

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA – CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA UNIDADE
HABITACIONAL SEGUNDO AS NORMAS NBR 15575:2013 E NBR 15575:2021

por

João Pedro Scardueli Peron

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenharia Mecânica.

Porto Alegre, novembro de 2021

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

Scardueli Peron, João Pedro
ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA
UNIDADE HABITACIONAL SEGUNDO AS NORMAS NBR 15575:2013
E NBR 15575:2021 / João Pedro Scardueli Peron. --
2021.
21 f.
Orientadora: Leticia Jenisch Rodrigues.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto
Alegre, BR-RS, 2021.

1. Desempenho Térmico de Unidade Habitacional. 2.
Simulação Termoenergética. 3. NBR 15575. 4.
EnergyPlus. I. Jenisch Rodrigues, Leticia, orient.
II. Título.

João Pedro Scardueli Peron

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA UNIDADE
HABITACIONAL SEGUNDO AS NORMAS NBR 15575:2013 E NBR 15575:2021

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Cirilo Seppi Bresolin
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Energia e Fenômenos de Transporte

Orientador: Prof^ª. Letícia Jenisch Rodrigues

Comissão de Avaliação:

Prof. Paulo Smith Schneider

Prof. Andrés Mendiburu

Prof. Felipe Roman Centeno

Porto Alegre, novembro de 2021

AGRADECIMENTOS

Impossível medir a gratidão que sinto pelos meus pais, pelos pais deles e pelos membros mais próximos de minha família. Que investiram todo o possível na minha educação, saúde e felicidade. É de uma sorte extrema ter nascido próximo à essas pessoas.

Scardueli Peron, João Pedro. **ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA UNIDADE HABITACIONAL SEGUNDO AS NORMAS NBR 15575:2013 E NBR 15575:2021**. 2021. 21p. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

RESUMO

O processo de melhoria contínua por que passam as normas técnicas devem acompanhar avanços tecnológicos e de metodologias de projeto, para que possam fornecer uma base confiável para profissionais que as usem. Em 2021 a NBR 15575 (ABNT) passou pela sua primeira atualização e apresentou várias mudanças na disciplina de desempenho térmico. Esta monografia busca comparar avaliações de desempenho térmico de uma unidade habitacional unifamiliar entre a norma atualizada e sua iteração anterior, de 2013, em suas duas metodologias propostas – simplificada e computacional. Resultados mostram que o aumento na complexidade da versão mais recente não significa necessariamente no acréscimo de dificuldade para a obtenção de avaliações de desempenhos melhores. Na avaliação segundo a norma de 2013, a unidade habitacional obteve um nível superior de desempenho segundo seu método simplificado e intermediário segundo seu método computacional. A avaliação conforme a versão atualizada da norma não obteve um nível mínimo de performance através do método simplificado, no entanto obteve um desempenho superior de acordo com seu método computacional proposto. Simulações foram realizadas no *EnergyPlus*.

PALAVRAS-CHAVE: NBR 15575, Simulação Termoenergética, Desempenho Térmico de Unidade Habitacional, *EnergyPlus*.

Scardueli Peron, João Pedro. **COMPARATIVE ANALYSIS OF A HOUSING UNIT'S THERMAL PERFORMANCE ACCORDING TO NBR 15575:2013 AND NBR 15575:2021 STANDARDS**. 2021. 21p. Mechanical Engineering End of course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

ABSTRACT

The continuous improvement process which technical standards go through should keep up with technological advances and of project methodologies so that they can supply a reliable basis for professionals to use. In 2021 the NBR 15575 standard (ABNT) went through its first update and has presented many changes in the thermal performance discipline. This monography seeks to compare thermal performance evaluations of a one family housing unit between the updated standard and its previous iteration, from 2013, in both of its proposed methodologies – simplified and computational. Results show that the added complexity of the more recent version does not necessarily mean an increase in difficulty for obtaining better performance evaluations. In the evaluation of the 2013 standard, the housing unit has obtained a superior level of performance according to its simplified method and an intermediate performance according to its computational one. The evaluation according to the updated standard has not achieved a minimal level of performance through its simplified method but has obtained a superior level of performance according to its proposed computational method. Simulations were made using EnergyPlus.

KEYWORDS: NBR 15575, Thermoenergetic Simulation, Thermal Performance of a Housing Unit, EnergyPlus.

NOMENCLATURA

Símbolos	Significado	Unidade
A	Área	[m ²]
CgT	Carga térmica	[W]
h	Coefficiente de transferência de calor por convecção	[W/m ² K]
k	Condutividade térmica	[W/mK]
ε	Emissividade	Adimensional
q''	Fluxo de calor	[W/m ²]
ρ	Massa específica	[kg m ⁻³]
$C_z \frac{dT_z}{dt}$	Taxa de energia armazenada na zona térmica	[W]
T	Temperatura	[°C]
U	Transmitância térmica	[W/m ² K]
R	Resistência térmica	[m ² K/W]
C_T	Capacidade térmica	[kJ/m ² K]
e	Espessura	[m]
c	Calor específico	[J/kgK]
P	Percentual	[%]
$PHFT$	Percentual de horas de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa	[%]
$\Delta PHFT$	Diferença entre PHFT real e de referência	[%]
$RedCgT$	Redução de carga térmica	[W]
Abreviaturas e acrômimos		
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	
APP	Ambiente de permanência prolongada	
UH	Unidade habitacional	

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. OBJETIVO	1
2. ESTADO DA ARTE	1
3. REFERENCIAL TEÓRICO	2
3.1 BALANÇO DE ENERGIA EM ZONAS TÉRMICAS.....	2
3.2 BALANÇO DE ENERGIA NAS SUPERFÍCIES.....	2
3.3 DESEMPENHO TÉRMICO DE PAREDES E COBERTURAS.....	3
3.4 CARGAS TÉRMICAS IDEAIS	3
3.5 ARQUIVO CLIMÁTICO	3
3.6 DIAS DE PROJETO.....	3
4. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	4
4.1 GEOMETRIA PROPOSTA	4
4.2 PARÂMETROS CONSTRUTIVOS	4
5. ANÁLISE DE DESEMPENHO SEGUNDO A NBR 15575:2013.....	5
5.1 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO SEGUNDO A NBR 15575:2013	5
5.2 MODELAGEM COMPUTACIONAL SEGUNDO A NBR 15575:2013	6
6. ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO SEGUNDO A NBR 15575:2021	6
6.1 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO SEGUNDO A NBR 15575:2021	6
6.2 MODELAGEM COMPUTACIONAL SEGUNDO A NBR 15575:2021	9
6.3.1 ENVOLTÓRIA DOS MODELOS.....	9
6.3.2 CARGAS INTERNAS	10
6.3.3 MODELOS COM VENTILAÇÃO NATURAL.....	10
6.3.4 MODELOS SEM VENTILAÇÃO NATURAL	10
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
7.1 DESEMPENHO TÉRMICO DA UH SEGUNDO A NBR 15575:2013.....	10
7.1.1 MÉTODO SIMPLIFICADO.....	10
7.1.2 MÉTODO COMPUTACIONAL	11
7.2 DESEMPENHO TÉRMICO DA UH SEGUNDO A NBR 15575:2021.....	13
7.2.1 MÉTODO SIMPLIFICADO.....	13
7.2.2 MÉTODO COMPUTACIONAL	13
8. CONCLUSÃO.....	15
REFERÊNCIAS	16
ANEXO A – PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO UTILIZADOS	18
ANEXO B – FIGURAS RETIRADAS DE NORMAS ABNT.....	21

1. INTRODUÇÃO

Segundo o EPE (2021), o consumo de energia elétrica no Brasil aumentou 9,8% em 2020, em relação à 2011, com um volume anual de 475.648GWh. Deste montante, o segundo maior consumidor foi o setor residencial, que utilizou 31% desta energia e ficou atrás apenas do setor industrial. Frente a crises econômica, energética e a criação de uma bandeira tarifária de escassez hídrica em função dela, não é apenas de interesse financeiro do consumidor final a redução do uso de energia elétrica, mas de nossa sociedade.

