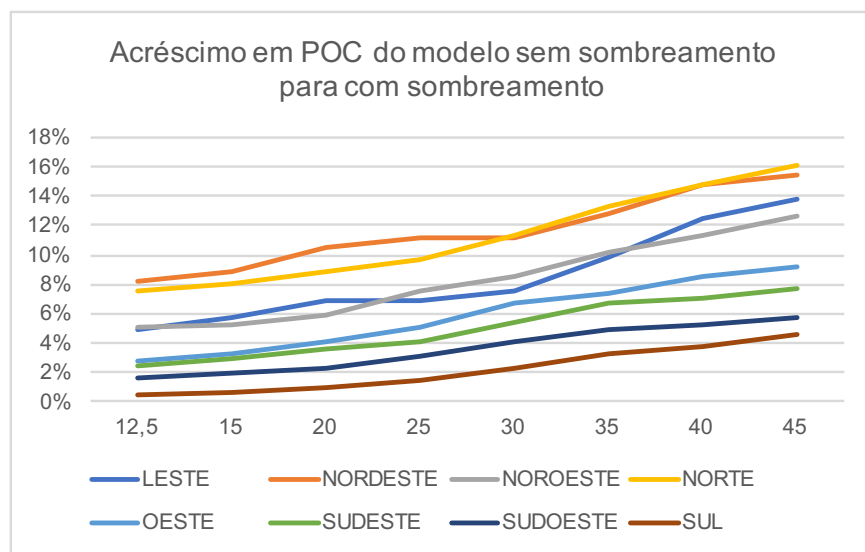
A limitação da porcentagem da área de abertura é uma das condições para obediência ao regulamento que vigora em Portugal. Área de vãos envidraçados menor ou igual a 15% da área útil do pavimento, conforme indica o RTCCE, coincide com o resultado encontrado nessa dissertação para Brasília, nas condições de simulação descritas no capítulo 3 Procedimentos Metodológicos, pois para as 8 orientações estudadas, mesmo sem sombreamento, para aberturas de 12,5% e 15%, resultam em iPOCs A e B, somente, com mais de 83% de horas de conforto no ano, como indicam os dados da tabela 29, que apresenta um trecho da tabela 25.

Tabela 28 – Média anual da porcentagem de horas de conforto e iPOC para modelo sem sombreamento.

	12,5	15
LESTE	90,13%	88,15%
NORDESTE	87,69%	85,45%
NOROESTE	87,35%	86,06%
NORTE	87,33%	85,76%
OESTE	90,98%	89,71%
SUDESTE	96,09%	95,14%
SUDOESTE	96,09%	95,44%
SUL	99,29%	99,05%

Constatou-se também a aumento nas horas de conforto com o incremento do sombreamento no modelo simulado. A figura 32 toma como base os resultados apresentados nas tabelas 25 e 26, e indica a porcentagem no acréscimo de horas de conforto por abertura e por orientação com o uso do sombreamento, tendo como referência o modelo simulado sem proteção solar.

Figura 32 – gráfico do acréscimo da porcentagem de horas de conforto com aumento da área de abertura, por orientação, para modelo com sombreamento.



Por fim, destaca-se a importância da criação de uma nova forma de representação dos resultados, uma vez que o programa de simulação utilizado não traz uma forma clara e direta que permita a interpretação por parte do simulador.

A criação do digrama faz parte do cumprimento do objetivo específico do trabalho em questão e resultou num tipo de apresentação gráfica envolvente e prática, pois além de reproduzir uma série dados de diversas tabelas, informa, de maneira simples, todas as informações nelas inseridas.

6 CONCLUSÃO

Nesse trabalho compreendeu-se a relação entre a área de abertura e o conforto térmico em ambientes residenciais no contexto climático de Brasília. Em linhas gerais, observou-se que para todas configurações de porcentagem de abertura e orientação, tanto com o modelo simulado sem sombreamento quanto com o modelo sombreado, houve diminuição do conforto térmico com o acréscimo de área de abertura.

Cumpriu-se nesse trabalho também a elaboração dos modelos de diagrama e painel para consulta na fase inicial de projetos. A compilação dos dados associada ao uso do método Graus-hora e dos critérios de avaliação para etiquetagem do RTQ-R, refinando a apresentação dos dados, possibilitou amplificar e agilizar o entendimento dos dados obtidos. Nesse sentido, acredita-se que sua utilização resultou em uma metodologia eficaz na visualização dos resultados.

A utilização de tabelas com resultados de simulações e demais informações sobre conforto térmico é pertinente, mas a apresentação desses dados de forma mais amigável, como nos diagramas e painéis elaborados nesse estudo, incluindo cores para identificação dos requisitos, como no RTQ, oferece ao projetista informações descomplicadas e envolventes. As normas, de modo geral, como a Norma de Desempenho, o CTE e o RCCTE, não investem nesse tipo de representação.

A influência da área de abertura no conforto térmico foi confirmada. Reforça-se aqui a necessidade de estudos complementares nessa área, como também, em paralelo, a contínua avaliação das normas voltadas a esse tema.

Os resultados obtidos reiteram o especial cuidado com a envoltória durante a elaboração do projeto, observando-se, além da porcentagem de abertura, a orientação e o clima local.

Brasília apresenta duas estações bem características, um verão chuvoso e um inverno seco, requerendo diferentes estratégias de controle de conforto para mesmas orientação e porcentagem de abertura.

Para a configuração simulada neste trabalho, conforme descrito no capítulo 3, a orientação mais indicada, isto é, com maior porcentagem de horas de conforto é a sul e a que apresenta menor porcentagem de horas de conforto é a nordeste, a que necessita de maiores cuidados com a insolação direta.

Apurou-se também que para todas as orientações, com até 15% de área de abertura tem-se todas as orientações aqui simuladas com iPOC A ou B, resultado que se mostra congruente com o referencial teórico pesquisado. Entende-se dessa forma também o uso do arquivo climático ASHRAE-IWEC como sendo válido para estudos na Zona Bioclimática 4.

A localização de ambientes residenciais pode ser testada, assim como a influência de dimensões variadas de abertura. De forma confiável, tem-se uma previsão dos efeitos da radiação direta e do comportamento da envoltória.

