



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS - CAMPUS PALMAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

GABRIEL VILA NOVA AGUIAR

**DESEMPENHO TÉRMICO SEGUNDO A ABNT NBR 15.575 EM UMA
EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR SERIADA NO MUNICÍPIO DE PALMAS – TO**

**PALMAS – TO
2020**

GABRIEL VILA NOVA AGUIAR

**DESEMPENHO TÉRMICO SEGUNDO A ABNT NBR 15.575 EM UMA
EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR SERIADA NO MUNICÍPIO DE PALMAS – TO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel no Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Liliane Flávia Guimarães da Silva

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Elen Oliveira Vianna

**PALMAS – TO
2020**

GABRIEL VILA NOVA AGUIAR

**DESEMPENHO TÉRMICO SEGUNDO A ABNT NBR 15.575 EM UMA
EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR SERIADA NO MUNICÍPIO DE PALMAS – TO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel no Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Liliane Flávia Guimarães da Silva

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Elen Oliveira Vianna

Aprovado em: ____/____/____

BANCA AVALIADORA

Orientadora Prof^a. Dr^a. Liliane Flávia Guimarães da Silva
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFTO)

Co-Orientadora Prof^a. Dr^a. Elen Oliveira Vianna
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFTO)

Examinador Prof. Me. Octaviano Sidnei Furtado
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFTO)

Examinador Prof. Me. Thyago Phellip França Freitas
Centro de Ensino Superior de Palmas (CESUP)

**PALMAS – TO
2020**

RESUMO

A partir do surgimento da norma de desempenho ABNT NBR 15575 (2013), iniciou-se um processo de transformação na forma de se conceber e produzir edifícios residenciais, envolvendo toda a cadeia produtiva, composta por construtores, projetistas, fornecedores e usuários, em todo o território brasileiro. Dentre os tipos de desempenhos normatizados, este estudo foca em desempenho térmico, fator importante para garantir o bem-estar do usuário final, tendo em vista que ao projetar e planejar uma edificação levando em consideração o clima da região na qual está localizada, esta torna-se confortável, além de refletir diretamente na economia de energia. A cidade de Palmas – TO está localizada em uma região de clima predominantemente quente, e diante destas condições, surge a necessidade da realização de trabalhos que verifiquem a validade dos procedimentos de avaliação de desempenho térmico descritos na norma para regiões com essa característica. À vista disso, esta pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho térmico de uma edificação residencial em Palmas – TO, localizada na zona bioclimática 7, em um episódio quente e seco, segundo critérios estabelecidos pela ABNT NBR 15575 (2013), por meio do método simplificado e da medição *in loco*. A partir da realização dos procedimentos de análise segundo orientações da norma, pôde-se constatar o atendimento aos requisitos mínimos de desempenho por parte da edificação estudada, porém, algumas dificuldades e limitações foram observadas.

Palavras-chave: Desempenho térmico; ABNT NBR 15575 (2013); simplificado; medição.

ABSTRACT

From the appearance of the ABNT NBR 15575 (2013) performance standard, a transformation process began in the way of designing and producing residential buildings, involving the entire production chain, composed of builders, designers, suppliers and users, throughout the Brazilian territory. Among the types of standardized performances, this study focuses on thermal performance, an important factor to ensure the well-being of the end user, considering that when designing and planning a building taking into account the climate of the region in which it is located, it makes comfortable, as well as directly reflecting on energy savings. The city of Palmas - TO is located in a region with a predominantly hot climate, and given these conditions, there is a need to carry out works that verify the validity of the thermal performance evaluation procedures described in the standard for regions with this characteristic. In view of this, this research aimed to evaluate the thermal performance of a residential building in Palmas - TO, located in the bioclimatic zone 7, in a hot and dry episode, according to criteria established by ABNT NBR 15575 (2013), using the method simplified and on-site measurement. From the performance of the analysis procedures according to guidelines of the standard, it was possible to verify the compliance with the minimum performance requirements by the studied building, however, some difficulties and limitations were observed.

Keywords: Thermal performance; ABNT NBR 15575 (2013); simplified; measurement.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Exigências do usuário.	18
Quadro 2 - Valores máximos admitidos para a transmitância térmica de paredes externas.....	21
Quadro 3 - Valores mínimos admitidos para a capacidade térmica de paredes externas.....	22
Quadro 4 - Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar	22
Quadro 5 - Critérios e níveis de desempenho de coberturas quanto à transmitância térmica	23
Quadro 6 - Pesquisas aplicadas à Palmas – TO.....	28
Quadro 7 - Massa aparente, condutividade térmica e calor específico dos materiais utilizados na edificação em estudo.....	44
Quadro 8 - Resistência térmica superficial interna e externa e Resistência térmica de câmaras de ar utilizados na edificação em estudo.....	45
Quadro 9 - Médias das temperaturas registradas ao longo dos dias.	51
Quadro 10 - Coeficientes de correlação entre equipamentos.	52
Quadro 11 - Temperaturas máximas e mínimas - terceiro dia.	55
Quadro 12 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.	56
Quadro 13 - Critérios e níveis de desempenho da edificação.	56
Quadro 14 - Critérios e níveis de desempenho da edificação - Utilizando dados do INMET.	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Características e divisões da norma de desempenho.....	18
Figura 2 - Avaliação do desempenho térmico	20
Figura 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro.....	25
Figura 4 - Localização da edificação.	32
Figura 5 - Planta de situação.....	32
Figura 6 - Planta de localização.	33
Figura 7 - Planta baixa.	34
Figura 8 - Corte AA.	35
Figura 9 - Corte BB.	35
Figura 10 - Termo-higrômetro e transmissor KlimaLogg Pro.....	38
Figura 11 - Estação Meteorológica INSTRUTEMP.	39
Figura 12 - Termo-higrômetro HOBO	40
Figura 13 - Disposição dos equipamentos.	41
Figura 14 - Equipamentos: Ponto de aferição 1.	42
Figura 15 - Equipamentos: Ponto de aferição 2.	42
Figura 16 - Equipamentos: Ponto de aferição 3.	43
Figura 17 - Equipamentos: Ponto 4.....	43
Figura 18 - Abertura (h) em beirais, para ventilação do ático.....	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperaturas registradas pelo Termo-higrômetro HOBO U12-013.	49
Gráfico 2 - Temperaturas registradas pelo data logger INSTRUTEMP.	49
Gráfico 3 - Temperaturas registradas pelos transmissores KlimaLogg Pro.	50
Gráfico 4 - Temperaturas registradas pelos três equipamentos.	51
Gráfico 5 - Dispersão de dados: Termo-higrômetro HOBO x Transmissor KlimaLogg Pro.	53
Gráfico 6 - Dispersão de dados: Termo-higrômetro HOBO x Data Logger INSTRUTEMP.	53
Gráfico 7 - Dispersão de dados: Transmissor KlimaLogg Pro x Data Logger INSTRUTEMP (Ponto de aferição 1 - Sala).	54
Gráfico 8 - Dispersão de dados: Transmissor KlimaLogg Pro x Data Logger INSTRUTEMP (Ponto de aferição 4 – Área externa).	54
Gráfico 9 - Temperaturas registradas pelos transmissores KlimaLogg Pro no terceiro dia.	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CEN - Comitê Europeu de Normalização
CT - Capacidade Térmica
EPB - *Energy Performance of Buildings* (Desempenho Energético de Edifícios)
EPBD - *Energy Performance of Buildings Directive* (Diretiva de desempenho energético dos edifícios)
EU - União Europeia
FV - Fator de Ventilação
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
ISO - *International Standardization Organization*
NBR - Norma Brasileira
SVVE - Sistema de Vedação Vertical Externa

LISTA DE SÍMBOLOS

c - Calor Específico

$^{\circ}\text{C}$ - Grau Celsius

A - Absortância

λ - Condutividade Térmica

ρ - Massa Aparente

R - Resistência Térmica

R_{ar} - Resistência térmica de câmaras de ar

R_{se} - Resistência térmica superficial externa

R_{si} - Resistência térmica superficial interna

U - Transmitância Térmica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	14
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 NORMATIZAÇÃO EM DESEMPENHO TÉRMICO	16
2.1.1 Propriedades térmicas dos elementos construtivos	20
2.1.1.1 Transmissão térmica	20
2.1.1.2 Capacidade térmica.....	21
2.1.2 Requisitos e Critérios	21
2.1.2.1 Paredes externas	21
2.1.2.2 Sistemas de cobertura.....	22
2.2 O CONTEXTO CLIMÁTICO DA CIDADE DE PALMAS	23
2.2.1 Zonas Bioclimáticas	24
2.3 APLICAÇÕES DA NORMA ABNT NBR 15575 (2013).....	25
2.3.1 Experiência Brasileira.....	25
2.3.2 Pesquisas aplicadas à cidade de Palmas – TO	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.1 TIPO DE ESTUDO	31
3.2 OBJETO DE ESTUDO	31
3.3 PROCEDIMENTOS.....	36
3.3.1 Procedimento 1 - Método Simplificado	36
3.3.2 Procedimento 2 - Medição.....	36
3.4 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS.....	37
3.4.1 Termo-higrômetro e transmissores KlimaLogg Pro	37
3.4.2 Estação Meteorológica INSTRUTEMP.....	39
3.4.3 Termo-higrômetro HOBO	40
3.4.4 Disposição dos equipamentos.....	40
4 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE DOS DADOS	44
4.1 MÉTODO SIMPLIFICADO	44
4.1.1 Resultados obtidos	45

4.1.1.1 Sistema de vedações verticais	45
4.1.1.2 Sistema de cobertura	46
4.1.2 Análise do desempenho	46
4.2 MEDIÇÃO.....	48
4.2.1 Dados obtidos	48
4.2.2 Validação dos dados	52
4.2.3 Análise do desempenho	55
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E LIMITAÇÕES DA PESQUISA	58
REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

Desempenho é definido pela ABNT NBR 15575 (2013, p. 7), como o “comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas”. Portanto, para garantir um desempenho satisfatório, as edificações devem apresentar características que as possibilitem cumprir os requisitos para os quais foram projetadas, e desta forma, garantir o bem-estar de seus usuários finais (COSTELLA, 2018).

Com o surgimento da normatização de desempenho, iniciou-se um processo de transformação na forma de se conceber e produzir edifícios residenciais, envolvendo toda a cadeia produtiva, composta por construtores, projetistas, fornecedores e usuários, em todo o território brasileiro. Hoje, é consenso que as habitações devam proporcionar conforto e segurança a seus usuários, atendendo a suas necessidades ao longo de sua vida útil (OKAMOTO; MELHADO, 2014; SORGATO *et al.*, 2014).

Conforme especificado pela ABNT NBR 15575 (2013), para que uma edificação satisfaça seus usuários, determinados requisitos devem ser atendidos, obedecendo critérios estabelecidos para cada um deles. Com o objetivo de garantir condições básicas, os diferentes sistemas têm requisitos mínimos de desempenho (M), os quais devem sempre serem considerados e atendidos. Para incentivar a melhoria da qualidade das edificações, são estabelecidos níveis mais elevados, denominados de intermediário (I) e superior (S), os quais devem atender requisitos com maior rigor. Independente dos materiais e métodos construtivos utilizados, essa norma define os níveis de desempenho mínimos, portanto, a partir desta abordagem, a norma incentiva o desenvolvimento tecnológico, a criação de novos sistemas, e a melhoria dos já consagrados (DONATO; BRAGA, 2018; SOUZA; KERN; TUTIKIAN, 2018).

A normatização do desempenho para edificações gerou desafios e responsabilidades aos projetistas, fornecedores de materiais, construtores, incorporadores e usuários. O atendimento às normas em vigor é obrigatório e previsto na legislação. Souza (2016, p. 16), cita que:

Está definido na Lei nº 8.078/90, Código de Defesa do Consumidor, que é proibido ao fornecedor colocar no mercado qualquer produto ou serviço em desacordo com as normas técnicas (art. 39), estando sujeito a multa, interdição e outras penalidades (art. 18). Já a Lei nº 8.666/93, Lei das licitações, obrigatória para órgãos públicos realizarem contratações, estipula que os projetos devem estar de acordo com as normas técnicas.

Apesar desta Norma de Desempenho já estar em vigor há alguns anos, atualmente, grande parte das empresas de construção civil ainda desconhecem ou simplesmente ignoram a necessidade de atender aos requisitos de desempenho, entre eles, requisitos ligados ao conforto térmico das edificações.

Dentre os tipos de desempenhos normatizados, este estudo foca em desempenho térmico, fator importante para garantir o bem-estar do usuário final, tendo em vista que ao projetar e planejar uma edificação levando em consideração o clima da região na qual está localizada, esta torna-se confortável, além de refletir diretamente na economia de energia.

1.1 JUSTIFICATIVA

A cidade de Palmas – TO está localizada em uma região de clima predominantemente quente, com temperaturas máximas superiores a 30°C em todos os meses do ano, conforme dados divulgados pelo INMET (2020), e diante destas condições, surge a necessidade da realização de trabalhos que verifiquem a validade dos procedimentos de avaliação de desempenho térmico descritos na ABNT NBR 15575 (2013) para regiões com essa característica.

Segundo Mattos (2015), há uma crescente preocupação dos profissionais da construção quanto à qualidade das edificações, porém, a grande maioria ainda carece de projetos de qualidade que favoreçam o bom desempenho térmico durante a utilização, fato que se agrava ainda mais em regiões de climas quentes, a exemplo de Palmas.

A partir da normatização, ao longo dos anos, foram realizados diversos estudos com foco em desempenho térmico de edificações, e com isso, o surgimento de dúvidas e questionamentos. Desta forma, este trabalho contribuirá com a avaliação prática a respeito da aplicabilidade dos procedimentos descritos pela norma, em uma região de clima quente.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho térmico de uma edificação residencial em Palmas – TO, localizada na zona bioclimática 7, em um episódio quente e seco, segundo critérios estabelecidos pela ABNT NBR 15575 (2013), por meio do método simplificado e da medição *in loco*.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar a influência de parâmetros construtivos na variação da temperatura interna;
- Realizar uma comparação estatística entre os equipamentos utilizados;
- Realizar uma avaliação crítica da ABNT NBR 15575 (2013).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 NORMATIZAÇÃO EM DESEMPENHO TÉRMICO

A concepção de desempenho da norma ISO 6241 (ISO, 1984), foi um marco na prática de aplicação do conceito de desempenho em relação a edificações, sendo incorporada em diversos países. Este conceito começou a ser formulado em meados do século XX durante a década de 1960, na França, onde Blachere (1969) associou o comportamento do edifício em sua utilização ao desempenho (LORENZI; SILVA FILHO, 2014).