O desempenho térmico de uma edificação é importante no desempenho energético dela, pois quando o primeiro não é obtido, seus ocupantes buscarão contornar esta situação através de equipamentos de aquecimento ou refrigeração, aumentando o seu consumo (ROAF et. al., 2009).

Como forma de difundir boas práticas construtivas para desempenho térmico no Brasil, o estudo de uma norma que sirva de base técnica foi estudado desde o final da década de 1980 (Roriz, Ghisi e Lamberts, 1999) e inicialmente implementado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, em 2005 através da NBR 15220, Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações. Desde sua concepção, formou-se um processo de melhoria contínua, a disciplina foi incorporada na NBR 15575 (ABNT, 2013), Norma Brasileira de Edificações Habitacionais – Desempenho, que deu prosseguimento a este processo e teve a sua atualização no ano de 2021.

1.1. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise de conforto térmico, segundo as metodologias impostas pela norma NBR 15575 (ABNT, 2021) em uma unidade habitacional, UH, considerada termicamente confortável pela sua versão anterior (ABNT, 2013), com a finalidade de entender os desafios impostos pela atualização.

O *software* utilizado para simulação é o *EnergyPlus*, fornecido gratuitamente pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, DOE (2021). A geometria escolhida para análise é a da casa passiva eficiente, proposta por Carrilho da Graça (2012), com algumas modificações de aspectos construtivos, propostas por Caus (2019) e ajustes nos mesmos para tentar atingir os requisitos de conforto térmico da norma (ABNT, 2013), com a edificação na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

2. ESTADO DA ARTE

No ano de 1988 houve a criação do Grupo de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da ANTAC, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, em 1991 houve o 1º Encontro Nacional Sobre a Normalização Quanto ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Térmico de Edificações e posteriormente, foi criada a Comissão de Estudos Sobre Desempenho Térmico e Eficiência Energética de Edificações, vinculada à Associação Brasileira de Normas Técnicas (Roriz, Ghisi e Lamberts, 1999).

A primeira norma brasileira que incorporou o desempenho térmico de edificações foi lançada em 2005, através da NBR 15220 (ABNT). A mesma disciplina foi então incorporada na NBR 15575 (ABNT, 2013). Desde a publicação da primeira norma, um processo de melhoria contínua instaurou-se e múltiplos autores apresentaram propostas de aperfeiçoamento, como Sorgato, Melo e Lamberts (2014). Em 2021, foi divulgada a atualização da NBR 15575 (ABNT), que apresenta atualizações significativas na disciplina de desempenho térmico.

Carrilho da Graça, 2012, propôs o estudo energético de um modelo de unidade habitacional que fosse eficiente em questões energéticas e econômicas, chamado de “casa

passiva”. Nele, duas envoltórias foram comparadas: uma com fachadas envidraçadas para mimetizar tendências arquitetônicas e outro com elementos construtivos que pudessem tornar a habitação mais eficiente. Caus, 2019 deu prosseguimento a este estudo e o contextualizou em um cenário brasileiro, na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul e com aspectos construtivos utilizados em território nacional. Este trabalho conjunto deu origem à geometria e a alguns componentes de envoltória utilizados nesta monografia.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 BALANÇO DE ENERGIA EM ZONAS TÉRMICAS

O *EnergyPlus* utiliza o conceito de “zonas térmicas” definidos como o volume de ar em uma temperatura uniforme (EnergyPlus, 2015). No caso específico desta UH, as zonas térmicas são representadas por cada cômodo pertencente a ela.

Em cada zona térmica o balanço de energia é realizado através do método da predição-correção, utilizando de um método explícito para a estimativa do resultado seguinte de uma iteração e um implícito para recalcular este valor e aproximá-lo de um valor real. O cálculo de balanço térmico é feito através da equação

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} C_g T_i + \sum_{i=1}^{N_{surface}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{si} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + \dot{Q}_{sys} \quad (1)$$

na qual $\sum_{i=1}^{N_{sl}} C_g T_i$ é a soma das cargas internas convectivas; $\sum_{i=1}^{N_{surface}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$ é a transferência de calor convectiva pelas superfícies da zona; T_z é a temperatura externa, em K; $\sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{si} - T_z)$ é a transferência de calor devido ao contato entre zonas; $\dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z)$ é a transferência de calor devido à infiltração de ar exterior; \dot{Q}_{sys} é a taxa de calor do sistema de climatização da zona; $C_z \frac{dT_z}{dt}$ é a taxa de energia armazenada na zona térmica e o subíndice “i” indica a i-ésima superfície ou zona.

3.2 BALANÇO DE ENERGIA NAS SUPERFÍCIES

Para o cálculo do fluxo de calor nas superfícies são consideradas trocas de calor condutivas, convectivas e radiativas. Em paredes externas o cálculo é dado pela relação

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

na qual $q''_{\alpha sol}$ é o fluxo de calor radiativo absorvido da radiação solar direta e difusa; q''_{LWR} é o fluxo de radiação de ondas de alto comprimento de onda trocado com o ar e arredores; q''_{conv} é o fluxo de calor convectivo; e q''_{ko} é o fluxo de calor condutivo no interior da parede. Para paredes internas, os cálculos são realizados através da equação

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

na qual q''_{LWX} é o fluxo de calor radiativo de longo comprimento de onda entre superfícies de zonas térmicas; q''_{ki} é o fluxo condutivo por entre a parede; q''_{sw} é o fluxo de calor radiativo de curto comprimento de onda entre superfícies de zonas térmicas; q''_{LWS} é o fluxo radiativo de comprimento de onda longo dos equipamentos da zona; q''_{sol} é o fluxo de calor de radiação solar absorvido pela superfície e q''_{conv} é o fluxo de calor convectivo.

3.3 DESEMPENHO TÉRMICO DE PAREDES E COBERTURAS

Uma das maneiras de avaliar o desempenho térmico de uma parede ou cobertura é através da transmitância térmica que ela possui. Ela é definida como a transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um componente construtivo (ABNT, 2013). De forma simplificada, o cálculo da transmitância térmica pode ser feito através de

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (4)$$

na qual U é a transmitância térmica da parede ou cobertura, que é o inverso da resistência total, R_T , das camadas dela, calculável com a equação

$$R_T = R_{se} + R_{si} + \sum_{i=1}^n R_{ti} \quad (5)$$

na qual R_{se} e R_{si} representam respectivamente as resistências de convecção térmica externa e interna da parede ou cobertura, enquanto R_{ti} representa a resistência de condução térmica de da i -ésima camada dela. Como alternativa de avaliação de desempenho térmico de paredes, pode ser calculada a capacidade térmica, através da equação

$$C_T = \sum_{i=1}^n e_i c_i \rho_i \quad (6)$$

na qual C_T representa a capacidade térmica da parede e e_i , c_i e ρ_i representam, respectivamente, a espessura, o calor específico e a massa específica do material da i -ésima camada da parede observada.