Mais estudos relativos ao conforto térmico no ambiente residencial podem ser elaborados com novas configurações de paredes e coberturas, a fim de contribuir com novas respostas sobre o problema levantado nessa dissertação.

Trabalhos complementares devem servir de apoio especialmente às edificações de baixa renda, para as quais as estratégias de adaptação do envelope às condições climáticas são difíceis do ponto de vista econômico, e necessitam desse apoio técnico por meio da compreensão do problema que, por sua vez, pode contribuir no atendimento às normas.

Alcançados os objetivos de compreensão da influência da área de abertura no conforto térmico, de aplicação do método Graus-hora para verificação dos efeitos dessa variação e da elaboração dos diagramas e painéis, restam recomendações para estudos futuros, a partir das limitações encontradas para execução deste trabalho.

A primeira delas é a simulação de outras composições para as vedações verticais e cobertura, como, por exemplo, o estudo da área envidraçada nas

habitações com sistemas leves afeta o desempenho térmico de modo mais significativo do que nas que são compostas por sistemas pesados.

A segunda, o detalhamento dos resultados, de forma que se identifiquem exatamente os períodos que necessitam de estratégias para amenizar os efeitos do calor.

Recomendam-se também estudos em outros contextos climáticos, de maneira que seja possível identificar qual a melhor forma de elaborar um projeto que corresponda às diretrizes para outras localizações.

Propõe-se também a disponibilização de dados para utilização dos diagramas e ícones desenvolvidos neste trabalho na elaboração de uma ferramenta que reúna informações com outras configurações e zonas bioclimáticas, por exemplo, na forma de uma plataforma acessível a qualquer projetista. Os dois instrumentos, diagrama e ícones, poderiam ser utilizados de forma conjunta, facilitando a interpretação dos resultados.

Por fim, a incorporação de outras variáveis que influenciam o comportamento térmico nos ambientes, como a luz natural e renovação de ar, por exemplo.

A constatação quanto à complexidade do nosso clima, como revelam os resultados deste trabalho, permite concluir que outras estratégias de conforto, além de considerar a área de abertura, devem ser utilizadas em conjunto para controle do conforto térmico.

Verifica-se que existe uma grande preocupação com os problemas que afetam o conforto térmico dos usuários, especialmente no que concerne às soluções arquitetônicas da envoltória, mas que também há um longo caminho pela frente, tanto no que diz respeito à conscientização dos problemas que acarretam o exagerado consumo de energia, à legislação, como no uso de ferramentas de auxílio na solução dessas questões.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. S. C.; AMORIM, C. N. D. Iluminação natural: indicações de profundidade limite de ambientes para iluminação natural no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais RTQ-R. Ambiente Construído. vol.12 no.2 Porto Alegre Apr./June 2012.

ALMEIDA, Ygor Feitas de; REINALDO, Raydel Lorenzo; SILVA, Liliane Flávia Guimarães da. Análise de desempenho térmico de edificações: um estudo de caso na cidade de Palmas, TO. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16, 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). ASHRAE Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2010.

AMORIM, C. N. D. Diagrama Morfológico Parte I: instrumento de análise de projeto ambiental com uso de luz natural. Paranoá Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, Brasília, DF, n. 3, P. 5776, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. Manual de Desempenho – Alvenaria em Blocos de Concreto – Guia para atendimento à norma 15575. 2ª. Revisão. Dezembro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15575-1: edifícios habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15575-4: edifícios habitacionais: desempenho: parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15575-5: edifícios habitacionais: desempenho: parte 5: requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15220: edifícios habitacionais. Rio de Janeiro, 2005.

ATTIA, S.; A Tool for design Decision Making – Zero Energy Residential Buildings in Hot Humid Climates. Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura, de Engenharia Arquitetural e de Urbanismo, LOCI, Universidade Católica de Louvain. Bruxelas, Bélgica, 2012.

AZARNEJAD, A.; A. MAHDAVI. Building façades' visual reflectance and surface temperatures: a field study. IBPC, Viena, 2015.

BISONOTTO, S. L. A Influência da porcentagem da área de janela no consumo de energia elétrica em residências na cidade de São Carlos – SP. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. São Carlos, SP, 2012.

BITTENCOURT, L. Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos. 4a. edição/ revisão e ampliação. Maceió: Edufal, 2004, P. 18

BOYCE, P.; HUNTER, C.; HOMLETT, O. The Benefits of daylight through windows. Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute. New York, 2003.

BRAGA, D. K.; AMORIM, C. N. D.; Conforto Térmico em edifícios residenciais no Plano Piloto de Brasília. In: I Conferência Latino Americana de Construção Sustentável X ENTAC, São Paulo, 2004.

BRAGA, D. K. Arquitetura residencial das superquadras do Plano Piloto de Brasília: aspectos de conforto térmico. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Brasília, 2005.

BRITO, A. C.; Akutsu, M.; Vittorino, F. V.; Aquilino, M. M. Contribuições para o aprimoramento da NBR 15.575 referente ao método simplificado de avaliação de desempenho térmico de edifícios. In Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC 2012.

BRITO, A. C.; et al.. Proposta de Procedimentos para Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações (NBR 15575 e SiNAT) – Método Simplificado. In Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC, 2017 Porto Alegre, v. 1, p. 147-64.

BOMLEY, M. Degree-days - Understanding Heating and Cooling Degree Days. Disponível em < <http://www.degree-days.net/introduction>>. Acesso em 08 de março de 2018.

BUILDING RATING. Disponível em <<http://buildingrating.org/jurisdictions>>. Acesso em 14 de março de 2017.

BUTERA, F. M. Da Caverna à Casa Ecológica: História do Conforto e da energia. São Paulo: Nova Técnica, 2009.

CAMELO S.; et al.. RCCTE - REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS. Manual de apoio à aplicação do RCCTE. Lisboa: Ineti, 2006.

CAVALCANTE, R. C. D.; Simulação energética para análise da arquitetura de edifícios de escritório além da comprovação de conformidade com códigos de desempenho. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. São Paulo, 2010.

CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO.
Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CHVATAL, K. M. S. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 119-134, out./dez. 2014.

CIBWORLD. Disponível em <http://www.cibworld.nl/site/about_cib/index.html>. Acesso 07 de fevereiro de 2017.

CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN - CTE. España, 2006.
Disponível em <<http://www.codigotecnico.org>>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2017.

COLE, E. (Org.) História Ilustrada da Arquitetura. São Paulo: Publifolha, 2013.

CORBELLA, O; YANNAS, S. Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental. 2^a. edição e ampliação. Rio de Janeiro. 2009.

DIAS, E. A. O desempenho térmico de uma cobertura verde em simulações computacionais em três cidades brasileiras. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, SC, 2016.

DIAS CARDOSO, M. R; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Caracterização da temperatura do ar no estado de Goiás e no Distrito Federal. Revista Brasileira de Climatologia, Ano 8, volume 11, julho/dezembro 2012.

DOGGETT, M. S.; Disponível em <<https://builtenv.wordpress.com/2014/02/27/climate-data-for-building-simulations/>> Acesso em 26 de janeiro de 2018.

DURMAYAZ, A.; KADIOGLU, M.; SEN, Z. An application of the degree-hours method to estimate the residential heating energy requirement and fuel consumption in Istanbul. Energy Systems Conference. 2000.

EMBRAPA - <<http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>> Acesso em 14 de fevereiro de 2018.

FABRÍCIO, M. M.; BRITO, A. C.; VITTORINO, F. Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: Conforto Ambiental, Durabilidade e Pós-Ocupação. Porto Alegre. ANTAC, 2017.

FREITAS, J. M. R. ; LEITZKE, R. K.; GIOIELLI, B. I.; CUNHA, E. G. Análise do impacto de pontes térmicas no consume de energia em edificações residenciais nas zonas bioclimáticas 1, 2 e 3. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

FROTA, A. B.; SCHIEFFER, S. R. Manual do Conforto Térmico: Arquitetura e Urbanismo. São Paulo: Nobel, 1988.

FROTA, A. B.; SCHIEFFER, S. R. Manual do Conforto Térmico: Arquitetura e Urbanismo. 7ª edição. São Paulo: Nobel, 2003.

GHISI, E.; TINKER, J. A.; IBRAHIM, S. H. Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 81-93, out./dez. 2005.

GHISI, E.; The use of fibre optics on energy efficient lighting in buildings. PhD Tesis. University of Leeds. School of Civil Engineering. Lees, UK, 2002.

GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. Edifício Ambiental. São Paulo. Oficina de Textos, 2015.

GOULART, S. V. G.; Dados Climáticos para avaliação de desempenho térmico em Florianópolis. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 1993.

GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras. 2ª. Edição, Florianópolis, SC, 1998.

GRANDINSKI, P. Da obrigatoriedade do uso das normas técnicas. Disponível em <[http://blogs.pini.com.br/posts/normas-tecnicas-pericias/\[40\]-da-obrigatoriedade-do-uso-das-normas-tecnicas-parte-346424-1.aspx](http://blogs.pini.com.br/posts/normas-tecnicas-pericias/[40]-da-obrigatoriedade-do-uso-das-normas-tecnicas-parte-346424-1.aspx)>. Acesso em 27 de dezembro de 2016.

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN - IRAM. IRAM 11605 – Acondicionamiento térmico de edificios: condiciones de habitabilidade en edificios: valores máximos de transmitancia térmica encerramientos opacos, Buenos Aires, 1996.

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN - IRAM.
IRAM 11603 – Acondicionamiento térmico de edificios: clasificación bioambiental de la Republica Argentina, Buenos Aires, 2012.

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN - IRAM.
Disponível em <<http://www.iram.org.ar/>> . Acesso em Brasília, 08 de fevereiro de 2017.

HAMZA, N. A. The performance of double skin facades in office building refurbishment in hot arid areas. PhD Thesis. Newcastle University. School of Architecture, Planning and Landscape. Newcastle, UK, 2004.

JONSSON, A.; ROOS, A. Evaluation of control strategies for different smart window combinations using computer simulations. Solar Energy 84: 1-9.

KADIOGLU, M.; SEN, Z. Degree-Day Formulations and Application in Turkey. Journal of Applied Meteorology, v. 38 p. 837 - 846, Istanbul, Turkey, 1998.

KERN, A. P.; Silva A.; Kasmierczak C. S. O processo de Implantação de Normas de Desempenho na Construção: Um Comparativo entre Espanha (CTE) e Brasil (NBR 15.575/2013). Gestão e Tecnologia de Projetos. São Paulo, v. 9, n. 1, p. 89-101.jan/jun. 2014. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v9i1.89989>

KRÜGER, E. L. & LAMBERTS, R.; “Avaliação de Desempenho Térmico de Casas Populares”; ENTAC 2000, VIII Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, Salvador, 2000.

LABEEE - Anexo Geral V – Catálogo de Propriedades Térmicas de paredes, coberturas e vidros da Portaria Inmetro 50/2013. Disponível em <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/AnexoV-RAC-CatalogoPropriedadesTermicas_v08JUN2015__0.pdf>. Acesso em 05 de junho de 2017.

LABEEE – Simulação termoenergética de edificações. Disponível em <<http://www.labeee.ufsc.br/linhas-de-pesquisa/simulacao-termo-energetica-de-edificacoes>>. Acesso em 22 de fevereiro de 2017.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R.; Eficiência Energética na Arquitetura. 3^a. Edição. Florianópolis. Eletrobrás/Procel. 2014.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; RAMOS, G. Impactos da Adequação Climática Sobre a Eficiência Energética e o Conforto Térmico de Edifícios de Escritórios no Brasil. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, SC, 2006.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A.; GOULART, S.; VECCHI, R. Conforto e Stress Térmico. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, SC, 2016.

MARINOSKI, D. L.; GUTHS, S.; PEREIRA, F. O. R.; LAMBERTS, R.; Aperfeiçoamento de um sistema de medição de ganho de calor através de aberturas. ENCAC, Maceió, 2005.