A nível mundial, recentemente, uma nova família de normas foi publicada pelos órgãos de normalização (ISO ou EN ISO). Estas normas são denominadas *Energy Performance of Buildings – EPB* (Desempenho Energético de Edifícios), e foram desenvolvidas para apoiar a *Energy performance of buildings directive – EPBD* (Diretiva de desempenho energético dos edifícios), que trata de um dos principais instrumentos legislativos para promover o desempenho energético dos edifícios e estimular a renovação na União Europeia (UE).

Este conjunto de normas permite avaliar o desempenho energético geral de um edifício, estando algumas delas disponíveis em nível global (a família de normas EN ISO 52000 – *EPB*, a exemplo de: EN ISO 52000-1; EN ISO 52003-1; EN ISO 52010-1; EN ISO 52016-1; e EN ISO 52018-1), enquanto outras no momento estão disponíveis a nível europeu (normas CEN) (VAN DIJK; HOGELING, 2019).

No Brasil, perante a necessidade de estabelecer critérios em relação a qualidade das edificações, foi criada, em 2003, a primeira norma de desempenho, a ABNT NBR 15220 (2003). Esta norma tratava apenas do desempenho térmico, estabelecendo estratégias e requisitos construtivos em decorrência dos parâmetros climáticos brasileiros para edificações unifamiliares de interesse social (ALMEIDA; REINALDO; SILVA, 2016).

A ABNT NBR 15220 (2003), está dividida em cinco partes: a primeira trata das definições, símbolos e unidades; a segunda discorre sobre os métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações; a terceira parte refere-se ao zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social; já a quarta parte aborda a medição da resistência térmica e da

condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida; e por fim, a quinta e última parte trata da medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico (ABNT, 2003).

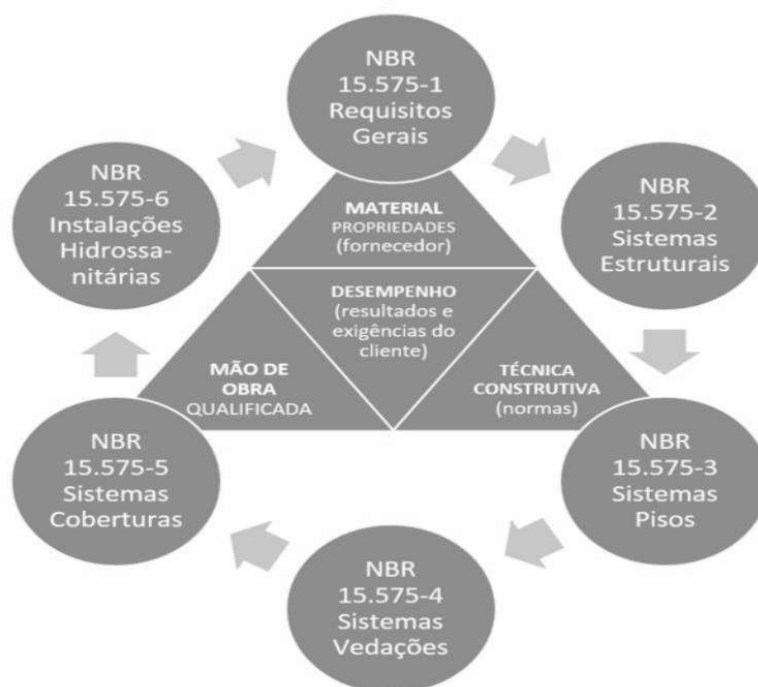
Devido à limitação da ABNT NBR 15220 (2003), por aplicar-se apenas a edificações unifamiliares de interesse social, posteriormente, iniciou-se o processo de desenvolvimento da ABNT NBR 15575 (2013), para edificações residenciais. Sua primeira versão foi publicada em 2008, entrando em vigor em maio de 2012, trazendo requisitos de desempenho, garantia e vida útil para os sistemas que compõem as edificações. Dentre estes requisitos, alguns são: desempenho térmico, desempenho lumínico, desempenho acústico e durabilidade. Em 2012, o setor da construção civil solicitou a revisão da norma, sendo publicada então em fevereiro de 2013 a sua versão final, entrando em vigor em julho do mesmo ano (SORGATO; MELO; LAMBERTS, 2014).

A ABNT NBR 15575 (2013), está dividida em seis partes, sendo elas:

- Parte 1 - Requisitos gerais;
- Parte 2 - Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3 - Requisitos para os sistemas de pisos;
- Parte 4 - Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- Parte 5 - Requisitos para os sistemas de coberturas;
- Parte 6 - Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Segundo Souza (2016), o desempenho desses sistemas depende das características dos materiais utilizados, das técnicas construtivas empregadas e da capacitação da mão de obra executora. A Figura 1, a seguir, ilustra as partes da norma e as relações que resultam no desempenho.

Figura 1 - Características e divisões da norma de desempenho.



Fonte: Souza (2016, p. 20).

O foco da norma está no comportamento em uso dos elementos e sistemas do edifício perante o atendimento dos requisitos dos usuários, e não na prescrição de como os sistemas são construídos. Desta forma, a norma foi organizada levando em consideração as condições de implantação e as exigências dos usuários, definindo características qualitativas, as quais se pretende atender, estabelecendo critérios quantitativos. Estes requisitos devem ser atendidos de forma a promover segurança, habitabilidade e sustentabilidade, contendo solicitações particulares para cada um destes, conforme representado pelo Quadro 1 (ASBEA, 2013).

Quadro 1 - Exigências do usuário.

Segurança	Habitabilidade	Sustentabilidade
Segurança estrutural.	Estanqueidade.	Durabilidade.
Segurança contra o fogo.	Desempenho térmico.	Manutenibilidade.
Segurança no uso e na operação.	Desempenho acústico.	Impacto ambiental.
-	Desempenho lumínico.	-
-	Saúde, higiene e qualidade do ar.	-
-	Funcionalidade e acessibilidade.	-
-	Conforto tátil e antropodinâmico.	-

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2013, p. 11) – Adaptado pelo autor.

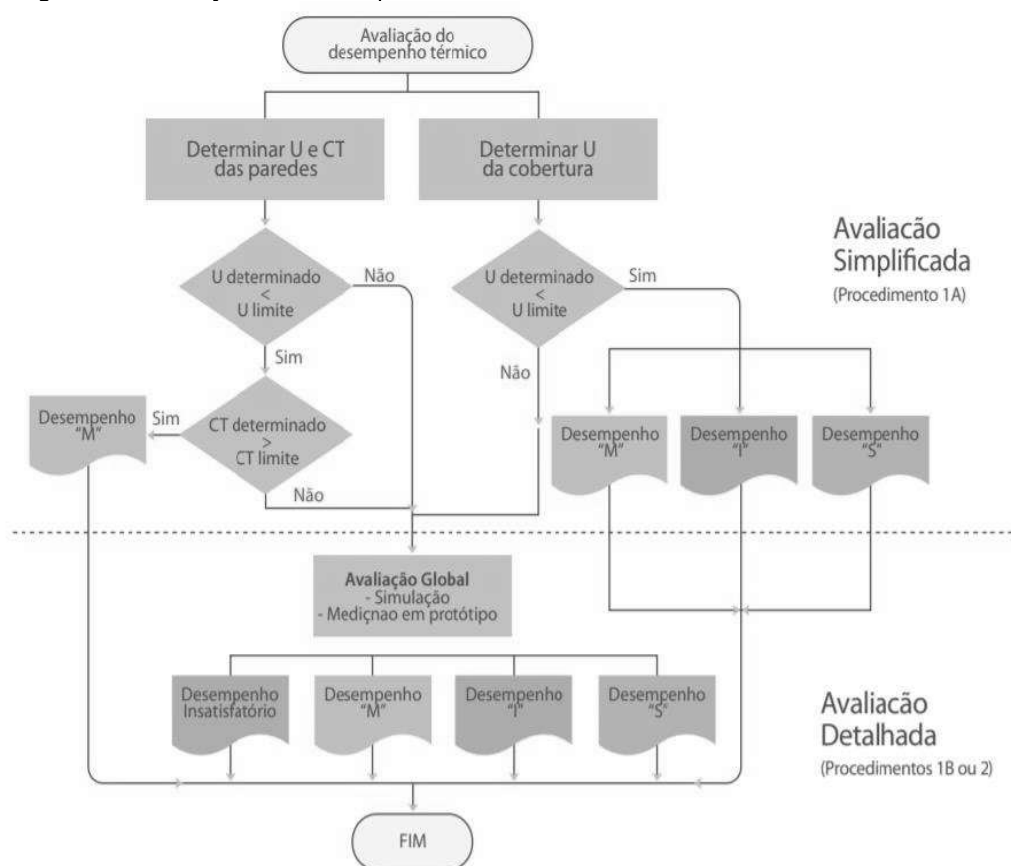
A norma também apresenta as incumbências dos envolvidos no processo de construção. Furlanetto (2017), resume as responsabilidades da seguinte forma:

- Fornecedor de insumo, material, componente e/ou sistema: “Deve comprovar o desempenho de seu produto, através de normas brasileiras ou estrangeiras”;
- Projetista: “Deve se encarregar de especificar em seu projeto, materiais, produtos e processos que consigam atender o desempenho e atingir o tempo de vida útil de projeto”;
- Construtor e incorporador: “Deve identificar os riscos do terreno a se construir, através de estudos técnicos e *checklist* contendo possíveis ameaças ao bom desenvolvimento da obra, elaborar manual de uso, operação e manutenção, que irá orientar o cliente, elaborar garantias, que devem ser entregues aos proprietários”;
- Usuário: “Deve seguir o manual de uso operação e manutenção, realizando manutenções preventivas, para que consiga manter a garantia de seu produto”.

A Parte 1 da ABNT NBR 15575 (2013), estabelece três procedimentos para se avaliar o desempenho térmico das edificações, sendo eles: procedimento simplificado, simulação e medição. No procedimento simplificado, verifica-se o atendimento aos requisitos e critérios para fachadas e coberturas, presentes nas partes 4 e 5 da norma. Caso a edificação não atinja as condições estabelecidas pelo primeiro procedimento, parte-se então à simulação, onde verifica-se o atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na parte 1, através do uso de *softwares* de simulação computacional. O procedimento simplificado e a simulação são normativos e determinantes quanto à avaliação da edificação. Já no procedimento de medição, verifica-se o atendimento aos requisitos e critérios através da avaliação da própria edificação ou protótipo, com o uso de equipamentos, sendo este método, uma forma de constatação das informações, sem se sobrepor às demais (SORGATO; MELO; LAMBERTS, 2014).

A Figura 2, a seguir, representa um fluxograma de atendimento aos critérios para U (transmitância térmica) e CT (capacidade térmica). A avaliação simplificada prevê para as paredes apenas o nível mínimo (M) de atendimento, sendo este obrigatório. Para classificação do sistema de fachadas em níveis superiores como: intermediário (I), ou superior (S), haverá necessidade de realização do procedimento de simulação (avaliação detalhada).

Figura 2 - Avaliação do desempenho térmico



Fonte: CBIC (2013, p. 139).

2.1.1 Propriedades térmicas dos elementos construtivos

2.1.1.1 Transmitância térmica

Segundo Lamberts; Dutra; Pereira (1997), em uma edificação, as trocas de energia entre os meios externos e internos têm como base o envelope construtivo, contendo em cada uma das camadas de um fechamento, uma resistência térmica distinta. Resistência térmica (R) de um material é a sua propriedade em resistir à passagem do calor, portanto, quanto maior a espessura de um material, maior será a resistência à passagem.

A ABNT NBR 15220 (2003), define algebricamente Transmitância térmica (U) como o inverso da Resistência térmica total, sendo esta o “somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa”. Resistência superficial interna é definida pela norma como “resistência térmica da camada de ar adjacente à

superfície interna de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção”. Já a Resistência superficial externa é definida como “resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície externa de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção”.

2.1.1.2 Capacidade térmica

A capacidade térmica é uma propriedade dos materiais construtivos que indica a capacidade em reter calor. Desta forma, um material de grande capacidade térmica necessita de uma grande quantidade de calor para variar a temperatura de seus componentes. É através do valor de capacidade térmica que se pode avaliar a contribuição de um determinado material no que diz respeito à inércia térmica para um ambiente. O cálculo de capacidade térmica está presente na ABNT NBR 15220-2 (2003) (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

2.1.2 Requisitos e Critérios

2.1.2.1 Paredes externas

Os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica (U) das paredes externas estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Valores máximos admitidos para a transmitância térmica de paredes externas.

Transmitância Térmica U W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
^a α é absorptância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2013, p. 27).

Os valores mínimos admissíveis para a capacidade térmica (CT) das paredes externas estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Valores mínimos admitidos para a capacidade térmica de paredes externas.

Capacidade térmica (CT) kJ / m².K	
Zonas 1,2, 3, 4, 5, 6 e 7	Zona 8
≥ 130	Sem requisito

Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2013, p. 27).

Os métodos de cálculo da transmitância e da capacidade térmica das paredes, junto aos valores das propriedades físicas necessárias para os cálculos, como: condutividade térmica e calor específico de uma série de materiais, além dos coeficientes de troca de calor superficial por convecção e radiação estão presentes na ABNT NBR 15220-2 (2003).

Outro requisito presente na norma diz respeito às aberturas para ventilação. Segundo a ABNT NBR 15575-4 (2013), as edificações devem apresentar aberturas nas fachadas com dimensões adequadas para proporcionar a ventilação interna dos ambientes. Este requisito é exigido apenas para os ambientes de longa permanência. Os ambientes de permanência prolongada devem ter aberturas para ventilação com áreas que atendam à legislação específica do local da obra. Caso não haja exigências de ordem legal, para o local de implantação da obra, devem ser adotados os valores presentes no Quadro 4 a seguir.