3.4 CARGAS TÉRMICAS IDEAIS

Carga térmica é definida como a quantidade de calor a ser fornecida ou retirada para manter um ambiente em condições desejadas (ABNT, 2021). Neste trabalho, foi utilizado no *EnergyPlus* para seu cálculo, com um objeto que corresponde a um sistema de ar-condicionado do tipo *variable air volume*, VAV, ideal e que calcula a carga térmica e fornece ar resfriado ou aquecido suficiente para que a zona atinja uma determinada temperatura.

3.5 ARQUIVO CLIMÁTICO

O arquivo climático é um compilado de medições de dados meteorológicos, como temperatura, umidade, pressão, direção e velocidade do vento, radiação solar e precipitação. Estes dados são medidos ao longo de doze meses e para este estudo, foram tomados da estação climática do Instituto Nacional de Meteorologia, INMET, do aeroporto Salgado Filho, em Porto Alegre.

3.6 DIAS DE PROJETO

São dias com condições meteorológicas críticas de inverno e verão para uma zona climática, ideais para que o dimensionamento de um sistema de climatização seja efetivo o ano inteiro. Neste projeto, os dados destes dias foram fornecidos pela ASHRAE (2017).

4. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Nesta etapa do projeto, foram definidas a geometria das zonas térmicas da UH proposta, assim como o tamanho e posicionamento de janelas, portas e sombreamentos.

4.1 GEOMETRIA PROPOSTA

A casa passiva, proposta por Carrilho da Graça (2012) e utilizada por Caus (2019), foi escolhida como geometria do modelo da UH e está retratada na Figura 1 com suas informações dimensionais na Tabela 1.

Figura 1: Vista superior da geometria da UH proposta para estudo. Fonte: Caus, 2019

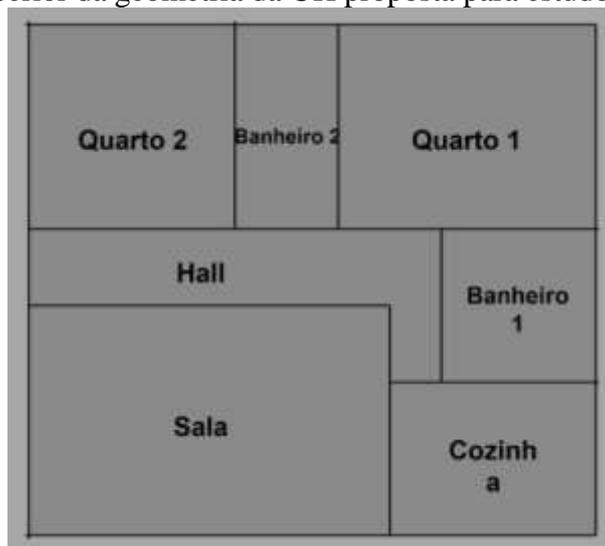


Tabela 1: Informações dimensionais de zonas térmicas da UH proposta. Fonte: Caus, 2019.

Zona Térmica	Área [m²]	Volume [m³]	Área de Janelas [m²]
Sala	31,5	94,5	6
Hall	13,5	40,5	0
Cozinha	12	36	3
Banheiro 1	9	27	0,5
Banheiro 2	8	24	0,5
Quarto 1	20	60	3
Quarto 2	16	48	3
Total	110	330	16

Destes ambientes, são considerados ambientes de permanência prolongada, APP, os quartos e a sala.

4.2 PARÂMETROS CONSTRUTIVOS

Inicialmente foram utilizados construções e materiais propostos por Caus (2019) e através de um processo iterativo de análises iniciais de desempenho do modelo proposto segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), algumas destas construções foram substituídas por alternativas que poderiam proporcionar um desempenho térmico superior. Dados de materiais utilizados em construções substitutas foram obtidos através da ASHRAE

(2005). As construções do modelo proposto e as propriedades de cada material estão detalhadas no Anexo A.

5. ANÁLISE DE DESEMPENHO SEGUNDO A NBR 15575:2013

Segundo a norma NBR 15575 (ABNT, 2013), o conforto térmico de uma edificação pode ser avaliado através de duas metodologias. A primeira, chamada de método simplificado, busca avaliar valores de desempenho térmico do envelope da edificação; O segundo método utiliza a simulação computacional, onde se comparam as temperaturas internas das zonas térmicas em dias de projeto de inverno e verão com a temperatura externa do ambiente. Neste trabalho, ambas as metodologias foram empregadas.

Os valores mínimos, intermediários e superiores de desempenho térmico nesta versão da NBR 15575 (ABNT, 2013) são divididos conforme a zona bioclimática em que a UH se encontra. Na região do estado do Rio Grande do Sul estão presentes apenas as zonas climáticas 1 e 2, conforme ilustrado na Figura B.1.

A avaliação de conforto térmico feita por esta iteração da NBR 15575 (ABNT, 2013) abrange os seguintes tópicos: transmitância térmica de envoltória para paredes externas, U_{par} , e coberturas U_{cob} , capacidade térmica de paredes externas, CT_{par} , tamanhos de aberturas de ventilação e temperaturas de bulbo seco de cada APP.

5.1 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO SEGUNDO A NBR 15575:2013

Para o método simplificado em zonas bioclimáticas 1 e 2, os critérios de avaliação estão descritos na tabela abaixo:

Tabela 2: Critérios de desempenho para envelopagem em zonas bioclimáticas 1 e 3.

Fonte: ABNT, 2013.

Requisito	Mínimo	Intermediário	Superior
U_{par} [W/m ² K]	$\leq 2,5$	-	-
U_{cob} [W/m ² K]	$\leq 2,3$	$\leq 1,5$	$\leq 1,0$
CT_{par} [kJ/m ² K]	≥ 130	-	-
Av_{APP} [m ²]	$\geq 7\% Ap_{APP}$	-	-

na qual Ap_{APP} representa a área de piso da APP observada e Av_{APP} representa o tamanho de abertura para ventilação na APP observada. Estes critérios devem ser avaliados através de ensaios ou de valores pré-determinados na NBR 15220-3 (ABNT, 2013b).

Caso o desempenho térmico do método simplificado não atinja os critérios mínimos, o método computacional deverá ser empregado. Os critérios de desempenho deste para zonas bioclimáticas 1 e 2, estão descritos na tabela abaixo

Tabela 3: Critérios de desempenho térmico de avaliação computacional para zonas bioclimáticas 1 e 3. Fonte: ABNT, 2013.