MASCARÓ, L. Energia na edificação. 2ª edição, São Paulo, Projeto. 1991

MAZZAFERRO, L. Análise das recomendações da ASHRAE Standasr 90.1 para a envoltória de edificações comerciais. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Gaduação em Engenharia Civil. Florianópolis, SC, 2015.

MENDES, N.; Westphal, F. S.; Lamberts, R.; Cunha Neto, J. A. B. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 47-68, out./dez. 2005.

MITIDIERI, F; Helene, P. R. L. Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações: proposições específicas à avaliação de desempenho estrutural. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, departamento de Engenharia da Construção Civil. São Paulo. EPUSP. 1998.

MORAR DE OUTRAS MANEIRAS. Disponível em <http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/04_revistas/04rev_1960.htm>. Acesso em 07 de fevereiro de 2017.

MONTEIRO, C. A. F.; Notas para o Estudo do Clima do Centro-Oeste Brasileiro. Revista Brasileira de Geografia. Jan-Mar, 1951.

MONTEIRO, V. S, *et al.* Estudo do percentual de área de janela em edificações brasileiras durante os séculos XIX e XX. OCULUM ENSAIOS 16. Campinas, p.82-95, Julho/Dezembro, 2012.

NASCIMENTO, R. L. Política de Eficiência Energética no Brasil Consultoria Legislativa, 2015.

NICO-RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E.; PIDERIT, M. B.; RODRIGUES, A. M.; A evolução da janela e sua interferência em ambientes de edificações multifamiliares. Encontro Latino-Americano e Europeu sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Guimarães, Portugal: EURO-ELECS, 2015.

NETTO, G. R.; Czajkowski, J. D. Comparação entre normas de desempenho térmico de edificações da Argentina e do Brasil. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 1, jan./mar. 2016.

OGURA, M.; AKUTSU, M.; LOPES, D. Análise da influência das janelas no desempenho térmico da edificação. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E SUA APLICAÇÃO ÀS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL, 1981, São Paulo. Anais... São Paulo: IPT, 1981. p. 543 - 551.

OLGYAY, V. Arquitectura Y Clima – Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

OLIVEIRA, Wagner Costa; CUNHA, Eduardo Grala da. Uso da simulação computacional na gestão pública como ferramenta auxiliar para contratação de tarifas de energia elétrica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

PAULUZZI – Norma de Desempenho. Disponível em <<http://www.pauluzzi.com.br/norma-nbr-15575-norma-de-desempenho.php>>. Acesso em 07 de fevereiro de 2017.

PASA, C. M. U.; PASA, L. A.; JUNIOR, A. B.; SOUZA, S. N. M. Avaliação da eficiência em edificações e sua relação com os materiais construtivos empregados. Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v.12, n. 1, p. 229-247, jan./mar. 2012

PEREIRA, I.; ASSIS, E.; Avaliação de modelos de índices adaptativos para o uso no projeto arquitetônico bioclimático. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 31-51, jan./mar. 2010.

PEREIRA, I.; FERREIRA, C. Avaliação dos impactos da ABNT NBR 15557 no conforto térmico e no consumo de energias nas novas edificações habitacionais brasileiras. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Maceió, AL: ANTAC, 2014.

POIRAZIS, H.; Blomsterberg, A. Energy and thermal analysis of glazed office buildings using a dynamic energy simulation tool. IBPSA Conference, Montréal, Canada, 2005.

PROJETEEE – <http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=DF+-+Bras%C3%ADlia&id_cidade=bra_df_brasilia-kubitschek.intl.ap.833780_try.1962>. Acesso em 21 de janeiro de 2018.

REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS – RCCTE. Decreto Lei n. 80/2006, de 4 de abril. Portugal, 2006. Disponível em <[http://www. Rccte.com](http://www.Rccte.com)>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2017, às 12:35h.

RORIZ, M. Flutuações horárias dos limites de conforto térmico: uma hipótese de modelo adaptativo. *In* Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENCAC 2003.

RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Manual RTQ-R. Portaria 18.2012.

SALES, E. M.; BRITO, A.; AKUSUTO, M. Efeitos de variações no projeto de arquitetura de uma habitação no seu desempenho térmico. *In* Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC 2014.

SANTANA, M. V. Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis – SC. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2006.

SANTOS, J. P.; RORIZ, M. Influência do ângulo de incidência nos ganhos de calor solar através de materiais transparentes. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 12, n. 1, jan./mar. 2012.

SCHAEFER, A.; SILVA, A. S.; ALMEIDA, L. S. S.; BALVEDI, B.; GHISI, E. A influência da absorvância solar no desempenho térmico de habitações populares. *In* Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC 2014.

SHELLER, C.; MELO, A. P.; SORGATO, M.; LAMBERTS, R. Análise de arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações. Universidade federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Departamento de Engenharia Civil. Disponível em <www.labeee.ufsc.br>. Acesso em 20 de janeiro de 2018.

SINGH, M.C.; GARG, S.N. Energy rating of diferente glazings for Indian climates. *Energy*, v.34, p.1986-1992, 2009.

SILVA, A. S.; ALMEIDA, L. S. S.; SCHAEFER, A.; BALVEDI, B.; GHISI, E. Análise da variância em simulação computacional do desempenho térmico de habitações unifamiliares. *In* Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC 2014.

SILVA, P.C.P. Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação em VisualDOE. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Braga, Portugal, 2006.

SILVA, P. M. A. Aplicação do Programa Energy Plus como Ferramenta do Projeto de Comportamento Térmico de Edifícios de Habitação. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto, Portugal, 2009.

SILVA, V.A.M. Influência da cobertura do céu na estimativa da Radiação Solar utilizando modelo digital de elevação. 2011. 73 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

SORGATO, M. J. Desempenho Térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2009.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Análise comparativa entre os resultados de simulações termoenergéticas de edificações sob diferentes condições de entrada das propriedades dos vidros. In Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC 2014.

SORGATO, M. J. A Influência do Comportamento do Usuário no Desempenho Térmico e Energético de Edificações Residenciais. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2015.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. 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.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575. Paranoá, Brasília, no 12, p. 13-22, 2014.