Quadro 4 - Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar

Nível de desempenho	Aberturas para Ventilação (A)	
	Zonas 1 a 7 Aberturas médias	Zona 8 Aberturas grandes
Mínimo	A ≥ 7% da área de piso	A ≥ 12 % da área de piso – região norte do Brasil. A ≥ 8 % da área de piso – região nordeste e sudeste do Brasil
Nota: nas zonas de 1 a 6 as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.		

Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2013, p. 28).

2.1.2.2 Sistemas de cobertura

Os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica (U) das coberturas, considerando fluxo térmico descendente, em função das zonas bioclimáticas, são indicados no Quadro 5.

Quadro 5 - Critérios e níveis de desempenho de coberturas quanto à transmitância térmica

Transmitância térmica (U) W/m²K						
Zonas 1 e 2		Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8 ¹⁾		Nível de desempenho
U ≤ 2,3	α ^a ≤ 0,6	α ^a > 0,6	α ^a ≤ 0,4	α ^a > 0,4	M	
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FV	U ≤ 1,5 FV		
U ≤ 1,5	α ^a ≤ 0,6	α ^a > 0,6	α ^a ≤ 0,4	α ^a > 0,4	I	
	U ≤ 1,5	U ≤ 1,0	U ≤ 1,5 FV	U ≤ 1,0 FV		
U ≤ 1,0	α ^a ≤ 0,6	α ^a > 0,6	α ^a ≤ 0,4	α ^a > 0,4	S	
	U ≤ 1,0	U ≤ 0,5	U ≤ 1,0 FV	U ≤ 0,5 FV		

^a Na zona bioclimática 8 também estão atendidas coberturas com componentes de telhas cerâmicas, mesmo que a cobertura não tenha forro.

NOTA O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220/2.

Fonte: ABNT NBR 15575-5 (2013, p. 52).

2.2 O CONTEXTO CLIMÁTICO DA CIDADE DE PALMAS

A cidade de Palmas – TO está localizada em uma região com predominância de altas temperaturas durante praticamente o ano todo. Segundo Pires (2017), o clima de sua área de estudo na qual a cidade de Palmas está inserida, é tropical úmido com estação seca (Aw), de acordo com a classificação de Koppen-Geiger, o que contribui para as altas temperaturas existentes na região. A temperatura média anual na cidade de Palmas, é de aproximadamente 26°C, porém no mês de setembro as temperaturas médias mínima e máxima, são de 22°C e 36°C, respectivamente, já no mês de julho, a temperatura mínima média é de 15°C, e a temperatura máxima média é de 33°C (PIRES, 2017).

De acordo com a classificação de *Thornthwaite-Mather*, a cidade de Palmas está inserida em uma região de clima C2wa'a'', tendo como característica climática um clima úmido/subúmido com deficiência hídrica moderada no período de inverno, evapotranspiração potencial média anual de 1.500 mm, distribuída no verão em torno de 420 milímetros ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada (SEPLAN, 2012).

A insolação média anual apresenta-se em torno de 2293,1 horas de um total de 4380 horas possíveis, gerando uma taxa de 1397,8 mm de evaporação anual. A precipitação anual está em torno de 1301,2 mm. Do ponto de vista pluvial, o ano é dividido em dois períodos bem definidos: a primavera-verão (período chuvoso) e o outono-inverno (período seco) (SEPLAN, 2012).

Segundo Freitas (2015), Palmas possui um clima tropical com estação seca no inverno com influência direta da continentalidade. Apresenta temperaturas máximas de maio a setembro com estabilidade, forte amplitude e noites/madrugadas com temperaturas mais brandas; e médias de outubro a abril com instabilidade, sequências de dias chuvosos, podendo apresentar ao longo dos dias, temperaturas mais baixas.

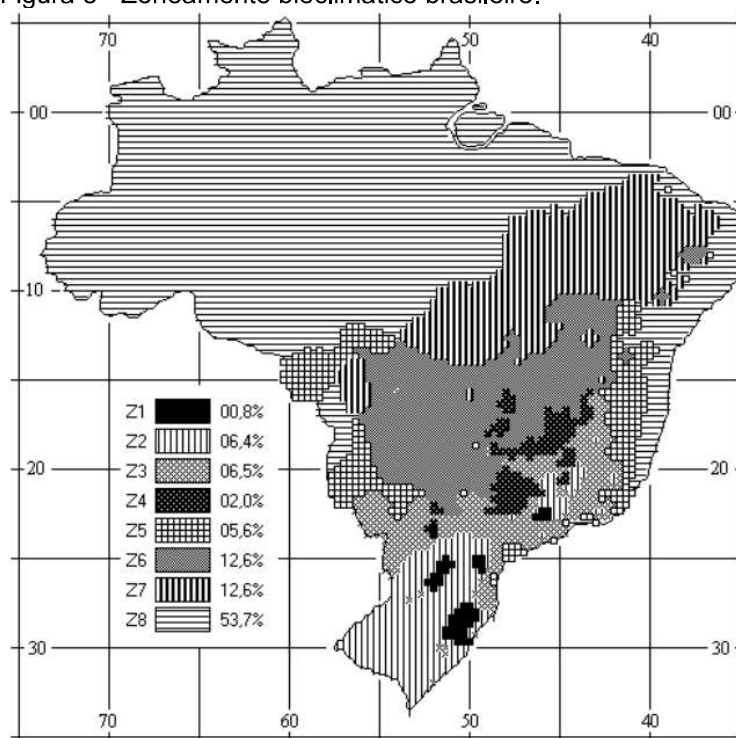
Lima; Barbosa; Silva (2014), descrevem o clima de Palmas como dois períodos: um quente e úmido, com altas temperaturas, pluviosidade elevada, baixas amplitudes térmicas e velocidades médias de vento reduzidas, entre os meses de outubro e abril; outro com características quente e seco, com altas temperaturas, maior amplitude térmica, baixíssima precipitação e maiores velocidades médias de vento, período este de maio a setembro.

2.2.1 Zonas Bioclimáticas

O Brasil, em função de sua ampla extensão territorial, apresenta considerável diversidade climática, desta forma, condições variáveis. Portanto, há uma grande variedade de soluções aplicadas a diferentes regiões. Nesse sentido, a ABNT NBR 15575 (2013), tem seus parâmetros de desempenho térmico baseados na subdivisão das condições climáticas brasileiras em oito zonas bioclimáticas, especificada pela ABNT NBR 15220 (2003), conforme ilustrado na Figura 3, a seguir. Esta última apresenta diretrizes construtivas para cada zona, com o objetivo de otimizar o desempenho térmico, devido à adequação correta do projeto aos determinados climas. Tais diretrizes abordadas pela norma são: dimensões e proteção das aberturas para ventilação, tipos de vedações externas (cobertura, parede e piso) e estratégias de condicionamento térmico.

O anexo A da ABNT NBR 15220 (2003), traz uma relação de 330 cidades brasileiras cujos climas foram classificados, apresentando estratégias bioclimáticas recomendadas para as respectivas zonas bioclimáticas. Apenas quatro cidades do Estado do Tocantins são citadas: Paranã, na zona 6; Peixe, Porto Nacional, e Taguatinga, na zona 7. Segundo o zoneamento apresentado, Palmas também está incluída na zona bioclimática 7.

Figura 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2003, p. 3).

2.3 APLICAÇÕES DA NORMA ABNT NBR 15575 (2013)

2.3.1 Experiência Brasileira

A partir da publicação da ABNT NBR 15575 (2013), houve um significativo avanço nos últimos anos no que diz respeito ao desempenho de edificações. Todavia, com o aumento de trabalhos e pesquisas sobre esta temática, autores apontaram inconsistências em certos pontos da norma, levantando debates sobre a sua revisão.

Segundo Sorgato *et al.* (2014), apesar de ser uma ferramenta de rápida aplicação, o procedimento simplificado da norma pode gerar consideráveis incertezas. Grigoletti; Sattler (2010), comentam que o procedimento simplificado se baseia apenas em paredes e coberturas, e não na edificação como um todo. Desta forma, o resultado obtido pela análise pode não representar o comportamento real da edificação. Brito *et al.* (2012), apresentaram contribuições visando a correção dos problemas encontrados na aplicação de algumas das exigências da norma com referência ao método simplificado.

Sorgato *et al.* (2014), citam ainda pontos observados por outros autores, a exemplo de Marques; Chvatal (2013), que desenvolveram uma pesquisa para análise

do procedimento simplificado e de simulação da ABNT NBR 15575 (2013), onde os resultados mostraram limitações quanto ao procedimento de simulação relacionadas aos arquivos climáticos e estratégias passivas, além de inconsistências com o procedimento simplificado, desta forma evidenciando a necessidade de melhoramento da norma.

Sorgato; Melo; Lamberts (2013), mostraram que o procedimento de simulação da norma sofre influência direta da configuração dos dias típicos de verão e de inverno, desta forma, a falta de informações como o tipo de céu e a data do dia típico de projeto são parâmetros fundamentais para calcular a irradiação solar incidente na edificação, fator este que influencia na aprovação ou não de um sistema construtivo quanto aos critérios de desempenho. Já Sorgato *et al.* (2012), apresentaram sugestões e críticas às partes 1, 4 e 5 da norma, destacando entre os pontos observados, a não avaliação do uso real da edificação e a não avaliação da influência da variação anual da temperatura no desempenho térmico de uma edificação (SORGATO *et al.* 2014).

Para subsidiar a revisão da Norma de Desempenho ABNT NBR 15575 (2013), a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), em parceria com o Senai Nacional, iniciou em fevereiro de 2018, a realização de *workshops* com o intuito de reunir propostas do setor da construção civil para melhorias na norma. Contando com a contribuição de profissionais especialistas nos temas de desempenho térmico e lumínico, foi possível avaliar como tem sido a aplicação dos requisitos, critérios e métodos de avaliação previstos na norma e sobretudo, ouvir dos especialistas, recomendações sobre a revisão (SILVA, 2018).

O procedimento simplificado de avaliação mostrou-se realmente insuficiente para avaliar o efetivo desempenho térmico do empreendimento, pois está focado no desempenho dos sistemas. Quanto ao método de simulação, a discussão esteve em torno da necessidade de ampliar esta avaliação para o desempenho anual, onde é considerado o percentual de horas do ano em que os ambientes de permanência prolongada se colocam abaixo das temperaturas limites, consideradas como temperaturas de conforto humano em épocas de verão, e acima das temperaturas de conforto no inverno. Também se discutiu a necessidade de aperfeiçoamento do zoneamento bioclimático atualmente definido na ABNT NBR 15220 (2003), parte 3, sendo comentado uma proposta para 24 zonas bioclimáticas em vez das 8 zonas atuais (SILVA, 2018).

Desde setembro de 2018, foi reativada a comissão de estudo (ABNT/CE-002:136.001), pelo Comitê Brasileiro da Construção Civil para revisão da norma. A previsão inicial era de que a nova versão passasse a vigorar a partir de março de 2019, porém, em decorrência dos processos de discussões, ainda não está disponível para consulta pública (PROSDOCIMI, 2019).

De maneira geral, as mudanças deverão ocorrer principalmente nos requisitos de desempenho para a segurança contra incêndio; desempenho térmico; desempenho lumínico; e desempenho acústico, tanto das vedações verticais quanto nos sistemas de piso, como também, questões relacionadas à vida útil de projeto, que asseguram a durabilidade das edificações (PROSDOCIMI, 2019).

Quanto ao zoneamento bioclimático, trata-se de um elemento importante na definição de regulamentos e políticas de eficiência energética. Todavia, não há consenso sobre a metodologia mais apropriada. Tal falta de consenso é mais notória, quando avaliada a diversidade de abordagens adotadas em vários países pelo mundo (GARCÍA, 2017).

Com base nisto, García (2017), desenvolveu um trabalho com o objetivo de propor um método de validação de zoneamento bioclimático com base no desempenho térmico de edificações. A autora aplicou o estudo de caso à Nicarágua, país de clima tropical. Os resultados obtidos levaram a uma proposta preliminar de um método baseado na simulação, sistemas de informação geográfica e análises de agrupamento de dados, com resultado satisfatório comparado a outros métodos usualmente aplicados.

2.3.2 Pesquisas aplicadas à cidade de Palmas – TO

Em função da predominância de altas temperaturas durante boa parte do ano, os profissionais da construção civil de Palmas devem atentar-se quanto ao desempenho térmico das edificações para condições de verão (não há exigências para condições de inverno). Partindo deste princípio, alguns trabalhos referentes à aplicação da norma na região foram desenvolvidos nos últimos anos. O Quadro 6 a seguir resume as principais informações sobre trabalhos citados.

Quadro 6 - Pesquisas aplicadas à Palmas – TO.

Ano	Tipo	Autor(es)	Título
2015	Estudo de caso	(ALMEIDA, 2015)	Análises de desempenho térmico de edificações: um estudo de caso na cidade de Palmas-TO
2016	Estudo de caso	(SANTANA, 2016)	Simulação computacional de desempenho térmico: Um estudo de caso na cidade de Palmas - TO
2016	Estudo de caso	(BARROS, 2016)	Avaliação de desempenho térmico de habitação de interesse social em Porto Nacional - TO, utilizando método de simulação computacional
2016	Estudo de caso	(NASCIMENTO, 2016)	Desempenho térmico em edificações: Análise da envoltória em uma residência unifamiliar em Palmas - TO
2017	Estudo de caso	(LIMA <i>et al.</i> , 2017)	Comparação do desempenho térmico entre protótipos construídos com bloco de alvenaria de solo-cimento com lodo incorporado e materiais sustentáveis convencionais
2019	Estudo de caso	(ROCHA, 2019)	O uso da IOT para monitoramento do desempenho térmico de um empreendimento imobiliário em Palmas/TO, à luz da norma de desempenho NBR 15575

Fonte: Autoria própria (2020).