Nível de desempenho	Dia de Projeto de Verão	Dia de Projeto de Inverno
Mínimo	$T_{i,MAX APP} \leq T_{e,MAX}$	$T_{i,MIN APP} \geq T_{e,MIN} + 3^{\circ}C$
Intermediário	$T_{i,MAX APP} \leq T_{e,MAX} - 2^{\circ}C$	$T_{i,MIN APP} \geq T_{e,MIN} + 5^{\circ}C$
Superior	$T_{i,MAX APP} \leq T_{e,MAX} - 4^{\circ}C$	$T_{i,MIN APP} \geq T_{e,MIN} + 7^{\circ}C$

onde $T_{i,MAX APP}$ e $T_{i,MIN APP}$ representam as temperaturas internas máximas e mínimas de uma APP em um dia de projeto, respectivamente. Enquanto $T_{e,MAX}$ e $T_{e,MIN}$

representam as temperaturas máxima e mínima do ambiente externo à UH no dia de projeto, respectivamente.

5.2 MODELAGEM COMPUTACIONAL SEGUNDO A NBR 15575:2013

Em acordo com esta iteração da norma (ABNT, 2013a), a análise computacional da UH foi feita para dois dias de projeto: um de inverno e um de verão. O tamanho das aberturas nos APP foi considerado como 45% do tamanho das janelas, não foi considerada a presença de cargas internas nos APP, a simulação não possui equipamentos de climatização e a ventilação das APP é natural, com uma taxa de uma renovação de ar por hora. Adicionalmente a simulação foi feita com a UH rotacionada em direções críticas.

6. ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO SEGUNDO A NBR 15575:2021

Assim como em sua iteração anterior (ABNT, 2013), a análise de desempenho térmico da NBR 15575 (ABNT, 2021) pode ser realizada através de dois métodos: simplificado e computacional. O primeiro é realizado da mesma maneira que na iteração anterior (ABNT, 2013), mas, segundo a ABNT (2021), agora garante apenas um nível mínimo de desempenho. Para a obtenção dos níveis de performance intermediária e superior, o segundo método deverá ser empregado.

A avaliação por método computacional nesta versão (ABNT, 2021), consiste na comparação de dois modelos de uma mesma UH: um de referência que terá aspectos construtivos pré-determinados e um modelo que represente a edificação proposta – chamado de “real”. Para a obtenção de um nível mínimo de desempenho, ambas as simulações deverão possuir ventilação natural e para atingir níveis de performance intermediária e superior, dois modelos adicionais sem ventilação natural e com ar-condicionado devem ser comparados. Um fluxograma do processo de análise pode ser encontrado na Figura B.3.

6.1 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO SEGUNDO A NBR 15575:2021

Como mencionado na seção 6, o método simplificado nesta versão da norma (ABNT, 2021) manteve-se similar ao da anterior (ABNT, 2013). Os critérios atualizados encontram-se na tabela abaixo

Tabela 4: Critérios atualizados do método simplificado. Fonte: ABNT, 2021

Elemento	Valores	Critério
U_{par} [W/m ² K]	Todos os valores	$\leq 2,7$
Elementos transparentes	$A_{p,APP} \leq 20,0 m^2$	$P_{t,APP} \leq 20\%$
	$A_{p,APP} > 20,0 m^2$	$A_{t,APP} \leq 4,0 m^2$

na qual $P_{t,APP}$ representa o percentual de elementos transparentes no APP. Critérios relacionados à U_{cob} , CT_{par} e $A_{v,APP}$ mantiveram-se os mesmos.

No método computacional, os critérios de desempenho variam conforme os intervalos em que a média anual da temperatura de bulbo seco externa, TBS_m , se encontra, conforme demonstrado na tabela abaixo.

Tabela 5: Intervalos de temperaturas externas de bulbo seco. Fonte: ABNT, 2021

Intervalos de Temperaturas Externas	TBS_m [°C]
Intervalo 1	$TBS_m < 25,0$

Intervalo 2	$25,0 \leq TBS_m < 27,0$
Intervalo 3	$TBS_m \geq 27,0$

Nos modelos com ventilação natural, deve-se comparar o percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa dos APP, $PHFT_{APP}$, e então da UH, $PHFT_{UH}$. A faixa de temperatura operativa é determinada através do intervalo de temperatura externa ao qual a UH pertence e são encontradas na tabela abaixo.

Tabela 6: Faixas de temperaturas operativas para de terminação de $PHFT_{APP}$. Fonte: ABNT, 2021

Intervalos de Temperaturas Externas	Faixa de temperatura operativa a ser considerada [°C]
Intervalo 1	$18,0 < T_{O_{APP}} < 26,0$
Intervalo 2	$T_{O_{APP}} < 28,0$
Intervalo 3	$T_{O_{APP}} < 30,0$

na qual $T_{O_{APP}}$ é a temperatura operativa em que o APP se encontra. Os cálculos para $PHFT_{APP}$ e $PHFT_{UH}$ são dados pelas relações abaixo (ABNT, 2021):

$$PHFT_{APP} = \frac{HFT_{APP}}{H_{O_{APP}}} \quad (7)$$

em que HFT_{APP} é as horas de ocupação em que o APP se encontra dentro da faixa de temperatura operativa da Tabela 5, $H_{O_{APP}}$ são as horas de ocupação total do APP e

$$PHFT_{UH} = \frac{\sum_{i=1}^n PHFT_{APP}}{n} \quad (8)$$

na qual $\sum_{i=1}^n PHFT_{APP}$ representa a soma dos valores de $PHFT_{APP}$ e n representa o número de APP na UH. Os critérios de $PHFT_{UH}$ são dados pela tabela abaixo.

Tabela 7: Critério de avaliação de desempenho térmico quanto ao $PHFT_{UH}$. Fonte: ABNT, 2021.

Nível de Desempenho	Critério
Mínimo (M)	$PHFT_{UH,Real} > 0,9 \cdot PHFT_{UH,Ref}$
Intermediário (I)	$\Delta PHFT \geq \Delta PHFT_{min}$
Superior (S)	$\Delta PHFT \geq \Delta PHFT_{min}$

em que $PHFT_{UH,Real}$ e $PHFT_{UH,Ref}$ representam o percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa da UH dos modelos real e referência, respectivamente, $\Delta PHFT$ representa a diferença entre $PHFT_{UH,Real}$ e $PHFT_{UH,Ref}$. $\Delta PHFT_{min}$ é um valor calculado através da relação (ABNT, 2021):

$$\Delta PHFT_{min} = 45 - 0,58 \cdot PHFT_{UH,Ref} \quad (9)$$

Adicionalmente, os modelos com ventilação natural devem atender os critérios de temperaturas operativas máxima e mínima na UH, $T_{o_{máxUH}}$ e $T_{o_{mínUH}}$, respectivamente. Os critérios são dados pela tabela abaixo

Tabela 8: Critérios de avaliação de desempenho térmico quanto às temperaturas operativas em UH unifamiliar. Fonte: ABNT, 2021

Temperatura Operativa	Critério
Máxima	$To_{máxUH,Real} \leq To_{máxUH,Ref} + 2^{\circ}C$
Mínima	$To_{mínUH,Real} \geq To_{mínUH,Ref} - 1^{\circ}C$

em que os subíndices “Real” e “Ref” indicam se o valor de $To_{máxUH}$ ou $To_{mínUH}$ são obtidos no modelo real ou de referência, respectivamente.