SOUSA, A. P. Levantamento de Patologias em Obras Residenciais de Baixa Renda devido à Ausência de Controle Tecnológico de Materiais. Rio de Janeiro, 2014. Dissertação de Mestrado – Departamento de Construção Civil – Curso de Engenharia Civil – Escola Politécnica – Universidade do Rio de Janeiro.

SOUTO, L. Análise variância e teste Tukey.2015. Vídeo Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=bwNy9wytweg&feature=youtu.be>>. Acesso em 15 de março de 2018.

VALÉRIO, G. M. A. P; Avaliação do impacte das pontes térmicas no desempenho térmico e energético de edifícios residenciais correntes. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2007.

VENDRAMIN, A. L.; Método Graus-dia para avaliação do desempenho energético de uma edificação unifamiliar em diferentes condições climáticas. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Cascavel, 2007.

VIEIRA. M. J. F. A. Técnicas Construtivas ambientalmente adequadas. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2008.

VITRÚVIUS. Disponível em <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/13.145/4390>. Acesso em 16 de fevereiro de 2017.

ZANONI, V. A. G. Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico da fachadas em Brasília. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Brasília, 2015.

APÊNDICE I – Tabelas com POC mensal por orientação, sem sombreamento.

orientação	POC com sombreamento									
	porcentagem de área de abertura pela área do piso									
	meses	12,5	15	20	25	30	35	40	45	
LESTE										
janeiro	96,77%	95,70%	94,22%	91,67%	88,31%	85,08%	81,59%	79,03%		
fevereiro	81,55%	78,42%	73,21%	67,71%	61,90%	56,25%	53,13%	48,21%		
março	97,04%	95,30%	92,07%	89,11%	83,20%	80,11%	77,02%	73,25%		
abril	97,01%	96,39%	91,11%	81,53%	75,56%	70,83%	67,22%	65,14%		
maio	100,00%	100,00%	99,60%	96,77%	90,59%	84,41%	79,84%	74,60%		
junho	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	98,75%		
julho	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,06%	93,68%		
agosto	93,01%	91,13%	87,63%	83,06%	78,36%	75,00%	71,64%	66,67%		
setembro	86,11%	83,33%	73,19%	66,81%	60,28%	54,58%	51,94%	49,03%		
outubro	87,77%	85,08%	80,51%	75,54%	70,56%	66,26%	62,90%	59,95%		
novembro	95,42%	94,58%	92,08%	89,44%	85,28%	80,56%	77,50%	73,61%		
dezembro	99,06%	98,52%	97,45%	95,97%	93,68%	89,52%	84,68%	80,11%		
Média	94,54%	93,20%	90,09%	86,47%	82,31%	78,55%	75,54%	71,84%		84,07%
NORDESTE										
janeiro	98,92%	98,79%	97,31%	96,64%	94,89%	92,47%	90,19%	86,96%		
fevereiro	94,49%	93,30%	88,84%	83,63%	75,74%	69,94%	65,77%	62,35%		
março	98,39%	97,18%	95,56%	92,88%	88,17%	83,47%	80,24%	76,75%		
abril	90,97%	87,92%	81,53%	75,69%	70,56%	66,81%	64,44%	61,11%		
maio	91,94%	88,84%	79,44%	74,06%	68,28%	63,44%	60,22%	56,99%		
junho	100,00%	100,00%	96,67%	90,14%	82,50%	75,42%	70,97%	67,22%		
julho	99,60%	97,18%	90,99%	84,14%	76,48%	71,10%	66,13%	61,69%		
agosto	84,01%	81,45%	77,82%	71,24%	62,10%	55,91%	52,55%	50,27%		
setembro	85,28%	79,44%	72,22%	67,64%	59,58%	55,14%	51,94%	49,17%		
outubro	95,56%	93,82%	88,71%	85,48%	78,76%	73,66%	70,03%	65,99%		
novembro	99,44%	98,89%	98,47%	97,50%	95,83%	93,61%	91,11%	88,19%		
dezembro	100,00%	100,00%	99,87%	99,46%	98,52%	97,18%	95,16%	92,20%		
Média	94,88%	93,07%	88,95%	84,88%	79,29%	74,85%	71,56%	68,24%		81,96%
NOROESTE										
janeiro	98,79%	98,66%	97,98%	97,04%	95,03%	93,68%	91,80%	88,71%		
fevereiro	91,37%	90,33%	88,10%	84,97%	80,80%	76,79%	73,51%	71,58%		
março	94,89%	94,09%	92,88%	91,80%	89,38%	86,02%	83,87%	80,78%		
abril	88,61%	87,22%	84,44%	82,22%	78,75%	74,58%	73,19%	70,69%		
maio	90,19%	88,58%	85,62%	82,80%	79,17%	75,00%	72,18%	68,95%		
junho	94,31%	92,22%	86,25%	82,36%	77,78%	74,44%	71,39%	70,56%		
julho	89,92%	88,04%	81,72%	78,23%	72,98%	68,68%	65,86%	63,31%		
agosto	79,30%	77,15%	72,72%	69,22%	65,73%	62,23%	59,68%	57,12%		
setembro	81,39%	79,58%	75,28%	72,78%	68,75%	65,56%	62,78%	60,28%		
outubro	94,22%	92,61%	90,19%	87,90%	84,14%	80,11%	77,42%	75,54%		
novembro	99,31%	99,17%	98,61%	98,33%	97,08%	94,31%	92,78%	90,00%		
dezembro	100,00%	100,00%	100,00%	99,60%	98,52%	97,18%	95,03%	93,55%		
Média	91,86%	90,64%	87,82%	85,60%	82,34%	79,05%	76,62%	74,26%		83,52%
NORTE										
janeiro	99,60%	99,60%	98,92%	97,98%	97,04%	95,30%	93,95%	92,20%		
fevereiro	98,36%	98,36%	97,32%	96,73%	94,20%	90,33%	85,57%	82,14%		
março	100,00%	100,00%	99,60%	99,46%	98,52%	97,18%	95,70%	93,95%		
abril	92,92%	91,53%	89,31%	86,11%	81,67%	78,33%	75,42%	73,06%		
maio	84,54%	82,12%	76,48%	72,31%	66,94%	61,42%	57,93%	54,84%		
junho	89,17%	85,28%	78,33%	72,64%	67,36%	63,19%	58,33%	55,42%		
julho	85,75%	83,06%	77,55%	70,70%	63,17%	56,99%	53,36%	48,79%		
agosto	81,85%	78,63%	73,25%	68,41%	62,90%	58,47%	55,24%	52,02%		
setembro	96,39%	94,86%	91,67%	88,75%	84,58%	80,97%	78,47%	75,14%		
outubro	99,19%	99,06%	98,66%	98,25%	96,51%	94,22%	90,73%	87,23%		
novembro	99,72%	99,72%	99,44%	99,31%	98,61%	97,78%	96,67%	94,31%		
dezembro	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,73%	99,06%	97,72%	95,16%		
Média	93,96%	92,69%	90,04%	87,55%	84,27%	81,10%	78,26%	75,35%		85,40%