Almeida; Reinaldo; Silva (2016), publicaram um trabalho baseado no estudo de caso com aplicação do método simplificado e medição *in loco* em um apartamento de um edifício com seis pavimentos, desenvolvido por Almeida (2015). Como conclusão, evidenciaram o atendimento integral dos critérios de desempenho térmico para o edifício estudado, considerando os dois procedimentos realizados. Todavia, destacam que apesar do resultado satisfatório, a norma trouxe algumas dificuldades como: a utilização da temperatura como única variável no método de medição, pois, na prática, a precipitação influenciou nos dados da pesquisa; a falta de precisão por avaliar apenas o último dia, pois apesar do edifício estudado ter apresentado desempenho térmico satisfatório, percebeu-se que no segundo dia de medição a edificação não obteve êxito; além da falta de detalhes quanto à forma de coleta da temperatura, principalmente a externa. Outro ponto citado pelos autores, refere-se à necessidade de divulgação e esclarecimento quanto à norma e sua obrigatoriedade, tendo em vista a dificuldade para realizar a medição em diversas empresas, pelo receio do não atendimento aos critérios por parte das mesmas.

Santana (2016), avaliou o desempenho térmico da mesma edificação supracitada, porém por meio do procedimento de simulação computacional, e comparou os resultados obtidos entre os métodos. Para a realização das simulações, foi utilizado o *software DesignerBuilder*. Em sua conclusão, o autor destaca que o *software* se apresentou como de fácil utilização e confiabilidade, sendo recomendado para próximos trabalhos na área de simulações. Quanto aos resultados, obteve pequenas diferenças nas comparações, porém satisfatórias, e constatou que a absorvância é a propriedade que mais contribui para a redução das temperaturas. Deste modo, sendo recomendável para regiões de clima quente como a cidade de Palmas –TO, a utilização de pinturas com cores claras, ou seja, com baixos valores de absorvância.

Barros (2016), avaliou o desempenho térmico de uma habitação de interesse social em Porto Nacional – TO através do método de simulação computacional. Também utilizou o *software DesignerBuilder*, baseando sua escolha na confiabilidade e histórico de utilização em outras pesquisas em diversos países. Em seu trabalho, realizou comparações entre desempenhos a partir da variação nos elementos construtivos do envelope da edificação. Por fim, identificou que os envelopes mais pesados obtiveram melhor desempenho, entretanto, os resultados apresentados por envelopes médios e leves também foram considerados satisfatórios.

Nascimento (2016), avaliou o desempenho térmico de uma edificação na cidade de Palmas – TO, utilizando a medição *in loco*, e indicou o tipo de envoltória mais eficiente para a mesma, por meio de simulação computacional. Com a análise de todos os resultados obtidos pelo estudo, concluiu que a edificação analisada não atendeu ao desempenho térmico mínimo exigido pela norma. Após a realização das simulações computacionais com o programa *DesignBuilder*, o autor chegou à conclusão de que a envoltória que apresentou o maior desempenho térmico para a residência na cidade de Palmas - TO foi a envoltória adotada como sendo do tipo isolante, com baixa transmitância térmica e uma capacidade térmica média em comparação às outras envoltórias utilizadas no estudo.

Lima *et al.* (2017), avaliaram o desempenho térmico de um bloco de alvenaria com lodo incorporado, com estudo de caso a partir de células-teste, na cidade de Palmas – TO. Como metodologia, utilizaram medição *in loco*, descrita na ABNT NBR 15575 (2013), para uma comparação do desempenho térmico com células-teste de bloco de adobe e o bloco de solo-cimento convencional. O bloco com lodo incorporado

é obtido a partir da incorporação do lodo residual proveniente de Estações de Tratamento de Água na composição de blocos de solo-cimento em uma proporção de até 20% em substituição ao solo saibroso. A partir desta pesquisa, demonstraram a possibilidade da utilização do lodo proveniente de ETA como matéria prima, além do comportamento semelhante se comparado às demais matérias primas. Desta forma, a pesquisa serve como referência para futuros estudos em cidades localizadas na zona bioclimática 7.

Rocha (2019), testou a utilização de um equipamento mais acessível e de menor custo para o monitoramento da temperatura e da umidade relativa do ar, de maneira a avaliar o desempenho térmico de um empreendimento imobiliário em Palmas, e comparou os resultados obtidos entre este e outros equipamentos também utilizados na pesquisa. Trata-se do microcontrolador ESP8266 utilizado em conjunto com sensores DHT21. Em seus procedimentos, a autora utilizou o método simplificado e o método de medição *in loco*.

Neste trabalho, o empreendimento estudado não atendeu aos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 15575 (2013), o que segundo Rocha (2019), pôde ser explicado pela escolha dos materiais utilizados na fachada da edificação e sua orientação. A autora cita ainda a dificuldade encontrada quanto à utilização das informações necessárias para obtenção dos parâmetros de comparação dos níveis mínimos da ABNT NBR 15575 (2013), por tais informações não estarem presentes em um único documento. Quanto à utilização do novo equipamento para o procedimento de medição na avaliação de desempenho térmico, apresentou-se como válida, e vantajosa economicamente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 TIPO DE ESTUDO

Esta pesquisa tem caráter exploratório. Quanto ao levantamento de dados, caracteriza-se como quantitativo, tendo em vista as medições de temperatura e umidade relativa do ar. Além disso, o embasamento teórico provém de levantamento bibliográfico, com a utilização de normas e trabalhos já realizados por outros autores.

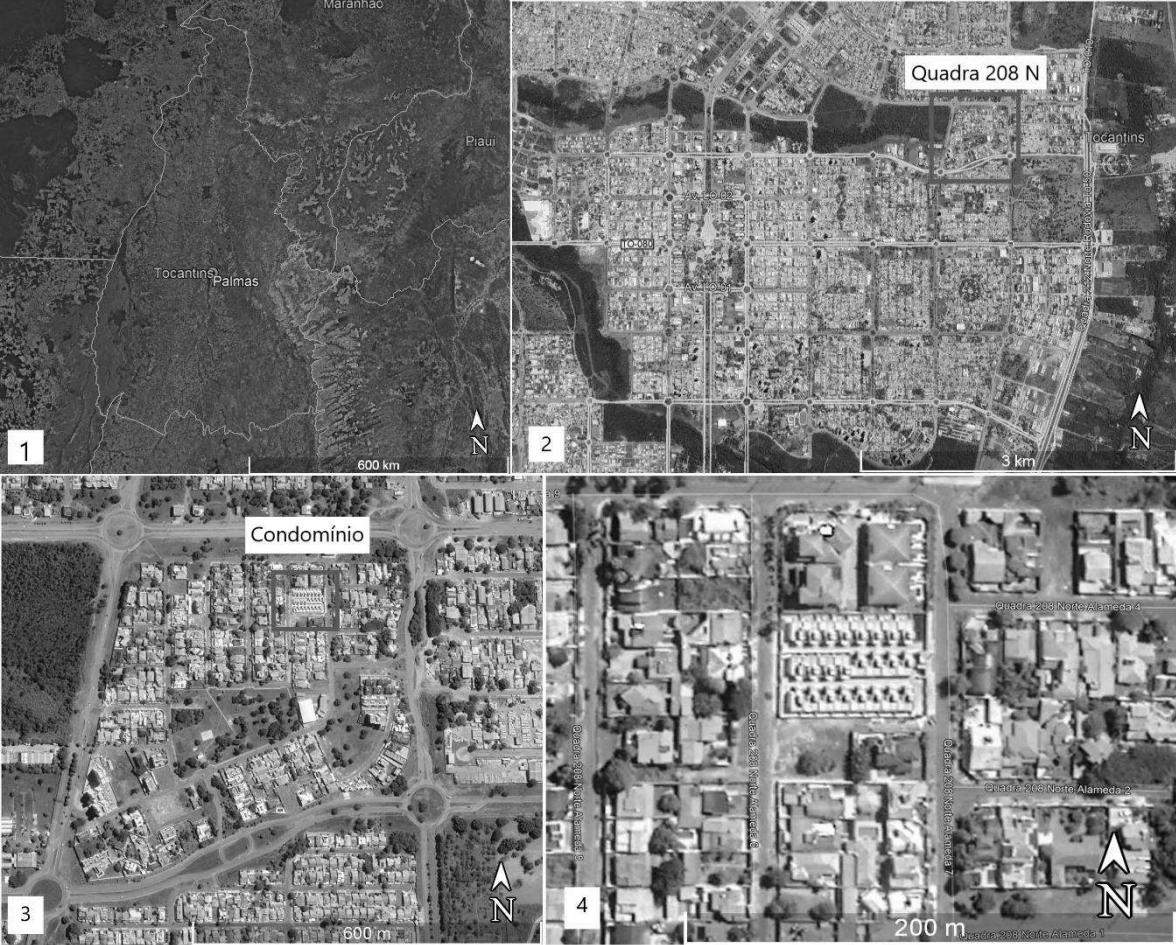
3.2 OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo trata-se de uma edificação recém-construída, não ocupada e sem mobília, conforme critério da ABNT NBR 15575 (2013), localizada em um condomínio multifamiliar. Este condomínio possui vinte e quatro edificações similares, sendo uma delas utilizada para o presente estudo, conforme representado pela Figura 6. A escolha desta unidade se deu por conta da disponibilidade de acesso à mesma. A edificação está localizada na Quadra 208 Norte/ARNE 24, Alameda 07, Hm-01, Lote 02, em Palmas – TO, como representado pela Figura 4.

A unidade habitacional possui dois quartos, sendo um dormitório de 6,98 m², uma suíte de 9,01 m² com banheiro de 2,42 m², além de um banheiro de uso comum de 2,42 m², sala de estar/jantar de 10,05 m², cozinha de 5,04 m², área de serviço de 2,00 m², e uma área de playground privativo de 8,25 m², além da vaga privativa de garagem de 14,37 m², conforme Figura 7.

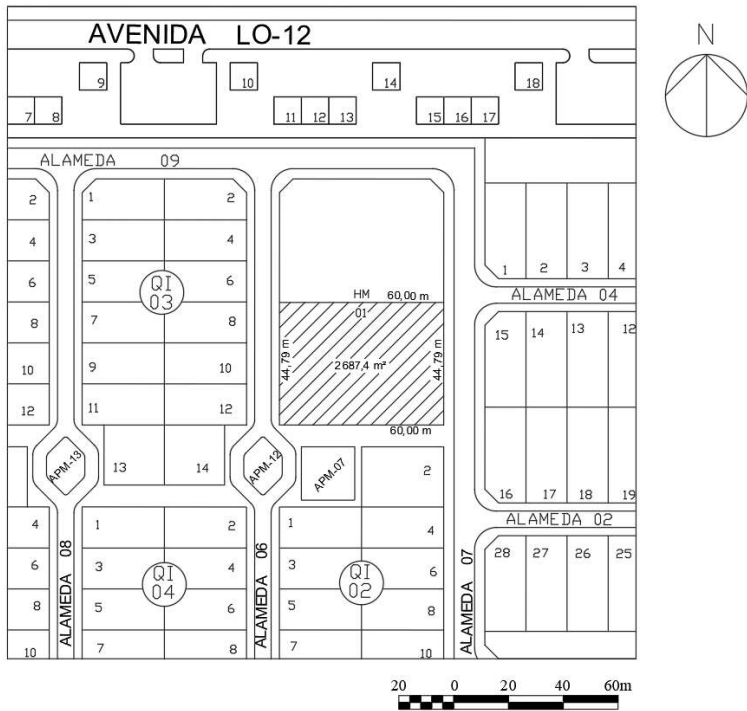
O sistema estrutural adotado para as edificações é reticulado de concreto armado, levando em consideração a normalização técnica brasileira do sistema estrutural adotado. As vedações são de blocos cerâmicos, conforme o projeto de paginação de dimensões 14 x 19 x 29 cm, 12 x 19 x 29 cm ou 9 x 19 x 29 cm assentados com argamassa mista de cimento, cal e areia, no traço 1:1:6 respectivamente, devidamente integradas aos pilares laterais com telas soldadas galvanizadas e encunhadas com argamassa expansiva no encontro com as faces superiores (vigas ou lajes) na espessura de 3 cm. As esquadrias utilizadas são de alumínio e vidro temperado. Cobertura em telhas fibrocimento de espessura de 6mm, com inclinação de 10%.

Figura 4 - Localização da edificação.



Fonte: Google Earth (2020) – Adaptado pelo autor.

Figura 5 - Planta de situação.



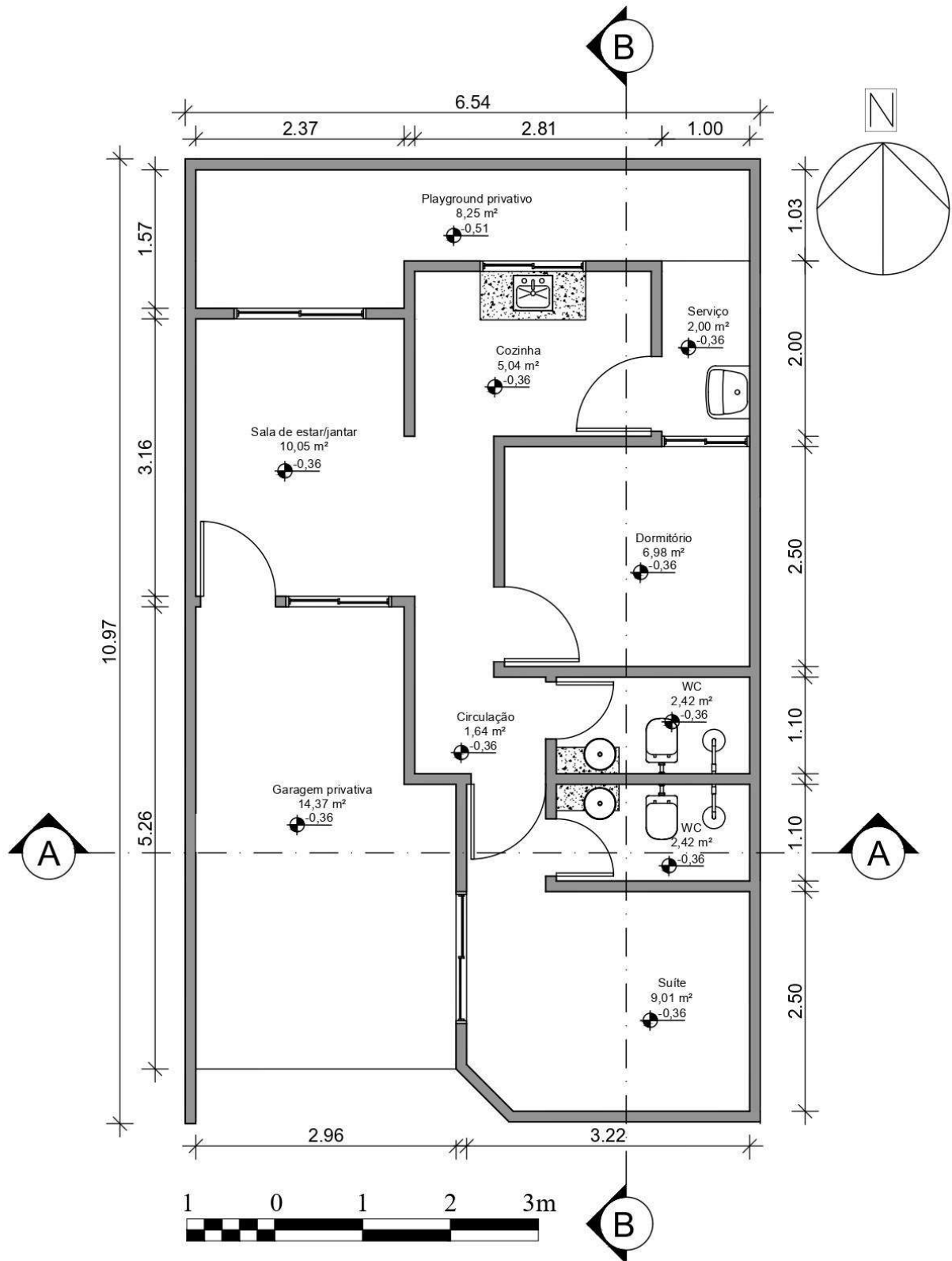
Fonte: Memorial descritivo (2020) – Adaptado pelo autor.