Os modelos sem ventilação natural têm seus critérios baseados na carga térmica total anual da UH, $CgTT_{UH}$. Esta, é dada pelo somatório das cargas térmicas de refrigeração e aquecimento das APP, $CgTR_{APP}$ e $CgTA_{APP}$, respectivamente. Os valores de $CgTR_{APP}$ e $CgTA_{APP}$ são calculados em horários em que a APP está ocupada e com uma temperatura operativa dentro dos limites especificados na tabela abaixo.

Tabela 9: Limites de temperaturas operativas para o cálculo de $CgTR_{APP}$ e $CgTA_{APP}$. Fonte: ABNT, 2021

Intervalos de temperaturas externas	Faixa de temperatura operativa para cálculo de $CgTR_{APP}$	Faixa de temperatura operativa para o cálculo de $CgTA_{APP}$
Intervalo 1	$To_{APP} \geq 26,0^{\circ}C$	$To_{APP} \leq 18,0^{\circ}C$
Intervalo 2	$To_{APP} \geq 28,0^{\circ}C$	-
Intervalo 3	$To_{APP} \geq 30,0^{\circ}C$	-

Com a obtenção dos valores de $CgTR_{APP}$ e $CgTA_{APP}$, é possível calcular as cargas térmicas de refrigeração e aquecimento da UH, $CgTR_{UH}$ e $CgTA_{UH}$. Seus valores são obtidos através das relações abaixo, respectivamente (ABNT,2021),

$$CgTR_{UH} = \sum_{i=1}^n CgTR_{APP} \quad (10)$$

$$CgTA_{UH} = \sum_{i=1}^n CgTA_{APP} \quad (11)$$

A relação abaixo demonstra como realizar a obtenção da $CgTT_{UH}$ (ABNT, 2021).

$$CgTT_{UH} = CgTR_{UH} + CgTA_{UH} \quad (12)$$

Os critérios de avaliação de desempenho térmico quanto às cargas térmicas são dados através da tabela

Tabela 10: Critérios de avaliação de desempenho térmico da envoltória quanto à $CgTT_{UH}$. Fonte: ABNT, 2021

Nível de Desempenho	Critério
Mínimo (M)	-
Intermediário (I)	$RedCgTT \geq RedCgTT_{mín}$
Superior (S)	$RedCgTT \geq RedCgTT_{mín}$

na qual $RedCgTT$ representa a diferença entre as cargas térmicas totais de referência e real, $CgTT_{UH,Ref}$ e $CgTT_{UH,Real}$, respectivamente; $RedCgTT_{mín}$ é um valor que representa uma redução mínima de carga térmica e é obtido através da tabela abaixo

Tabela 11: Valores de $RedCgTT_{min}$ para avaliação de desempenho térmico de envoltória quanto à $CgTT_{UH}$. Fonte: ABNT, 2021.

Nível de Desempenho	Valores de $PHFT_{UH,Ref}$	Critério	$RedCgTT_{min}$
Intermediário (I)	$PHFT_{UH,Ref} < 70\%$	Todos os valores	0
		$\frac{CgTT_{UH,Ref}}{A_p} < 100$	17
	$PHFT_{UH,Ref} \geq 70\%$	$\frac{CgTT_{UH,Ref}}{A_p} \geq 100$	27
Superior (S)	Todos os Valores	$\frac{CgTT_{UH,Ref}}{A_p} < 100$	35
		$\frac{CgTT_{UH,Ref}}{A_p} \geq 100$	55

Em que A_p representa a área de piso da UH.

6.2 MODELAGEM COMPUTACIONAL SEGUNDO A NBR 15575:2021

Para que fosse possível a análise do desempenho térmico da UH, foram criados dois modelos: de referência e real. Ambos representam a geometria da UH estudada, no entanto, o modelo de referência apresenta características pré-determinadas pela norma (ABNT,2021).

6.3.1 ENVOLTÓRIA DOS MODELOS

As construções de paredes e pisos do modelo de referência possuem uma espessura de 100 mm e as propriedades descritas na tabela A.3. A cobertura do modelo referência possui uma camada de telha com 6 mm de espessura e outra de laje com 100 mm de espessura. Suas propriedades térmicas estão descritas na Tabela A.4.

Superfícies transparentes nos APP devem ser modeladas com suas propriedades de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 12: Características de elementos transparentes nas esquadrias para modelo de referência. Fonte: ABNT, 2021.

Elemento	Fator Solar (FS)	Transmitância térmica (U_t) [W/(m ² .K)]	Percentual de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) [%]
Elementos transparentes	0,87	5,70	17,00

em que $P_{t,APP}$ é calculado pela seguinte relação (ABNT, 2021):

$$P_{t,APP} = 100 \cdot \frac{A_{t,APP}}{A_{p,APP}} \quad (13)$$

na qual $P_{t,APP}$ é o percentual de elementos transparentes no APP, $A_{t,APP}$ é a área de elementos transparentes no APP e $A_{p,APP}$ é a área de piso do APP. Os elementos

transparentes foram modelados com uma área de abertura de 45% e a APP apresenta um percentual de abertura para ventilação, $P_{v,APP}$, de 7,65%. Este valor pode ser verificado através da equação:

$$P_{v,APP} = 100 \cdot \frac{A_{v,APP}}{A_{p,APP}} \quad (14)$$

em que $A_{v,APP}$ é a área efetiva para ventilação do APP. Os perfis de esquadrias foram modelados conforme as informações da Tabela A.5.

A elaboração do modelo real deve considerar as características reais da UH, no entanto os valores de $P_{t,APP}$, $P_{e,APP}$, U_t e FS devem ser os mesmos nos modelos real e de referência.

6.3.2 CARGAS INTERNAS

As cargas internas foram modeladas apenas nos APP e são as mesmas nos modelos real e de referência. São consideradas cargas internas: a ocupação, sistemas de iluminação artificial e equipamentos elétricos.

Os parâmetros utilizados para a modelagem das cargas internas são apresentados no Anexo A, nas Tabelas A.6 até A.10.

6.3.3 MODELOS COM VENTILAÇÃO NATURAL

Os modelos com o uso da ventilação natural permitem a abertura das janelas quando o APP está ocupado, quando a temperatura de bulbo seco interna for superior à 19°C ou quando ela exceder a temperatura de bulbo seco externa.

Janelas de ambientes de permanência transitória, APT, são consideradas fechadas e, com exceção das janelas dos banheiros, permitem infiltração em suas frestas. Quando fechadas, janelas dos APP também permitem infiltração. Os valores utilizados para a modelagem da ventilação natural são encontrados na Tabela A.11.

6.3.4 MODELOS SEM VENTILAÇÃO NATURAL

Os modelos sem a presença de ventilação natural mantêm todas as portas e janelas abertas, com exceção das janelas dos banheiros, que permanecem abertas. São utilizados os mesmos valores de infiltração obtidos na Tabela A.11.

Os cálculos de carga térmica utilizados desconsideram a perda de energia térmica na retirada de calor do APP. Os cálculos de carga térmica de refrigeração operam em um *setpoint* de 23°C, enquanto os de aquecimento operam em um *setpoint* de 21°C. Ambos os sistemas são ativados apenas quando o APP está ocupado. Venezianas não foram consideradas neste modelo.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise de desempenho térmico de ambas as versões da norma, foram utilizados os métodos simplificados e computacional, com o objetivo de comparar a performance da UH nas duas iterações.