APÊNDICE II – Tabelas com POC mensal por orientação, sem sombreado.

orientação	POC com sombreado							
	porcentagem de área de abertura pela área do piso							
meses	12,5	15	20	25	30	35	40	45
janeiro	97,58%	97,04%	95,56%	94,09%	92,61%	88,84%	86,16%	82,80%
fevereiro	86,16%	84,52%	81,85%	77,98%	73,66%	69,20%	66,22%	61,61%
março	93,55%	92,88%	92,07%	90,05%	88,04%	84,54%	81,99%	79,17%
abril	90,97%	90,00%	88,06%	85,42%	83,19%	78,89%	77,08%	74,31%
maio	97,31%	96,51%	94,49%	91,94%	89,38%	86,02%	85,08%	82,66%
junho	100,00%	100,00%	100,00%	99,17%	96,67%	93,19%	90,42%	87,50%
julho	100,00%	99,87%	98,79%	96,37%	90,99%	86,16%	83,87%	81,05%
agosto	88,17%	86,96%	82,80%	79,44%	75,67%	72,18%	70,03%	68,15%
setembro	81,39%	79,72%	76,53%	73,19%	70,42%	66,67%	64,31%	61,67%
outubro	90,32%	89,25%	86,83%	84,27%	79,97%	76,61%	73,66%	70,16%
novembro	97,92%	96,94%	95,97%	94,58%	91,94%	89,17%	85,42%	83,47%
dezembro	98,79%	98,12%	97,18%	95,83%	93,82%	90,99%	89,25%	86,69%
Média	93,51%	92,65%	90,84%	88,53%	85,53%	81,87%	79,46%	76,60%
								86,12%
orientação	POC com sombreado							
	porcentagem de área de abertura pela área do piso							
meses	12,5	15	20	25	30	35	40	45
janeiro	97,45%	97,04%	94,89%	93,15%	89,52%	87,23%	83,74%	80,65%
fevereiro	93,30%	90,63%	83,93%	76,93%	69,94%	64,43%	60,12%	56,70%
março	99,73%	99,46%	98,92%	96,91%	94,35%	92,61%	89,52%	86,29%
abril	100,00%	100,00%	100,00%	99,72%	99,31%	97,08%	95,00%	92,36%
maio	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
junho	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
julho	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
agosto	100,00%	100,00%	100,00%	99,33%	98,12%	96,24%	94,76%	92,88%
setembro	96,94%	95,97%	94,58%	92,50%	90,00%	85,69%	80,69%	76,67%
outubro	98,12%	96,91%	93,15%	87,63%	82,39%	77,55%	73,66%	70,70%
novembro	97,08%	95,83%	94,03%	92,22%	88,33%	84,03%	80,56%	77,08%
dezembro	99,19%	99,06%	97,58%	96,64%	94,22%	91,13%	86,29%	82,12%
Média	98,49%	97,91%	96,42%	94,59%	92,18%	89,67%	87,03%	84,62%
								92,61%
orientação	POC com sombreado							
	porcentagem de área de abertura pela área do piso							
meses	12,5	15	20	25	30	35	40	45
janeiro	98,12%	97,45%	96,10%	94,76%	93,41%	90,19%	86,96%	84,14%
fevereiro	89,43%	88,69%	85,12%	82,89%	78,42%	74,85%	71,28%	67,71%
março	97,72%	96,91%	95,97%	94,35%	93,41%	92,07%	89,65%	88,04%
abril	100,00%	100,00%	100,00%	98,75%	95,83%	94,31%	92,64%	90,42%
maio	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,87%	99,33%
junho	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
julho	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
agosto	98,25%	97,98%	96,77%	95,70%	95,03%	93,15%	92,34%	91,13%
setembro	95,56%	94,86%	92,50%	89,86%	86,25%	82,64%	79,58%	77,64%
outubro	95,30%	94,76%	92,61%	91,40%	87,50%	83,74%	80,51%	77,82%
novembro	98,33%	98,06%	96,81%	95,69%	93,89%	90,83%	88,33%	85,56%
dezembro	99,19%	98,66%	97,31%	96,24%	94,35%	91,53%	89,52%	86,96%
Média	97,66%	97,28%	96,10%	94,97%	93,18%	91,11%	89,22%	87,39%
								93,36%
orientação	POC com sombreado							
	porcentagem de área de abertura pela área do piso							
meses	12,5	15	20	25	30	35	40	45
janeiro	99,60%	99,19%	98,79%	97,72%	95,97%	93,95%	92,74%	89,92%
fevereiro	98,36%	97,77%	97,02%	95,24%	91,96%	86,76%	82,74%	79,61%
março	100,00%	100,00%	99,87%	99,46%	98,92%	97,98%	96,24%	95,70%
abril	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,58%	99,03%	97,92%
maio	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
junho	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
julho	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
agosto	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,60%	98,52%	97,58%
setembro	99,72%	99,44%	98,89%	98,06%	96,53%	95,28%	93,47%	91,81%
outubro	99,87%	99,73%	99,33%	98,66%	96,91%	94,09%	90,32%	87,23%
novembro	99,44%	99,44%	98,89%	98,75%	97,64%	96,39%	94,86%	91,94%
dezembro	100,00%	100,00%	100,00%	99,60%	98,92%	97,31%	95,16%	92,88%
Média	99,75%	99,63%	99,40%	98,96%	98,07%	96,74%	95,26%	93,72%
								97,69%