Figura 6 - Planta de localização.



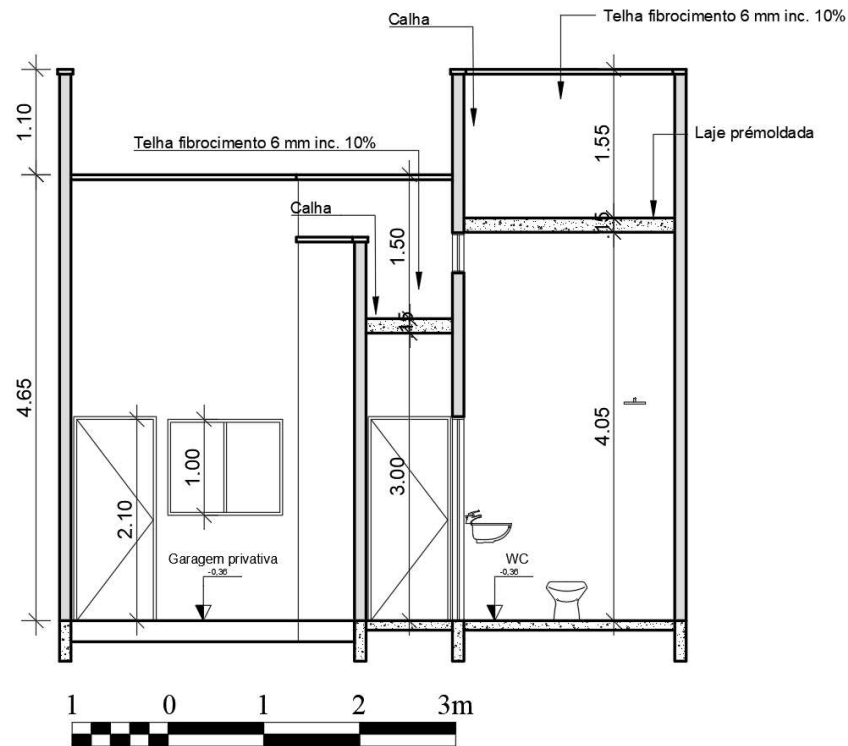
Fonte: Memorial descritivo (2020) – Adaptado pelo autor.

Figura 7 - Planta baixa.



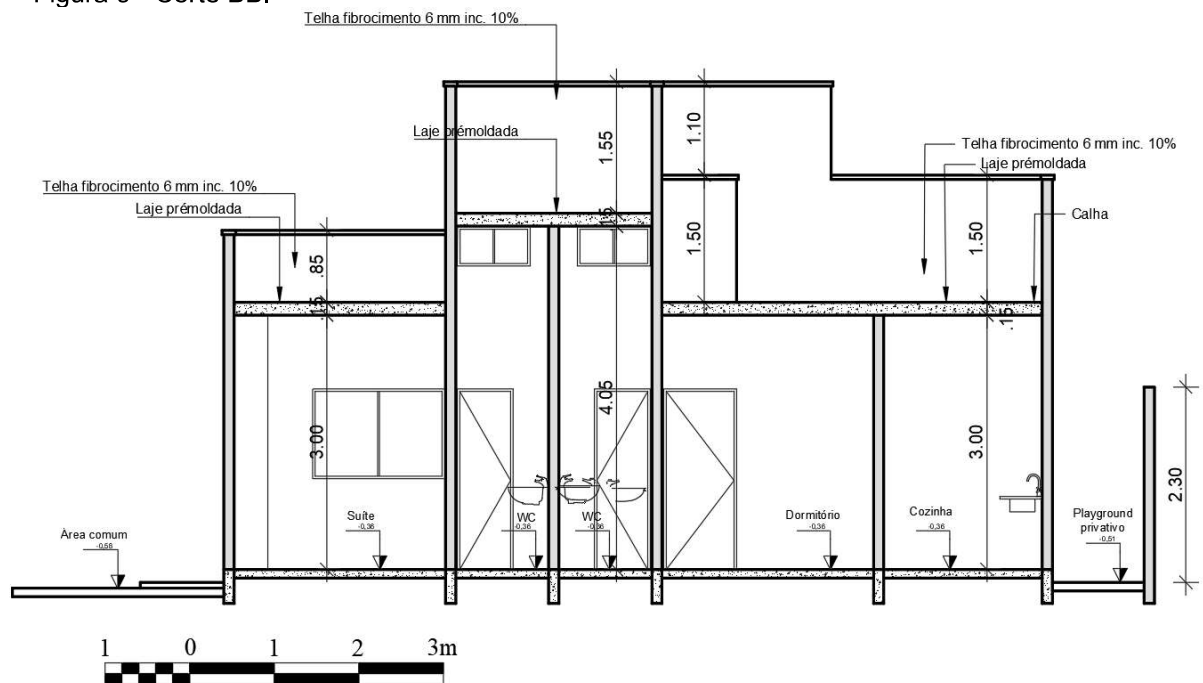
Fonte: Memorial descritivo (2020) – Adaptado pelo autor.

Figura 8 - Corte AA.



Fonte: Memorial descritivo (2020) – Adaptado pelo autor.

Figura 9 - Corte BB.



Fonte: Memorial descritivo (2020) – Adaptado pelo autor.

3.3 PROCEDIMENTOS

Os procedimentos utilizados neste trabalho para a avaliação do desempenho térmico, foram de acordo com a ABNT NBR 15575 (2013), sendo eles: método simplificado (Procedimento 1), e medição (Procedimento 2).

3.3.1 Procedimento 1 – Método Simplificado

Neste método, verifica-se o atendimento aos níveis mínimos de desempenho seguindo requisitos e critérios estabelecidos pela ABNT NBR 15575 (2013), nas partes 4 e 5, quanto aos sistemas de vedação vertical externa e cobertura, conforme definições, símbolos e unidades das partes 1 a 5 da ABNT NBR 15220 (2003).

O Sistema de Vedação Vertical Externa (SVVE) deve atender critérios e requisitos quanto à transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT), e aberturas para ventilação, de acordo com as zonas bioclimáticas estabelecidas na parte 3 da ABNT NBR 15220 (2003). Os cálculos para análise da U e CT são feitos conforme procedimentos especificados pela própria ABNT NBR 15220 (2003), parte 2. Já para a análise quanto às aberturas para ventilação, o método de avaliação está presente na seção 11.3.1.1 da ABNT NBR 15575 (2013), parte 4, requisito este, aplicado aos ambientes de longa permanência como: salas, cozinhas e dormitórios. No sistema de cobertura, se faz necessário apenas o requisito quanto à transmitância térmica (U), com critérios a serem atendidos presentes na ABNT NBR 15575 (2013), parte 5. Os critérios estão descritos nos Quadros 2 a 5.

3.3.2 Procedimento 2 – Medição

Segundo a ABNT NBR 15575 (2013), trata-se da verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos nesta, por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos. Sendo este método de caráter meramente informativo e não se sobrepõe aos procedimentos descritos no método simplificado.

Conforme a referida norma, a edificação deve atender requisitos e critérios sobre as condições térmicas em seu interior em comparação ao ambiente externo em dias típicos de verão e inverno.

Para a realização da medição *in loco* foram utilizados os equipamentos descritos na seção 3.4, posicionados no centro dos ambientes (dormitórios e sala), além do ambiente externo, todos a 1,20 m do piso, seguindo as recomendações normativas. A coleta de dados foi realizada por no mínimo três dias, para que fossem analisados os dados do terceiro dia.

3.4 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

Para o levantamento de dados desta pesquisa, foram comparados equipamentos de modelos e marcas diferentes, sendo eles:

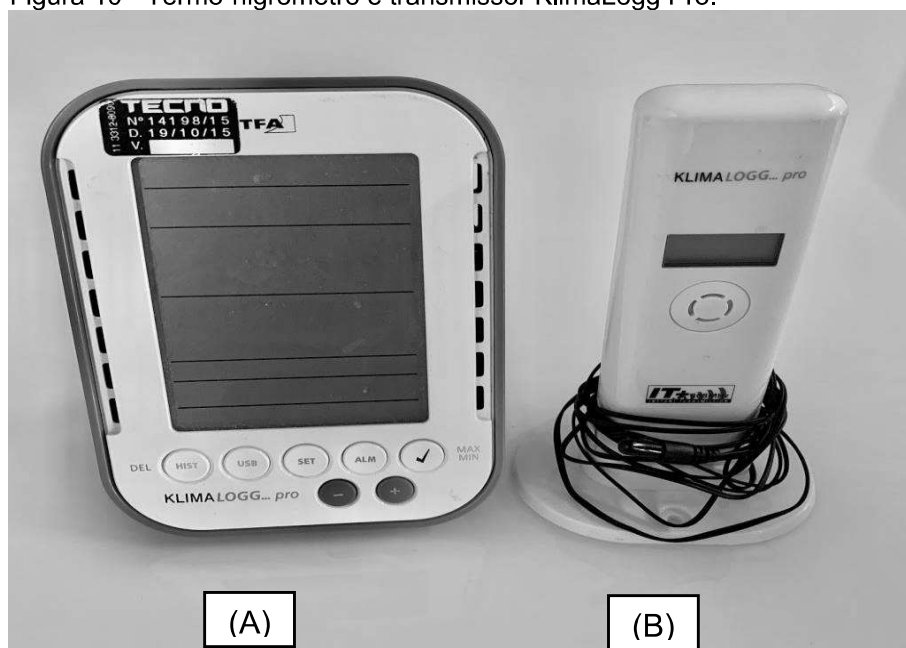
- Termo-higrômetro digital KlimaLogg Pro - modelo 30.39.0.00;
- Transmissores para o KlimaLogg Pro - modelo 30.3181;
- Estação Meteorológica Profissional modelo ITWH-1080 da INSTRUTEMP com termo-higrômetro;
- Termo-higrômetro HOBO U12-013.

Para medições de temperatura, a ABNT NBR 15575 (2013) orienta seguir as especificações de equipamentos e montagem de sensores, apresentadas na ISO 7726 (ISO, 1998). A escolha dos equipamentos baseou-se na disponibilidade de utilização dos mesmos, pois o termo-higrômetro e os transmissores KlimaLogg, e a estação meteorológica da INSTRUTEMP estão disponíveis no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - Campus Palmas. Estes equipamentos possuem precisão inferior ao exigido na norma ISO 7726 (ISO, 1998), todavia, o termo-higrômetro HOBO foi utilizado a fins de comparação, pois este atende às exigências de precisão. Os parâmetros exigidos pela norma para medição da temperatura do ar são: Faixa de 10 a 40 °C, com precisão requerida de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, e precisão desejável de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$, para ambientes tipo C (conforto térmico). Já para ambientes tipo de S (estresse térmico), a faixa é de -40 a 120°C, com precisão (faixa de 0 a 50°C) requerida de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, e desejável de $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$.

3.4.1 Termo-higrômetro e transmissores KlimaLogg Pro

A estação de temperatura e umidade KlimaLogg Pro, tem a capacidade de registrar até 50.000 conjuntos de dados e transmiti-los para o transceptor sem fio USB que é conectado ao computador do usuário. Esses dados são exportados no formato CSV, permitindo que o usuário possa visualizá-los em planilhas eletrônicas. É um equipamento para uso interno, pois não é resistente à água. Os intervalos de gravação podem ser definidos em 1min, 5min, 10min, 15min, 30min ou 1h, 2hs, 3hs, 6hs. Há também a possibilidade de pré-programar os sensores externos com alarmes quando a temperatura ou umidade ultrapassarem um limite determinado. O *software* utilizado para baixar os dados chama-se KlimaLogg Pro. Os transmissores são utilizados para coletar dados em outros pontos e transmiti-los via rádio frequência (sem fio). A Figura 10 apresenta o Termo-higrômetro registrador de dados (A) e os transmissores (B).

Figura 10 - Termo-higrômetro e transmissor KlimaLogg Pro.



Fonte: Autoria própria (2020).

Especificações do Termo-higrômetro (*data logger*):

- Temperatura: Faixa de medição (°C) 0°C a 50°C; Resolução 0,1°C; Precisão $\pm 1^\circ\text{C}$.
- Umidade do ar: Faixa de medição (%) 1% a 99% UR; Resolução 1%; Precisão $\pm 5\%$.