7.1 DESEMPENHO TÉRMICO DA UH SEGUNDO A NBR 15575:2013

7.1.1 MÉTODO SIMPLIFICADO

Valores de propriedades de desempenho térmico da envoltória da UH proposta são encontrados nas tabelas 13 à 15.

Tabela 13 – Comparação de valores de desempenho térmico de paredes externas e critérios da norma (ABNT, 2013a).

Propriedade	Valores do modelo	Critério mínimo
U_{par} [W/m ² K]	2,32	≤ 2,5
CT_{par} [kJ/m ² K]	667,94	≥ 130

Tabela 14 – Comparação de valores de desempenho térmico de cobertura e critérios da norma (ABNT, 2013a).

Propriedade	Valor do modelo	Critério mínimo	Critério intermediário	Critério superior
U_{cob} [W/m ² K]	0,78	≤ 2,3	≤ 1,5	≤ 1,0

Tabela 15 – Comparação de áreas de aberturas para ventilação do modelo com critérios da norma (ABNT, 2013a).

Janela	Área de Ventilação [m ²]	Área de ventilação mínima [m ²]
Sala	3,375	2,205
Quarto 1	1,688	1,400
Quarto 2	1,688	1,120

Ao observar as Tabelas 13 e 15, é possível verificar que os critérios mínimos das paredes externas e áreas de ventilação foram atendidos. Além disso, os critérios mínimo, intermediário e superior de performance da cobertura foram atendidos, conforme a Tabela 13 Em uma avaliação de desempenho, segundo o método simplificado da NBR 15575 (ABNT, 2013a), a UH poderia apresentar desempenho superior.

7.1.2 MÉTODO COMPUTACIONAL

Valores das temperaturas externa e dos APP no dia de projeto de inverno em quatro rotações diferentes estão descritos na tabela 16 e ilustrados na Figura 3.

Tabela 16 – Comparação de temperaturas mínimas dos APP e externa, em quatro rotações, no dia de projeto de inverno com critérios da norma (ABNT, 2013a).

Rotação	T_e [°C]	T_i Sala [°C]	T_i Quarto 2 [°C]	T_i Quarto 1 [°C]	Critério Mínimo [°C]	Critério Intermediário [°C]	Critério Superior [°C]
0°	-4,23	5,42	6,53	6,77	>-1,23	>0,77	>2,77
90°		5,43	6,53	6,77			
180°		5,43	6,52	6,78			
270°		5,42	6,52	6,78			

Figura 2 – Comparação de temperaturas mínimas dos APP em quatro rotações no dia de projeto de inverno com critérios da norma (ABNT, 2013).

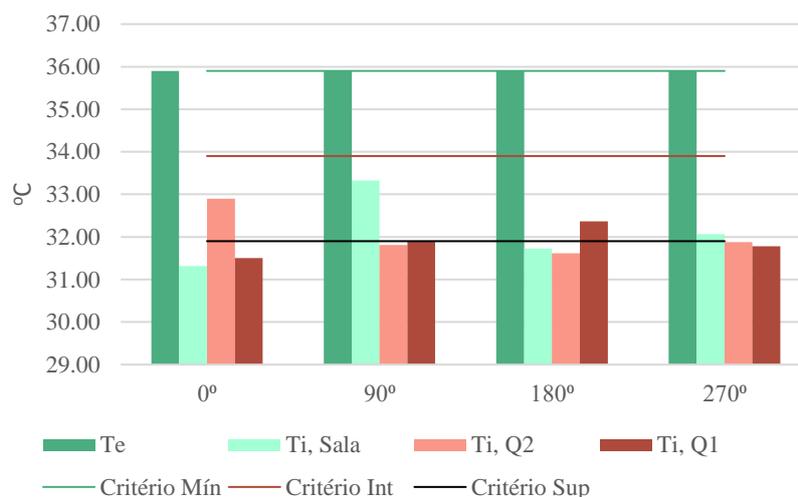


A Tabela 16 e a Figura 2 evidenciam que os critérios mínimo, intermediário e superior das temperaturas internas no dia de inverno foram atendidos. Os valores para a análise das temperaturas internas do dia de verão estão descritos na tabela 17 e Figura 3.

Tabela 17 – Comparação de temperaturas máximas dos APP e externas, em quatro rotações, no dia de projeto de verão com critérios da norma (ABNT, 2013).

Rotação	Te [°C]	Ti Sala [°C]	Ti Quarto 2 [°C]	Ti Quarto 1 [°C]	Critério Mínimo [°C]	Critério Intermediário [°C]	Critério Superior [°C]
0	35,90	31,32	32,90	31,50	<35,90	<33,90	<31,90
90		33,33	31,81	31,90			
180		31,73	31,62	32,37			
270		32,07	31,88	31,78			

Figura 3 – Comparação de temperaturas máximas dos APP em quatro rotações no dia de projeto de verão com critérios da norma (ABNT, 2013a).



A partir da tabela 17 e Figura 3, é possível verificar que os critérios mínimo e intermediário de temperaturas internas para o dia de verão foram atingidos, no entanto o superior não.

Embora o critério superior para as temperaturas do dia de projeto de inverno tenha sido alcançado, a UH não apresentou a mesma performance na simulação do dia de verão, atingindo apenas os critérios intermediários neste. Assim, é possível concluir que se a avaliação de desempenho térmico intermediária seria concedida em uma análise via método computacional nesta iteração da norma.

7.2 DESEMPENHO TÉRMICO DA UH SEGUNDO A NBR 15575:2021

7.2.1 MÉTODO SIMPLIFICADO

A maioria dos critérios do método simplificado mantiveram-se iguais entre iterações da norma e a alteração do requisito mínimo de U_{par} tornou-o mais permissivo, logo, se estes foram atingidos na versão anterior (ABNT, 2013) eles serão alcançados na atual (ABNT, 2021). A alteração mais significativa ocorreu durante a análise de elementos transparentes, conforme a tabela abaixo:

Tabela 18 – Avaliação de critérios de elementos transparentes segundo o método simplificado.

APP	$A_{p,APP}$ [m ²]	$A_{t,APP}$ [m ²]	$P_{t,APP}$ [%]	Critério
Sala	31,50	6,00	19,05	$A_{t,APP} \leq 4,00 \text{ m}^2$
Quarto 1	20,00	3,00	15,00	$P_{t,APP} \leq 20\%$
Quarto 2	16,00	3,00	18,75	$P_{t,APP} \leq 20\%$

através dela, é possível verificar que a sala não atende ao critério da norma, tornando necessária a avaliação por método computacional.

7.2.2 MÉTODO COMPUTACIONAL

Valores para a verificação do critério de desempenho da $PHFT_{UH}$ estão descritos nas tabelas 19 e 20 e na Figura 4. Embora os modelos com ventilação natural garantirem apenas um nível de desempenho mínimo, o critério de desempenho superior, que neste caso é o mesmo que o intermediário, foi adicionado devido ao fato de simulações sem a ventilação natural também terem sido realizadas.