APÊNDICE III – Tabelas com POC mensal por orientação, com sombreamento.

orientação	POC sem sombreamento									
	porcentagem de área de abertura pela área do piso									
LESTE	meses	12,5	15	20	25	30	35	40	45	
janeiro		93,95%	92,20%	89,52%	86,29%	82,66%	78,36%	74,87%	70,43%	
fevereiro		74,26%	72,17%	65,48%	59,82%	54,76%	48,36%	44,94%	42,41%	
março		92,20%	90,19%	85,62%	82,12%	77,69%	72,85%	68,01%	64,11%	
abril		89,86%	84,72%	78,89%	73,89%	68,89%	65,83%	62,78%	60,00%	
maio		99,19%	97,31%	92,61%	87,90%	80,91%	74,46%	68,41%	64,11%	
junho		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	97,92%	93,47%	88,89%	
julho		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,46%	93,55%	87,90%	81,45%	
agosto		87,23%	84,81%	80,24%	77,69%	72,72%	66,26%	61,42%	56,18%	
setembro		74,72%	70,28%	64,72%	58,75%	53,19%	49,86%	46,39%	43,06%	
outubro		80,51%	79,03%	72,85%	69,22%	64,11%	59,41%	55,11%	52,42%	
novembro		92,50%	90,69%	87,64%	83,19%	78,89%	71,94%	68,19%	64,44%	
dezembro		97,18%	96,37%	94,49%	91,67%	85,62%	79,17%	74,73%	70,56%	
Média		90,13%	88,15%	84,34%	80,88%	76,58%	71,50%	67,19%	63,17%	77,74%
NORDESTE	meses	12,5	15	20	25	30	35	40	45	
janeiro		96,91%	96,37%	95,16%	92,74%	89,78%	85,08%	82,66%	79,44%	
fevereiro		85,71%	82,44%	75,74%	70,68%	64,14%	59,23%	54,32%	51,04%	
março		94,09%	92,47%	87,50%	83,60%	79,70%	73,25%	69,09%	64,78%	
abril		79,72%	76,53%	72,36%	68,75%	64,17%	60,83%	56,94%	55,14%	
maio		79,44%	76,75%	70,70%	65,99%	60,89%	55,51%	51,75%	48,25%	
junho		95,00%	92,36%	85,00%	79,31%	71,94%	66,25%	63,33%	59,58%	
julho		90,46%	86,96%	80,24%	74,06%	67,47%	61,83%	57,12%	52,96%	
agosto		75,54%	71,24%	64,38%	58,60%	53,76%	48,12%	44,35%	42,07%	
setembro		71,39%	68,33%	61,53%	56,94%	50,83%	46,25%	42,78%	40,56%	
outubro		86,42%	84,68%	78,49%	74,33%	68,55%	63,84%	59,68%	57,93%	
novembro		97,92%	97,64%	95,56%	93,33%	89,44%	84,86%	79,31%	74,86%	
dezembro		99,73%	99,60%	98,66%	97,72%	95,30%	91,13%	87,37%	82,80%	
Média		87,69%	85,45%	80,44%	76,34%	71,33%	66,35%	62,39%	59,12%	73,64%
NOROESTE	meses	12,5	15	20	25	30	35	40	45	
janeiro		97,85%	97,31%	95,83%	94,35%	91,94%	87,77%	84,68%	81,72%	
fevereiro		86,90%	85,27%	81,99%	77,83%	73,81%	67,86%	66,07%	62,95%	
março		92,47%	92,20%	90,19%	87,23%	83,47%	80,11%	76,08%	72,04%	
abril		83,75%	82,08%	78,33%	75,14%	70,97%	67,50%	65,00%	62,22%	
maio		84,81%	83,06%	79,30%	75,13%	71,10%	65,99%	63,31%	60,08%	
junho		86,67%	84,58%	80,00%	75,83%	71,67%	69,03%	65,28%	62,78%	
julho		82,53%	80,24%	75,40%	70,30%	65,99%	60,62%	58,20%	55,51%	
agosto		71,64%	69,76%	66,13%	62,37%	57,80%	54,70%	50,94%	48,12%	
setembro		74,72%	72,92%	68,61%	65,28%	60,83%	56,11%	53,19%	51,25%	
outubro		88,58%	87,37%	84,14%	79,70%	76,21%	72,04%	69,49%	66,40%	
novembro		98,47%	98,33%	96,94%	95,28%	92,64%	88,19%	85,42%	81,39%	
dezembro		99,87%	99,60%	98,12%	96,91%	94,62%	91,26%	88,71%	86,16%	
Média		87,35%	86,06%	82,92%	79,61%	75,92%	71,77%	68,86%	65,88%	77,30%
NORTE	meses	12,5	15	20	25	30	35	40	45	
janeiro		99,46%	99,19%	97,98%	97,04%	95,30%	93,15%	90,05%	87,23%	
fevereiro		97,17%	96,88%	95,39%	93,60%	89,29%	83,78%	79,61%	76,34%	
março		97,18%	96,51%	95,83%	93,15%	88,84%	85,48%	80,91%	77,82%	
abril		81,39%	79,03%	74,44%	70,97%	66,81%	62,64%	59,72%	56,39%	
maio		74,60%	71,91%	66,80%	63,04%	56,72%	52,55%	48,92%	45,83%	
junho		78,75%	76,11%	70,83%	65,42%	60,28%	55,69%	51,25%	48,33%	
julho		77,55%	73,25%	66,53%	61,42%	54,84%	49,06%	44,22%	41,53%	
agosto		67,34%	64,78%	59,95%	54,44%	50,00%	44,35%	41,67%	37,10%	
setembro		78,75%	76,53%	71,67%	68,33%	62,50%	57,08%	54,58%	51,81%	
outubro		96,10%	95,43%	94,22%	91,80%	86,69%	82,26%	78,49%	75,67%	
novembro		99,72%	99,44%	99,31%	98,89%	98,33%	95,97%	94,03%	90,00%	
dezembro		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,19%	97,18%	94,62%	91,40%	
Média		87,33%	85,76%	82,75%	79,84%	75,73%	71,60%	68,17%	64,95%	77,02%