Especificações do Termômetro do transmissor:

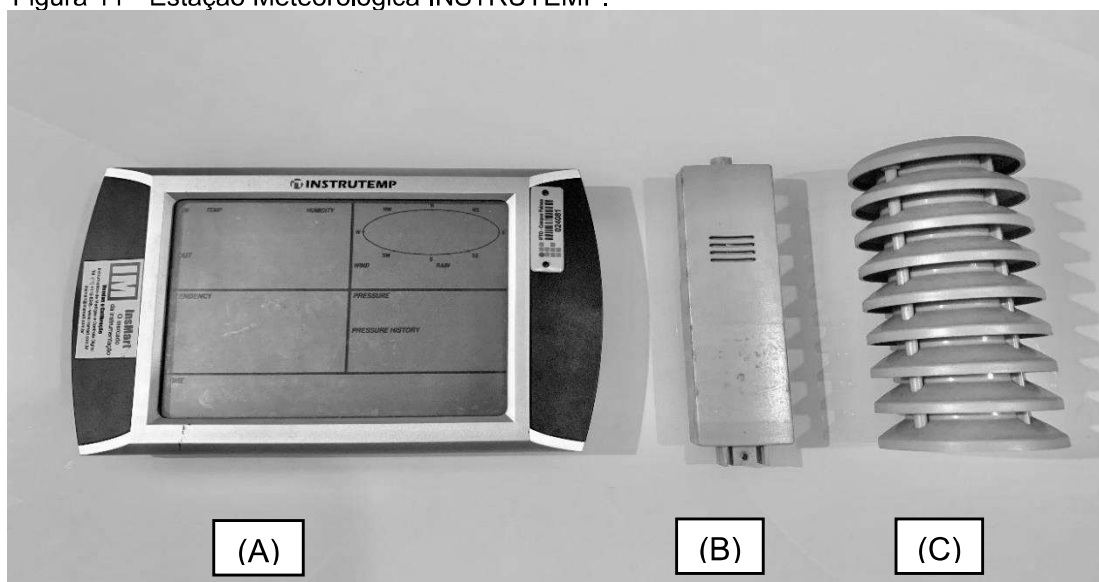
- Temperatura: Faixa de medição (°C) 0°C a 50°C; Resolução 0,1°C; Precisão $\pm 1^\circ\text{C}$.

3.4.2 Estação Meteorológica INSTRUTEMP

A Estação meteorológica completa da INSTRUTEMP sem fio, mede a velocidade e a direção do vento, precipitação, temperatura e umidade (interior e exterior), pressão barométrica, ponto de orvalho e sensação térmica. Os dados podem ser baixados para um PC através do *software* EasyWeather.

Para esta pesquisa, foram utilizados apenas o *data logger*, com Monitor LCD Touch Screen (Figura 11 – A) e o termo-higrômetro da estação (Figura 11 – B), para medição de temperatura e umidade relativa, com seu respectivo abrigo, permitindo seu uso em áreas externas (Figura 11 – C).

Figura 11 - Estação Meteorológica INSTRUTEMP.



Fonte: Autoria própria (2020).

Especificações do termo-higrômetro (Dados Externos):

- Temperatura: Faixa de medição (°C) -40°C a 65°C; Resolução 0,1°C; Precisão $\pm 1^\circ\text{C}$.
- Umidade do ar: Faixa de medição (%) 10% a 99% UR; Resolução 1%; Precisão $\pm 5\%$.

Especificações do *data logger* (Dados Internos):

- Temperatura: Faixa de medição (°C) 0°C a 50°C; Resolução 0,1°C; Precisão $\pm 1^\circ\text{C}$.
- Umidade do ar: Faixa de medição (%) 10% a 99% UR; Resolução 1%; Precisão $\pm 5\%$.

3.4.3 Termo-higrômetro HOB0

O Termo-higrômetro HOB0 U12-013 é um registrador de dados de temperatura, umidade do ar e ponto de orvalho para ambientes internos (não é resistente à água). Possui grande capacidade de memória, que possibilita armazenar os dados durante dias, semanas ou até mesmo meses, com intervalo de registro de dados configuráveis de 1s a 18h. Utiliza o *software* HOB0ware para configuração e análise dos dados; e dados exportáveis para Planilhas eletrônicas.

Especificações:

- Temperatura: Faixa de medição (°C) -20°C a 70°C; Resolução 0,03°C até 25°C; Precisão $\pm 0,35^\circ\text{C}$ (0 a 50°C).
- Umidade do ar: Faixa de medição 5% a 95%; Resolução 0,03%; Precisão $\pm 2,5\%$ (de 10% a 90%).

Figura 12 - Termo-higrômetro HOB0

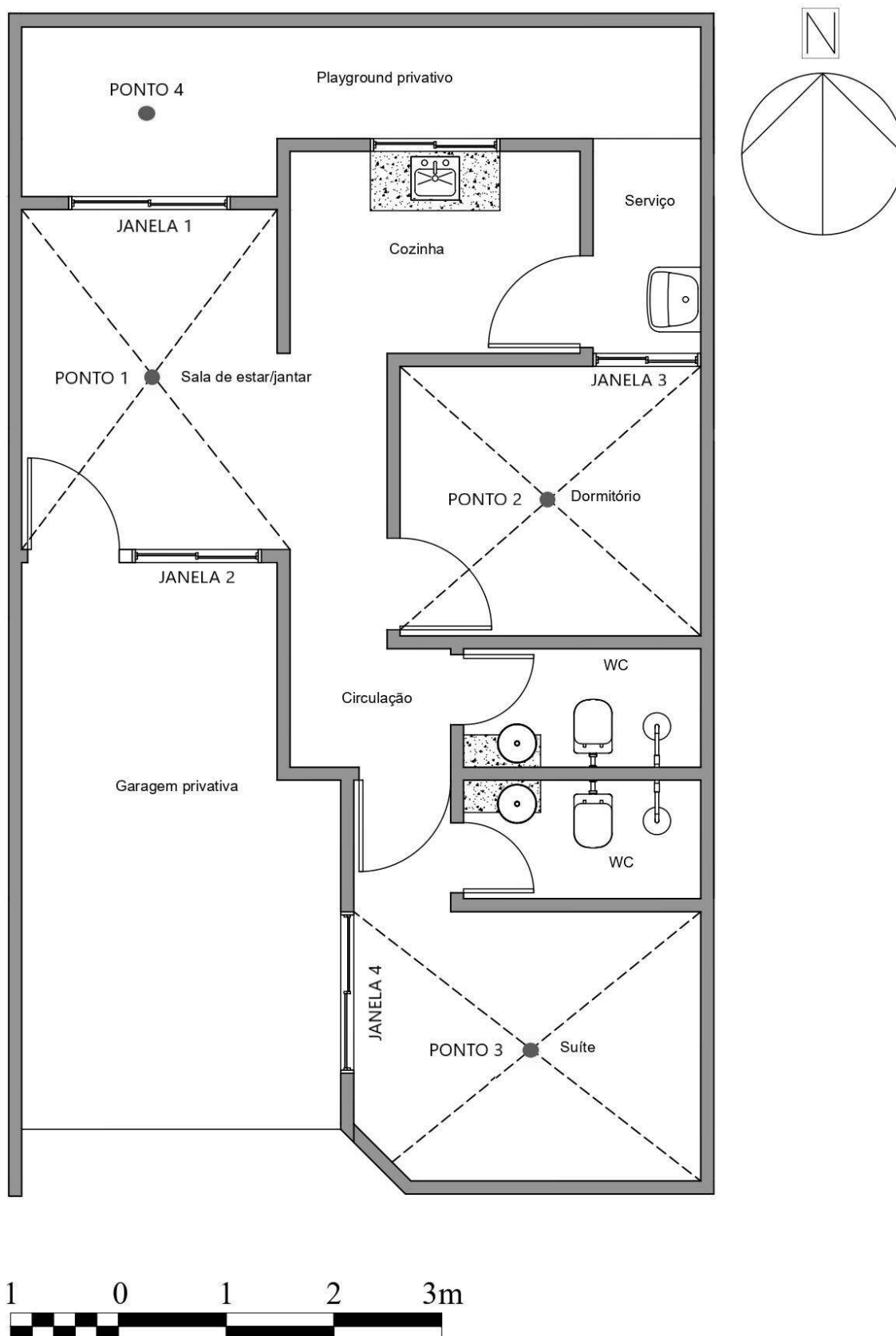


Fonte: Autoria própria (2020)

3.4.4 Disposição dos equipamentos

Como já citado, para a realização da medição *in loco* foram utilizados os equipamentos descritos na seção 3.4, posicionados no centro dos ambientes (dormitórios e sala), além do ambiente externo, todos a 1,20 m do piso, seguindo as recomendações normativas. A Figura 13 ilustra os pontos onde foram dispostos.

Figura 13 - Disposição dos equipamentos.



Fonte: Memorial descritivo (2020) – Adaptado pelo autor.

Na sala (ponto de aferição 1), foram posicionados o Termo-higrômetro digital KlimaLogg Pro; um transmissor para o KlimaLogg Pro; o *data logger* da Estação Meteorológica da INSTRUTEMP; e o Termo-higrômetro HOBO, conforme a Figura 14.

Figura 14 - Equipamentos: Ponto de aferição 1.



Fonte: Autoria própria (2020).

No dormitório (ponto de aferição 2), foi posicionado um transmissor para o KlimaLogg Pro, conforme a Figura 15.

Figura 15 - Equipamentos: Ponto de aferição 2.



Fonte: Autoria própria (2020).

Na suíte (ponto de aferição 3), foi posicionado outro transmissor para o KlimaLogg Pro, como ilustrado na Figura 16.

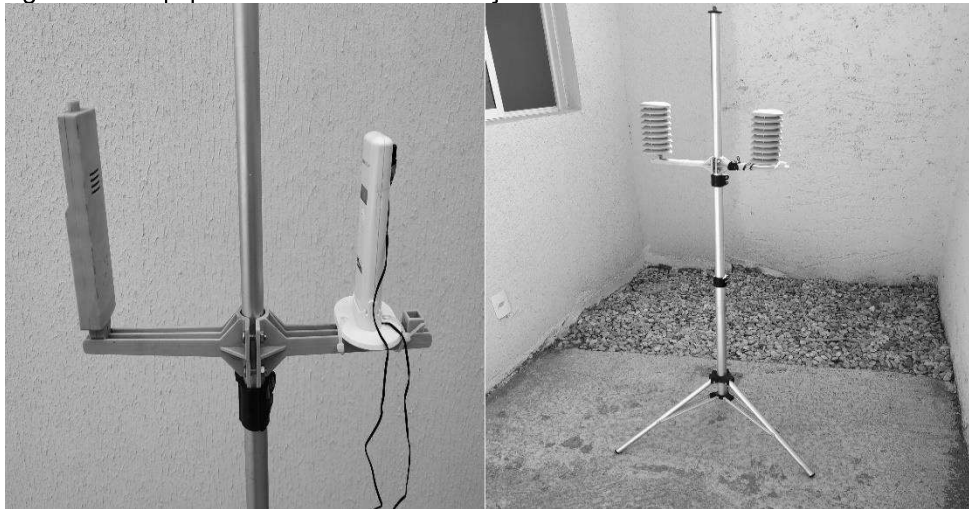
Figura 16 - Equipamentos: Ponto de aferição 3.



Fonte: Autoria própria (2020).

Já na parte externa da edificação (ponto de aferição 4), foram posicionados um transmissor para o KlimaLogg Pro, e o termo-higrômetro INSTRUTEMP, conforme a Figura 17, ambos protegidos por abrigos.

Figura 17 - Equipamentos: Ponto de aferição 4.



Fonte: Autoria própria (2020).

4 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE DOS DADOS

4.1 MÉTODO SIMPLIFICADO

Conforme supracitado na seção 3.3.1, através do método simplificado verifica-se o atendimento aos níveis mínimos de desempenho seguindo requisitos e critérios estabelecidos pela ABNT NBR 15575 (2013), nas partes 4 e 5, quanto aos sistemas de vedação vertical externa e cobertura. As paredes externas da edificação apresentam as seguintes características:

- Blocos cerâmicos de dimensões 9 x 19 x 29 cm – 6 furos;
- Reboco com argamassa, espessura de 1,5 cm;
- Argamassa de assentamento de espessura 1,5 cm;
- Espessura total de 12 cm.

O sistema de cobertura é composto pelos seguintes elementos:

- Telha fibrocimento de espessura 6 mm com inclinação de 10%;
- Laje de concreto com 15 cm de espessura.

As esquadrias dos ambientes de longa permanência apresentam as seguintes áreas efetivas de abertura:

- Janela 1: $0,75 \times 1,00 = 0,75 \text{ m}^2$;
- Janela 2: $0,60 \times 1,00 = 0,60 \text{ m}^2$;
- Janela 3: $0,60 \times 1,00 = 0,60 \text{ m}^2$;
- Janela 4: $0,75 \times 1,00 = 0,75 \text{ m}^2$.

Para os cálculos de transmitância térmica e capacidade térmica, realizados de acordo com a ABNT NBR 15220-2 (2003), foram utilizadas algumas propriedades térmicas dos materiais: Condutividade térmica (λ); calor específico (c); massa aparente (ρ), constantes na referida norma, conforme Quadro 7, a seguir:

Quadro 7 - Massa aparente, condutividade térmica e calor específico dos materiais utilizados na edificação em estudo.

Material	Massa aparente (ρ)	Condutividade térmica (λ)	calor específico (c)
cerâmica	1600 kg/m ³	0,90 W/(m.K)	0,92 kJ/(kg.K)
argamassa de assentamento/reboco	2000 kg/m ³	1,15 W/(m.K)	1,00 kJ/(kg.K)
fibrocimento	1600 kg/m ²	0,65 W/(m.K)	0,84 kJ/(kg.K)
concreto	2400 kg/m ³	1,75 W/(m.K)	1,00 kJ/(kg.K)

Fonte: ABNT NBR 15220-2 (2003, p. 9)

Também foram consideradas as resistências térmicas das câmaras de ar não ventiladas: Resistência térmica de câmaras de ar (R_{ar}); Resistência térmica superficial interna e externa (R_{si} e R_{se}) na parede e na cobertura, considerando a direção do fluxo de calor horizontal no caso de paredes, e descendente, no caso de coberturas, constantes na ABNT NBR 15220-2 (2003), conforme Quadro 8:

Quadro 8 - Resistência térmica superficial interna e externa e Resistência térmica de câmaras de ar utilizados na edificação em estudo.