Tabela 19 – Comparação de valores de $PHFT_{APP}$ para os modelos referência e real.

APP	$PHFT_{APP,Ref}$	$PHFT_{APP,Real}$
Sala	53,56%	61,99%
Quarto 1	67,92%	76,71%
Quarto 2	66,22%	76,33%

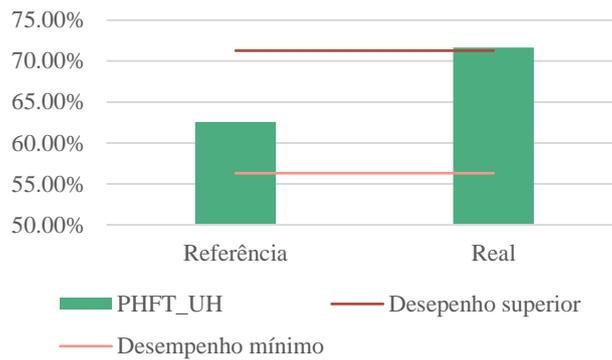
Tabela 20 – Comparação de valores de $PHFT_{UH}$ para os modelos de referência e real.

$PHFT_{UH,Ref}$	$PHFT_{UH,Real}$	$\Delta PHFT_{UH}$
62,57%	71,68%	9,11%

Tabela 21 – Critérios de $PHFT_{UH}$ a serem atingidos.

Critério	Valor
Desempenho mínimo	56,31%
$\Delta PHFT_{min}$	71,28%

Figura 4 – Comparação de valores de $PHFT_{UH}$ com critérios a serem atingidos.



A partir das tabelas acima e, mais claramente, através da Figura 4, é possível verificar que ambos os critérios mínimo e superior foram atingidos. Valores e requisitos de temperaturas operativas estão descritos na tabela abaixo.

Tabela 22 – Comparação de valores de temperaturas operativas com critérios de desempenho.

Critério	Modelo Referência [°C]	Modelo Real [°C]	Valor de critério [°C]
$T_{o_{máxUH}}$	35,28	31,22	$T_{o_{máxUH,Real}} < 33,28$
$T_{o_{mínUH}}$	11,31	13,01	$T_{o_{mínUH,Real}} > 12,31$

que evidencia também o cumprimento de critérios estabelecidos pela norma.

Valores obtidos para as cargas térmicas em horários de ocupação e critérios de redução das cargas térmicas estão descritos nas tabelas 23 à 25.

Tabela 23 – Comparação de cargas térmicas de refrigeração entre modelos de referência e real.

APP	$CgTR_{APP,Ref}$ [kWh/ano]	$CgTR_{APP,Real}$ [kWh/ano]
Sala	686,26	0,00
Quarto 1	49,45	0,00
Quarto 2	91,60	0,00

Tabela 24 – Comparação de cargas térmicas de aquecimento entre modelos de referência e real.

APP	$CgTA_{APP,Ref}$ [kWh/ano]	$CgTA_{APP,Real}$ [kWh/ano]
Sala	686,26	0,00
Quarto 1	49,45	0,00
Quarto 2	91,60	0,00

Tabela 25 – Carga térmica total das UH de referência, real e comparação de redução de carga térmica com critérios de desempenho.

$CgTT_{UH,Ref}$ [kWh/ano]	$CgTT_{UH,Real}$ [kWh/ano]	RedCgTT %	RedCgTT _{mín} %
---------------------------	----------------------------	-----------	--------------------------

1092,67	0,00	100%	35%
---------	------	------	-----

Importante notar que os valores zerados de carga térmica de aquecimento, refrigeração e totais que foram obtidos não representam a falta da necessidade da utilização de um sistema de ar condicionado nos APP da UH, mas sim que em horários em que eles estiveram ocupados, suas temperaturas operativas não estiveram dentro dos intervalos de cálculo estabelecidos pela versão atual da norma, resultando em uma diferença de carga térmica entre modelos referência e real de 100%, excedendo o requisito de desempenho superior de 35% e garantido um nível superior de desempenho térmico.

8. CONCLUSÃO

É nítido o aumento da complexidade para a avaliação de desempenho térmico da versão atualizada da norma em relação à sua antecessora, no entanto, esta não implica em uma amplificação na dificuldade de atingir os seus níveis de desempenho térmico. Em alguns casos, o oposto pode ser observado. Por exemplo, no caso do método simplificado, é possível perceber que o requisito mínimo para o valor de U_{par} é mais fácil de ser atingido.

Percebe-se também, que avaliação de desempenho térmico da norma atualizada é mais focada no método computacional, fazendo com que os níveis intermediário e superior sejam apenas possíveis de ser alcançados através desta metodologia e que esta, embora mais complexa, pode resultar em melhores performances de UH do que sua antecessora. Isso pode ser explicado por ela considerar o desempenho geral da UH ao longo do ano em sua simulação, ao invés de dias de projeto, que representam apenas situações críticas.

Seguindo a versão antecessora da norma atualizada, pode-se observar que a UH escolhida obteve um desempenho superior, segundo o seu método simplificado e uma performance intermediária quando analisada computacionalmente. Neste caso específico, a metodologia simplificada de fato foi o caminho mais fácil para obter esse nível de desempenho, mas que, por só considerar a envoltória da UH, pode não representar a realidade do desempenho térmico de uma edificação unifamiliar.

Ao analisar a versão atualizada, nos deparamos com a situação da UH não atingir um dos requisitos mínimos, referente ao tamanho de superfícies transparentes na sala, então, não garantindo nem um nível mínimo de desempenho segundo o método simplificado. Assim, em uma situação de avaliação de uma UH real, o método computacional deveria ser obrigatoriamente empregado.

No método computacional, todos os critérios de desempenho mínimo, intermediário e superior foram atingidos. Resultado que pode ser atrelado à envoltória empregada, já que não houve alterações nas cargas internas das APP e aos indicadores observados, que analisam situações específicas ao longo de um ano inteiro e não apenas em situações críticas. Notavelmente, observou-se o resultado da redução completa da carga térmica, que não pode ser encarada como um resultado que indicará a falta de necessidade de um ar-condicionado na UH real e sim, como um indicador de que a envoltória empregada poderá auxiliar a UH a ter um desempenho térmico satisfatório para seus residentes.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades.** Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social.** Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais.** Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE.** Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas.** Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais.** Rio de Janeiro, 2021.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Handbook of Fundamentals.** S-I ed. [s.l.]: W. Stephen Comstock, 2005.

CAUS, A. B. **Estudo de Adaptação de Uma Casa Modelo Para Residência Unifamiliar em Porto Alegre.** Monografia de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

BOGO, A. J. **Reflexões Críticas Quanto as Limitações do Texto das Normas Brasileiras de Desempenho NBR 15220-3 e NBR 15575.** Blumenau, 2016.

CARRILHO DA GRAÇA, G.; AUGUSTO, A.; LERER, M. M. **Solar powered net zero energy houses for southern Europe: Feasibility study.** *Solar Energy*, [s. l.], v. 86, n. 1, p. 634–646, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X1100418X?via%3Dihub>>

ENERGYPLUS, U.S.D. of E. **EnergyPlus™ Version 9.3.0 Documentation: Getting Started.** 2021. Disponível em: <<https://energyplus.net/documentation>>. Acesso em 20 out. 2021.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Interativo – Panorama – Consumo Total.** 2021. Disponível em <<http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/analisis/>>. Acesso em 03 nov. 2021.

ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. **Adapting Buildings and Cities for Climate Change. 2. Ed.** Oxford: Architectural Press, 2009. 385 p.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Uma Proposta de Norma Técnica Brasileira Sobre Desempenho Térmico de Habitações Populares. Anais do ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO.** Fortaleza: ANTAC, 1999.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Análise do Método de Simulação no Desempenho Térmico da Norma NBR 15.575.** Paranoá, Brasília, 2014.

ANEXO A – PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO UTILIZADOS

Tabela A.1: Detalhamento de construções utilizadas na UH proposta.

Construção	Camadas da Construção
Paredes Externas	Reboco(25mm); Tijolo Refratário (190mm); Reboco (25mm)
Paredes Internas	Gesso (10mm); Tijolo Refratário (190mm); Gesso (10mm)
Piso	Madeira de lei (12,9mm); Concreto (10mm)
Cobertura	Superfície de metal (0,8 mm); Poliestireno expandido (25mm); Superfície de metal (0,8 mm); Camada de ar; Gesso (10mm)
Janelas	Vidro laminado

Tabela A.2 – Propriedades de materiais construtivos de UH estudada

Material	k [W/(m.K)]	ρ [kg/m ³]	C_p [J/(kg.K)]	ϵ	α_{solar}	$\alpha_{visível}$
Reboco	0,72	1856	840	0,9	0,7	0,7
Tijolo refratário	0,895	1820	790	0,9	0,7	0,7
Gesso	0,2	850	850	0,9	0,7	0,7
Concreto	1,6	2300	850	0,9	0,7	0,7
Superfície de metal	45,28	7824	500	0,9	0,7	0,7
Poliestireno expandido	0,037	16	1210	-	-	-
Madeira de lei	0,167	680	1630	0,9	0,7	0,7

Tabela A.3 – Propriedades térmicas de paredes e pisos para o modelo de referência.

Fonte: ABNT, 2021

Elemento	Condutividade térmica [W/(m.K)]	Calor Específico [J/(kg.K)]	Absortância à radiação solar	Emissividade de onda longa	Densidade [kg/m ³]
Paredes Externas	1,75	1000	0,58	0,90	2200
Paredes Internas	1,75	1000	Adotar valor do modelo real	Adotar valor do modelo real	2200
Pisos	1,75	1000	Adotar valor do modelo real	Adotar valor do modelo real	2200

Tabela A.4 – Propriedades térmicas da cobertura para o modelo de referência. Fonte: ABNT, 2021.

Elemento	Condutividade térmica [W/(m.K)]	Calor Específico [J/(kg.K)]	Absortância à radiação solar	Emissividade de onda longa	Densidade [kg/m ³]
Telha	0,65	840	0,65	0,90	1700
Laje	1,75	1000	Adotar valor do modelo real	Adotar valor do modelo real	2200

Tabela A.5: Características dos perfis de esquadrias para modelo de referência. Fonte: ABNT, 2021.

Elemento	Absortância à radiação solar dos perfis	Emissividade de onda longa dos perfis	Condutância térmica [W/(m ² .K)]	Largura dos perfis de esquadria mm
Elementos transparentes	0,58	0,90	56,00	50,00

Tabela A.6 – Padrões de ocupação utilizados nos modelos de referência e real. Fonte: ABNT, 2021.

Horário	Dormitório [%]	Sala [%]
00:00-7:59	100	0
08:00-13:59	0	0
14:00-17:59	0	50
18:00-21:59	0	100
22:00-23:59	100	0

Tabela A.7 – Taxa metabólica e fração radiante para os usuários. Fonte: ABNT, 2021

Ambiente	Atividade realizada	Calor produzido por área de superfície corporal [W/m ²]	Calor produzido por uma pessoa de 1,80 m ² de superfície corporal [W]	Fração radiante
Dormitório	Dormindo ou descansando	45	81	0,3
Sala	Sentado ou assistindo TV	60	108	0,3

Tabela A.8 – Padrões de uso do sistema de iluminação artificial dos APP. Fonte: ABNT, 2021.

Horário	Dormitório [%]	Sala [%]
00:00-05:59	0	0
06:00-7:59	100	0

08:00-15:59	0	0
16:00-21:59	0	100
22:00-23:59	100	0

Tabela A.9 – Parâmetros dos sistemas de iluminação dos APP. Fonte: ABNT, 2021.

Ambiente	DPI W/m ²	Fração radiante	Fração visível
Dormitório	5,00	0,32	0,23
Sala	5,00	0,32	0,23

Tabela A.10 – Padrões de uso e cargas de equipamentos elétricos dos APP. Fonte: ABNT, 2021.

Ambiente	Período de uso	Potência [W]	Fração radiante
Sala	14:00-21:59	120	0,3

Tabela A.11 – Parâmetros de ventilação natural para portas e janelas nos APP e APT

Parâmetros	Portas	Janelas
Coefficiente de fluxo de ar por frestas quando a abertura está fechada [kg/(s.m)]	0,0024	0,00063
Expoente de fluxo de ar por frestas quando a abertura está fechada	0,59	0,63
Coefficiente de descarga (C _d) da abertura	0,60	0,60

ANEXO B – FIGURAS RETIRADAS DE NORMAS ABNT

Figura B.1 – Zonas bioclimáticas brasileiras. Fonte: ABNT, 2005b.

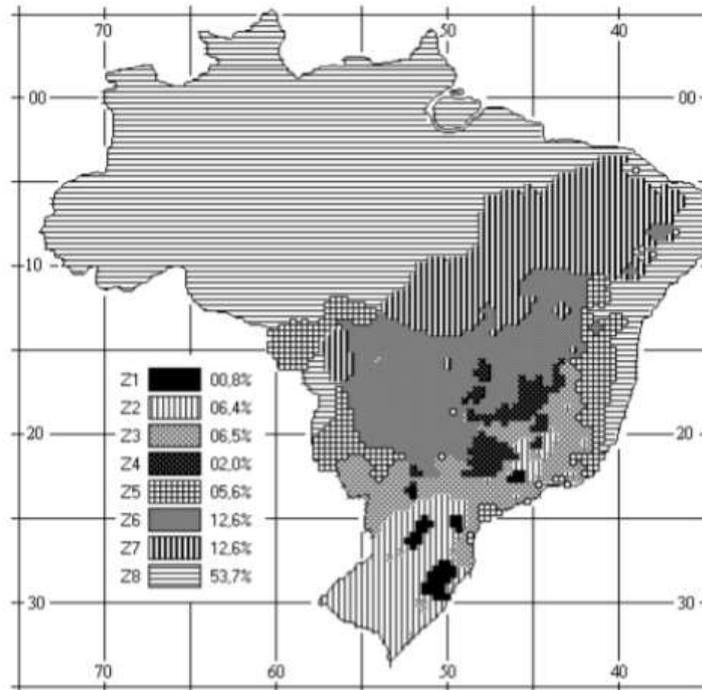


Figura B.2 – Fluxograma das metodologias de análise de desempenho térmico. Fonte: ABNT, 2021