APÊNDICE IV – Tabelas com POC mensal por orientação, com sombreamento.

orientação	POC sem sombreamento								
	porcentagem de área de abertura pela área do piso								
OESTE	12,5	15	20	25	30	35	40	45	
meses	12,5	15	20	25	30	35	40	45	
janeiro	95,56%	95,16%	93,41%	91,80%	86,83%	82,53%	79,30%	76,48%	
fevereiro	82,44%	79,91%	76,19%	72,32%	67,56%	62,50%	59,08%	55,95%	
março	91,94%	91,26%	89,52%	87,23%	83,47%	79,03%	75,40%	72,04%	
abril	87,64%	86,94%	83,89%	81,25%	76,94%	74,31%	70,97%	68,75%	
maio	94,49%	93,55%	91,13%	88,04%	85,62%	82,26%	79,70%	77,02%	
junho	100,00%	99,58%	98,06%	95,83%	91,81%	87,36%	84,58%	81,53%	
julho	99,06%	97,58%	95,03%	90,19%	84,95%	81,18%	77,96%	74,87%	
agosto	83,20%	81,45%	77,55%	74,46%	70,03%	67,34%	64,65%	62,63%	
setembro	77,64%	74,72%	72,36%	68,47%	64,31%	60,83%	57,50%	54,31%	
outubro	86,96%	84,95%	81,99%	78,23%	74,19%	70,16%	67,47%	63,98%	
novembro	95,97%	95,28%	93,89%	90,69%	86,25%	82,08%	79,03%	75,14%	
dezembro	96,91%	96,10%	94,89%	92,20%	89,11%	85,22%	83,06%	79,57%	
Média	90,98%	89,71%	87,33%	84,23%	80,09%	76,23%	73,23%	70,19%	81,50%

orientação	POC sem sombreamento								
	porcentagem de área de abertura pela área do piso								
SUDESTE	12,5	15	20	25	30	35	40	45	
meses	12,5	15	20	25	30	35	40	45	
janeiro	94,62%	93,41%	90,73%	87,63%	83,60%	79,97%	76,21%	72,04%	
fevereiro	82,44%	78,72%	72,92%	67,41%	60,86%	55,36%	51,93%	49,11%	
março	98,92%	97,58%	95,56%	93,55%	89,25%	84,41%	81,99%	77,15%	
abril	100,00%	100,00%	99,58%	99,17%	96,39%	93,19%	89,58%	85,69%	
maio	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,87%	99,33%	
junho	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	
julho	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	
agosto	100,00%	100,00%	99,46%	98,39%	96,37%	94,35%	92,47%	90,73%	
setembro	95,00%	93,75%	90,56%	87,64%	82,78%	76,53%	71,11%	68,75%	
outubro	91,40%	88,58%	84,01%	79,30%	73,79%	69,09%	65,59%	62,23%	
novembro	93,19%	92,78%	89,58%	86,11%	80,97%	75,56%	70,97%	67,22%	
dezembro	97,45%	96,91%	94,62%	92,07%	86,29%	79,70%	75,67%	70,97%	
Média	96,09%	95,14%	93,09%	90,94%	87,53%	84,01%	81,28%	78,60%	88,33%

orientação	POC sem sombreamento								
	porcentagem de área de abertura pela área do piso								
SUDOESTE	12,5	15	20	25	30	35	40	45	
meses	12,5	15	20	25	30	35	40	45	
janeiro	96,24%	95,30%	93,82%	91,94%	87,77%	82,80%	79,70%	76,75%	
fevereiro	85,27%	84,38%	80,21%	77,08%	72,47%	67,41%	63,84%	60,86%	
março	95,83%	94,89%	93,82%	92,20%	90,86%	87,63%	85,48%	82,12%	
abril	100,00%	99,72%	97,50%	95,42%	92,78%	90,28%	87,50%	84,86%	
maio	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,46%	98,92%	97,72%	
junho	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	
julho	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	
agosto	97,04%	96,51%	95,43%	94,62%	92,61%	91,67%	90,05%	88,84%	
setembro	92,78%	91,11%	87,78%	84,86%	80,56%	77,36%	74,72%	71,81%	
outubro	92,20%	91,40%	88,71%	85,22%	80,78%	76,34%	74,06%	71,91%	
novembro	96,67%	95,83%	94,72%	91,67%	88,19%	83,89%	80,56%	77,64%	
dezembro	97,04%	96,10%	94,89%	92,47%	88,71%	85,48%	82,66%	79,03%	
Média	96,09%	95,44%	93,91%	92,12%	89,56%	86,86%	84,79%	82,63%	90,17%

orientação	POC sem sombreamento								
	porcentagem de área de abertura pela área do piso								
SUL	12,5	15	20	25	30	35	40	45	
meses	12,5	15	20	25	30	35	40	45	
janeiro	97,85%	97,04%	95,56%	94,09%	90,46%	86,69%	83,47%	79,84%	
fevereiro	97,32%	96,73%	94,64%	90,92%	85,86%	80,51%	76,93%	72,92%	
março	100,00%	100,00%	99,60%	99,46%	98,39%	96,51%	95,43%	93,01%	
abril	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,58%	99,03%	97,92%	95,69%	
maio	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	
junho	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	
julho	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	
agosto	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,60%	98,25%	97,45%	
setembro	99,58%	99,31%	98,89%	97,78%	96,11%	94,72%	92,78%	90,42%	
outubro	99,60%	99,46%	98,66%	97,72%	95,43%	89,92%	86,69%	83,20%	
novembro	98,19%	97,78%	96,81%	95,42%	93,19%	89,44%	86,11%	82,64%	
dezembro	98,92%	98,25%	97,04%	95,30%	91,94%	87,50%	83,74%	80,38%	
Média	99,29%	99,05%	98,43%	97,56%	95,91%	93,66%	91,78%	89,63%	95,66%