Aplicação	Resistência térmica superficial interna (R_{si})	Resistência térmica superficial externa (R_{se})	Resistência térmica de câmaras de ar (R_{ar})
Parede	0,13 ($m^2.K$)/W	0,04 ($m^2.K$)/W	0,16 ($m^2.K$)/W
Cobertura	0,17 ($m^2.K$)/W	0,04 ($m^2.K$)/W	0,21 ($m^2.K$)/W

Fonte: ABNT NBR 15220-2 (2003, p. 7 e 8)

4.1.1 Resultados obtidos

4.1.1.1 Sistema de vedações verticais

Segundo a ABNT NBR 15220 (2003), a Transmitância (U) é o inverso da Resistência Térmica Total (R_T). No caso da edificação em questão, devem ser utilizadas as equações para cálculo da Resistência Térmica Total (R_T) e Capacidade Térmica (CT) para componente não homogêneo, pois a parede é composta de materiais distintos: bloco de tijolos furados e argamassa. Para os cálculos da Resistência Térmica Total (R_T) é necessário calcular primeiramente a Resistência Térmica da Parede, somada à resistência térmica interna (R_{si}) e externa (R_{se}) do ar (estes dois últimos são tabelados, conforme Quadro 8). Para o cálculo da resistência térmica da parede foram consideradas três seções, sendo elas: Seção A (reboco + argamassa + reboco); Seção B (reboco + tijolo + reboco); Seção C (reboco + tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo + reboco). As mesmas seções foram consideradas para o cálculo e da Capacidade Térmica. Foram utilizadas as fórmulas descritas na ABNT NBR 15220 (2003), parte 2, sendo obtidos os seguintes resultados:

- 1) Resistência térmica da parede: $R_t = 0,238 (m^2.K)/W$;
- 2) Resistência térmica total: $R_T = 0,408 (m^2.K)/W$;
- 3) Transmitância térmica: $U = 2,45 W/(m^2.K)$;
- 4) Capacidade térmica: $CT = 144,14 kJ/(m^2.K)$;

Para verificação do percentual da área de ventilação, foram consideradas a área efetiva de ventilação em relação à área total do piso ambiente, sendo obtidos os seguintes resultados:

- 1) Área de ventilação – sala: 13,4%;
- 2) Área de ventilação – dormitório: 8,6%;
- 3) Área de ventilação – suíte: 8,3%.

4.1.1.2 Sistema de cobertura

Para a cobertura foram consideradas as equações constantes na ABNT NBR 15220 (2003) para cálculo da Transmitância (U) de componente não homogêneo, tendo em vista que a edificação em estudo, possui cobertura composta de materiais distintos: telha de fibrocimento e laje de concreto. Da mesma forma que no cálculo da parede, como a Transmitância (U) é o inverso da Resistência Térmica Total (R_T), e esta por sua vez é obtida a partir da Resistência Térmica do conjunto da cobertura, somada à resistência térmica interna (R_{si}) e externa (R_{se}) do ar (conforme Quadro 8) foram aplicadas as equações da referida norma e obtidos os seguintes resultados:

- 1) Resistência térmica do conjunto: $R_t = 0,305 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$;
- 2) Resistência térmica total: $R_T = 0,515 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$;
- 3) Transmitância térmica: $U = 1,94 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

4.1.2 Análise do desempenho

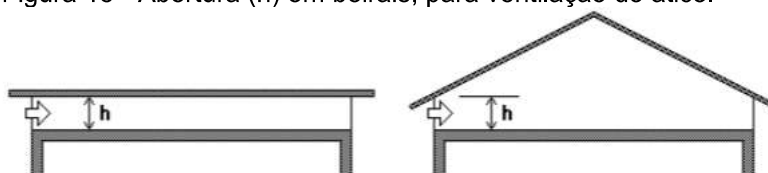
Para avaliação do desempenho, os resultados obtidos devem ser comparados aos critérios de desempenho da norma, descritos nos Quadros 2 a 5. Também é necessário identificar a absorvância dos materiais. A pintura das paredes externas da edificação é branca, portanto, apresenta uma absorvância à radiação solar de $\alpha = 0,20$ segundo a norma. Desta forma, para uma edificação localizada na zona bioclimática 7, U deve ser $\leq 3,7 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, conforme o Quadro 2. O valor de transmitância térmica (U) obtido foi de $2,45 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, atendendo ao limite máximo admitido. Quanto à capacidade térmica (CT), o valor obtido de $144,14 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$ é maior que o mínimo admitido de $130 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$, conforme o Quadro 3. Sendo assim, as paredes externas atendem ao nível mínimo de desempenho segundo o procedimento simplificado.

Quanto aos critérios de aberturas para ventilação dos ambientes de longa permanência, todos atenderam ao nível mínimo, apresentando valores $\geq 7\%$ da área de piso, conforme citado anteriormente no Quadro 4 como exigência normativa.

Para o sistema de cobertura, a determinação do nível de desempenho está ligada à absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura, e ao fator de ventilação (FV). A ABNT NBR 15220-2 (2003) apresenta valores tabelados de absorvância para alguns tipos de superfície, todavia, bastante limitados, tendo em vista que, limita-se apenas a algumas opções de materiais e cores. O valor de absorvância para telhas de fibrocimento sem pintura, como utilizadas na edificação não está presente na norma. Buscando na literatura, o valor considerado foi de $\alpha = 0,705$, extraído dos resultados obtidos a partir da pesquisa realizada por Coelho; Gomes e Dornelles (2017), para telhas de fibrocimento novas. Sendo assim, na condição de $\alpha > 0,4$, U deve ser $\leq 1,5$ FV para atendimento do nível mínimo de desempenho.

O método de obtenção do FV disponível na norma carece de informações e detalhes. O Quadro 5, que está presente na ABNT NBR 15575-5 (2013), associa o nível de desempenho ao fator de ventilação (FV), por outro lado, a ABNT NBR 15220-3 (2003, p.9) cita (FT), como fator de correção da transmitância aceitável para as coberturas da zona 8. Este fator pode ser obtido pela equação $FT = 1,17 - 1,07 \cdot h^{-1,04}$, onde h é altura da abertura em dois beirais opostos, em centímetros, conforme ilustrado na Figura 18, a seguir.

Figura 18 - Abertura (h) em beirais, para ventilação do ático.



Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2003, p.9).

Observando a ABNT NBR 15575 (2013), é possível identificar que a tabela simplificada de Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica, requisitos mínimos, na página 27, apresenta na tabela FT (Fator de transmitância) e não FV (Fator de Ventilação), para os mesmos critérios da tabela completa na página 52. Por este motivo, alguns autores consideram $FV = FT$, a exemplo de Callejas *et al.* (2013); Chvatal (2014), além de CBIC (2013) no guia orientativo de atendimento à norma. Desta forma, para o objeto de estudo, onde não há abertura para ventilação, como

pode ser observado nos cortes AA e BB ilustrados pelas Figura 8 e Figura 9, o fator de ventilação será $FV = 1$ (para coberturas sem forro ou com áticos não ventilados, conforme a norma). Portanto, a cobertura da edificação não atende ao critério de nível mínimo de desempenho.

4.2 MEDIÇÃO

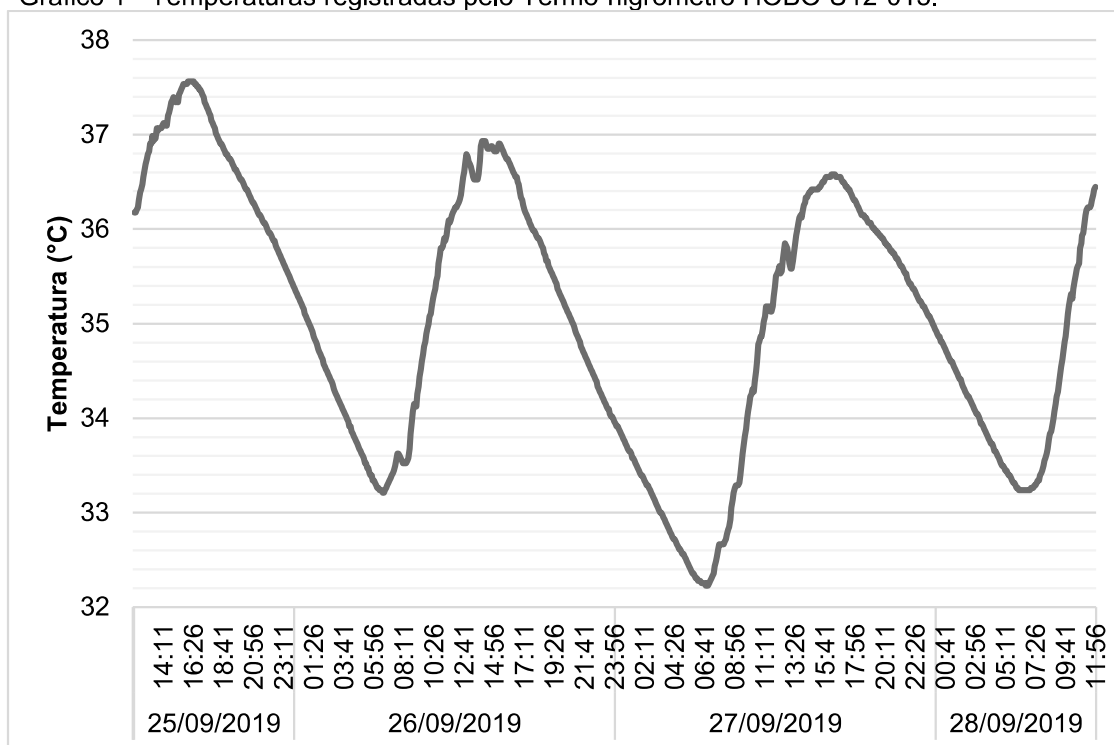
O registro da temperatura do ar foi realizado no intervalo entre 12h do dia 25/09/2019 a 12h do dia 28/09/2019, totalizando 3 dias consecutivos como aponta a norma. O que justificou a escolha dos dados obtidos neste período para a realização da avaliação do desempenho foi a predominância de dias quentes, sendo uma característica dos meses de setembro na região, além da ausência de precipitação neste período, segundo dados fornecidos pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (2020), pois, a ocorrência de chuvas poderia influenciar nos dados.

4.2.1 Dados obtidos

O Termo-higrômetro HOBO U12-013 realizou os registros de dados com intervalos de 1 minuto. A temperatura interna máxima de 37,56 °C foi registrada no dia 25/09/2019 durante o período de 15h57min a 16h29min. A temperatura interna mínima registrada foi de 32,23 °C no dia 27/09/2019 pela manhã, durante o período de 6h45min a 7h. As variações de temperaturas registradas pelo equipamento estão ilustradas no Gráfico 1, a seguir.

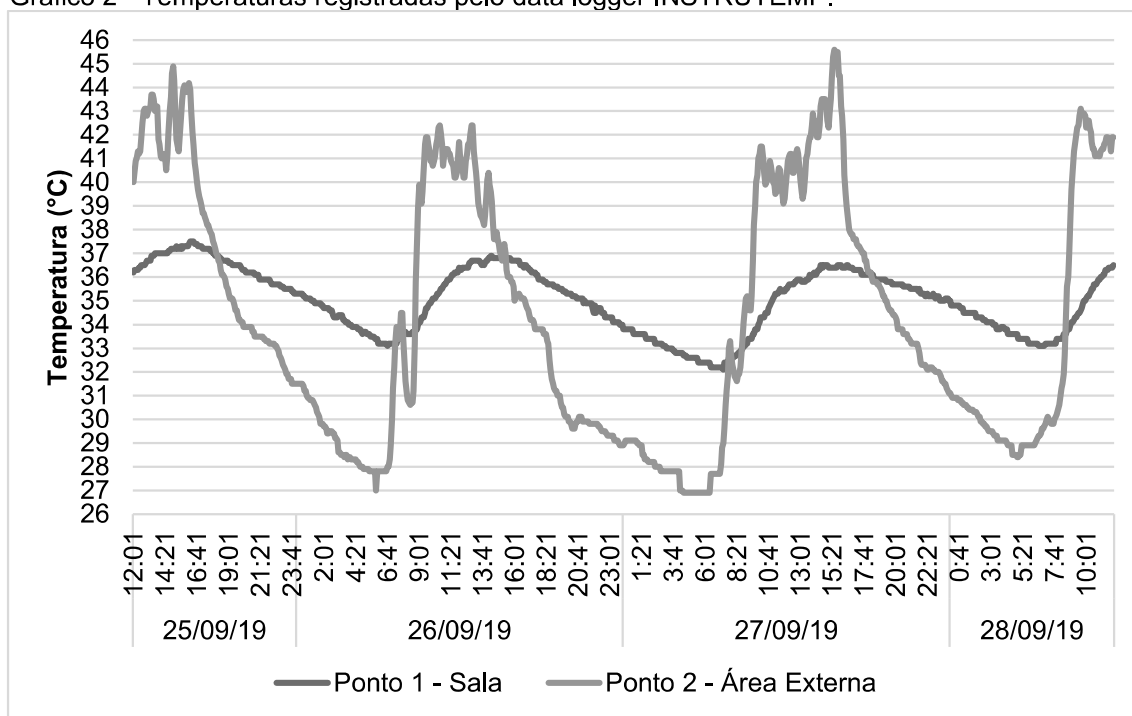
A temperatura interna máxima registrada pelo *data logger* da estação meteorológica INSTRUTEMP foi 37,5 °C no dia 25/09/2019 das 16h11min às 16h26min. A temperatura interna mínima de 32,1 °C foi registrada no dia 27/09/2019 às 7h21min. O equipamento registrou a temperatura externa máxima de 45,6 °C no dia 27/09/2019 às 15h31min. Já a temperatura externa mínima de 26,9 °C, foi registrada entre o período de 4h26min a 6h21min deste mesmo dia. O equipamento realizou registros de dados com intervalos de 5 minutos. As variações de temperaturas registradas pelo equipamento estão ilustradas no Gráfico 2, a seguir.

Gráfico 1 - Temperaturas registradas pelo Termo-higrômetro HOBO U12-013.



Fonte: Autoria própria (2020).

Gráfico 2 - Temperaturas registradas pelo data logger INSTRUTEMP.

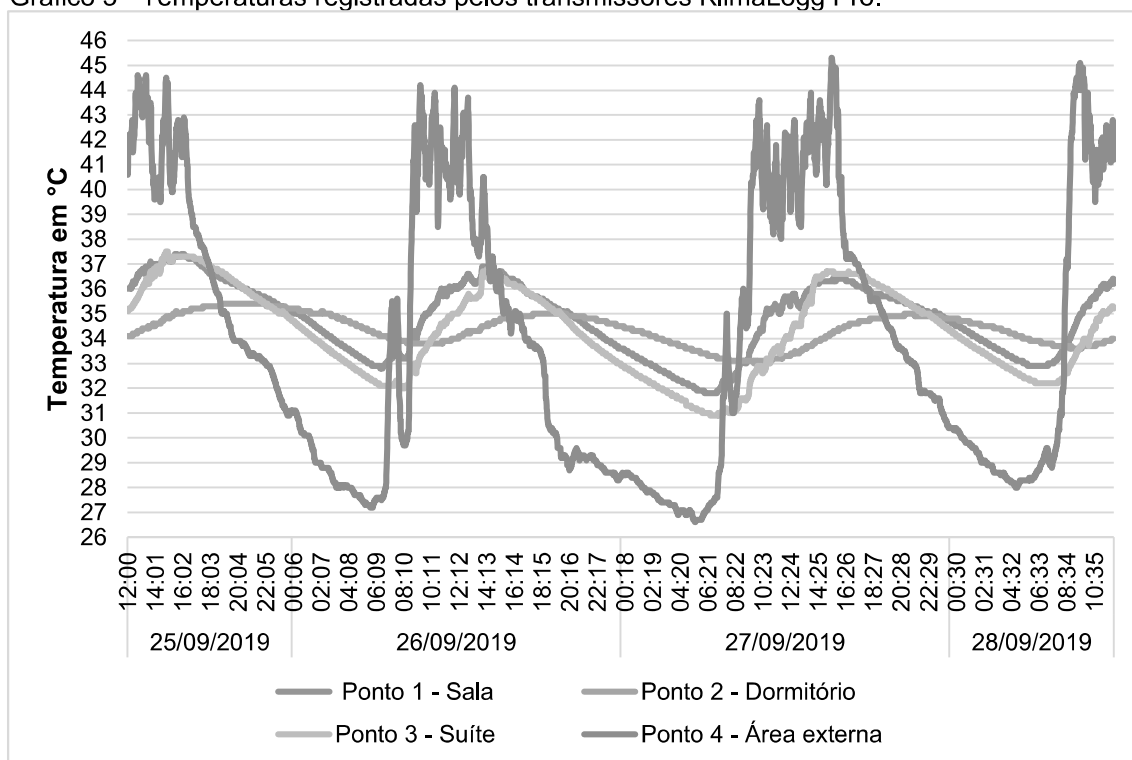


Fonte: Autoria própria (2020).

A estação de temperatura e umidade KlimaLogg Pro realizou os registros com intervalos de 1 minuto, e obteve a temperatura interna máxima através do transmissor posicionado na suíte. O registro foi de 37,5 °C entre o período de 14h48min a 14h56min do dia 25/09/2019. A temperatura interna mínima registrada foi de 30,9 °C através do transmissor posicionado na suíte da edificação, durante o período de 6h33min a 7h06min do dia 27/09/2019. A temperatura externa máxima foi de 45,3 °C, registrada de 15h34min a 15h35min do dia 27/09/2019. A temperatura externa mínima de 26,6 °C esteve presente no mesmo dia, sendo registrada das 5h26min às 5h28min.

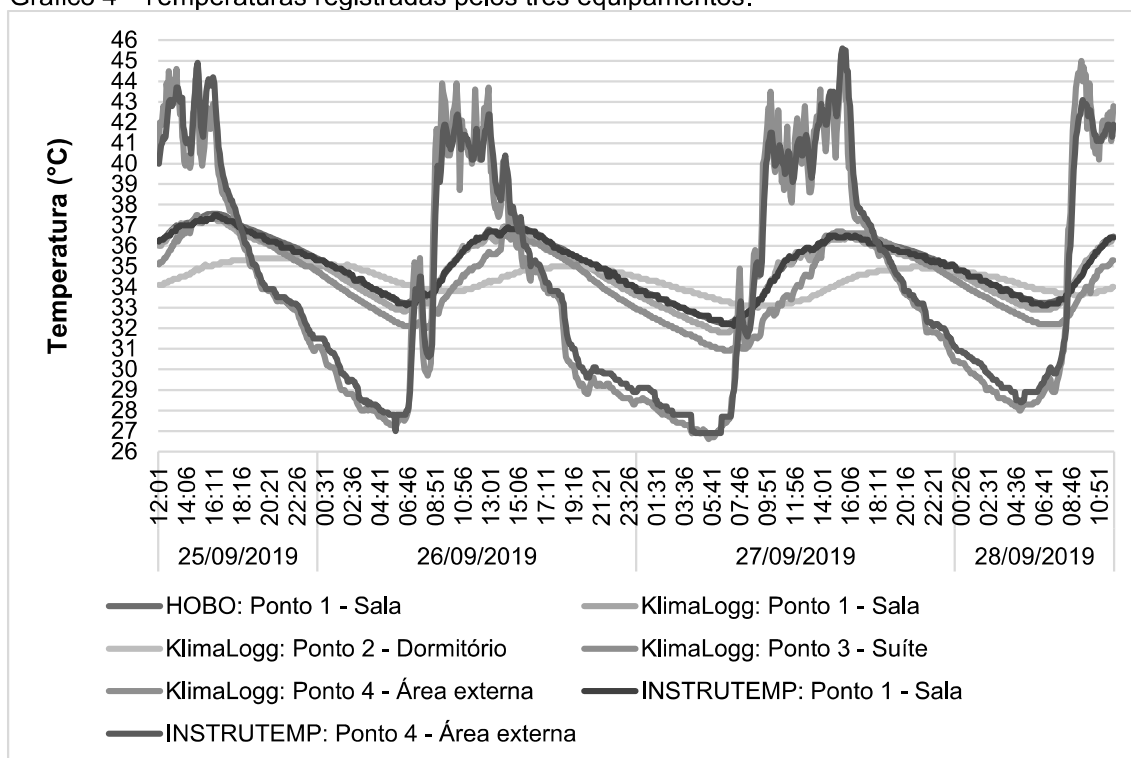
As variações de temperaturas registradas pelo equipamento estão ilustradas Gráfico 3 a seguir. Já a comparação entre os dados obtidos pelos três equipamentos, pode ser observada no Gráfico 4 seguinte.

Gráfico 3 - Temperaturas registradas pelos transmissores KlimaLogg Pro.



Fonte: Autoria própria (2020).

Gráfico 4 - Temperaturas registradas pelos três equipamentos.



Fonte: Autoria própria (2020).

Ao analisar as temperaturas registradas pelos transmissores durante os três dias, é possível observar que o dormitório apresentou a menor dentre as temperaturas máximas obtidas, todavia, a maior dentre as mínimas obtidas, como destacado no Quadro 9 a seguir.

Quadro 9 - Médias das temperaturas registradas ao longo dos dias.

Ambiente	Máximas (°C)	Mínimas (°C)	Médias (°C)
Ponto 1 - Sala	37,4	31,8	34,8
Ponto 2 - Dormitório	35,4	33,0	34,4
Ponto 3 - Suíte	37,5	30,9	34,3
Ponto 4 - Área externa	45,3	26,6	34,0

Fonte: Autoria própria (2020).

Como se trata de um ambiente com menor exposição (ver Figura 7), consequentemente este sofre menor influência externa se comparado aos demais. O fato de não possuir paredes ou aberturas expostas às direções norte ou oeste contribui para o dormitório atingir temperaturas menos elevadas. Por outro lado, a média das temperaturas registradas ao longo dos dias apresentaram variações mínimas entre os ambientes, permanecendo na faixa entre 34 °C e 35 °C.

O comportamento da temperatura interna ao longo dos dias revela tendência de aumento a partir das 7h, e posteriormente tendência de queda a partir das 17h, ambos com um atraso aproximado de 1 hora em relação à temperatura externa. É possível observar também que apesar da amortização da temperatura interna da edificação durante o período diurno, em torno de 8 °C inferior à externa, a mesma não reduz aos níveis mínimos da temperatura externa, sendo superior à externa em aproximadamente 4 °C, fenômeno típico da inércia térmica dos materiais.

4.2.2 Validação dos dados

Para a avaliação do desempenho térmico da edificação, foram considerados os dados obtidos pela estação de temperatura e umidade KlimaLogg Pro, tendo em vista que através deste equipamento foi possível realizar medições em todos os ambientes de longa permanência, além da área externa.

A validação dos dados obtidos pelo KlimaLogg Pro foi baseada na correlação positiva com os dados obtidos pelo Termo-higrômetro HOBO U12-013, visto que, se trata de um equipamento que atende às exigências de precisão da ISO 7726 (ISO, 1998), exigências estas, supracitadas na seção 3.4. O Quadro 10 a seguir, apresenta os coeficientes de correlação entre os dados registrados pelos equipamentos utilizados.

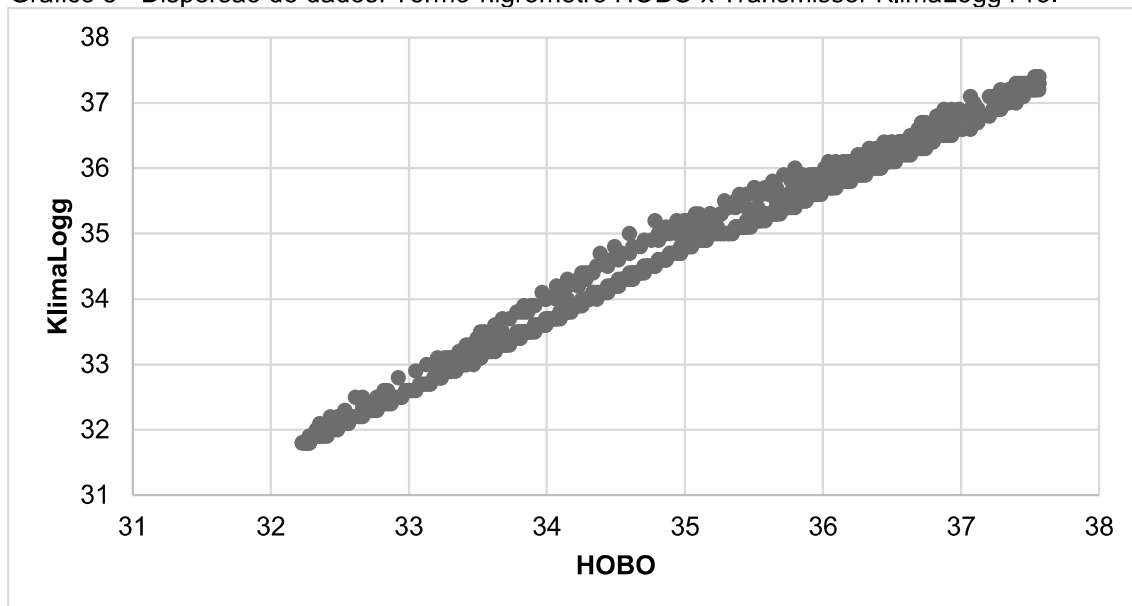
Quadro 10 - Coeficientes de correlação entre equipamentos.

Equipamentos comparados	Coeficiente de correlação
HOBO x KlimaLogg	0,994
HOBO x INSTRUTEMP	0,997
KlimaLogg x INSTRUTEMP (Ponto 1)	0,992
KlimaLogg x INSTRUTEMP (Ponto 4)	0,988

Fonte: Autoria própria (2020).

Os gráficos seguintes, ilustram a forte correlação positiva entre os dados obtidos pelos equipamentos. Quanto mais próximo de 1 for o valor do coeficiente de correlação, menor será a dispersão dos dados. Essa condição pode ser observada ao comparar o Quadro 10 com os Gráfico 5, 6, 7 e 8.

Gráfico 5 - Dispersão de dados: Termo-higrômetro HOBO x Transmissor KlimaLogg Pro.



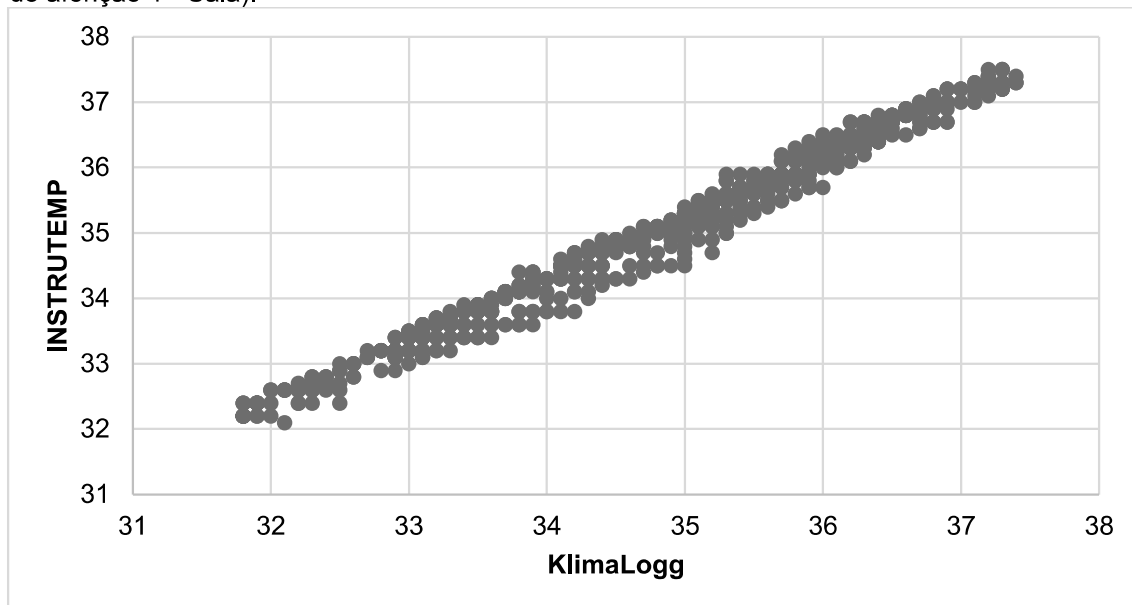
Fonte: Autoria própria (2020).

Gráfico 6 - Dispersão de dados: Termo-higrômetro HOBO x Data Logger INSTRUTEMP.



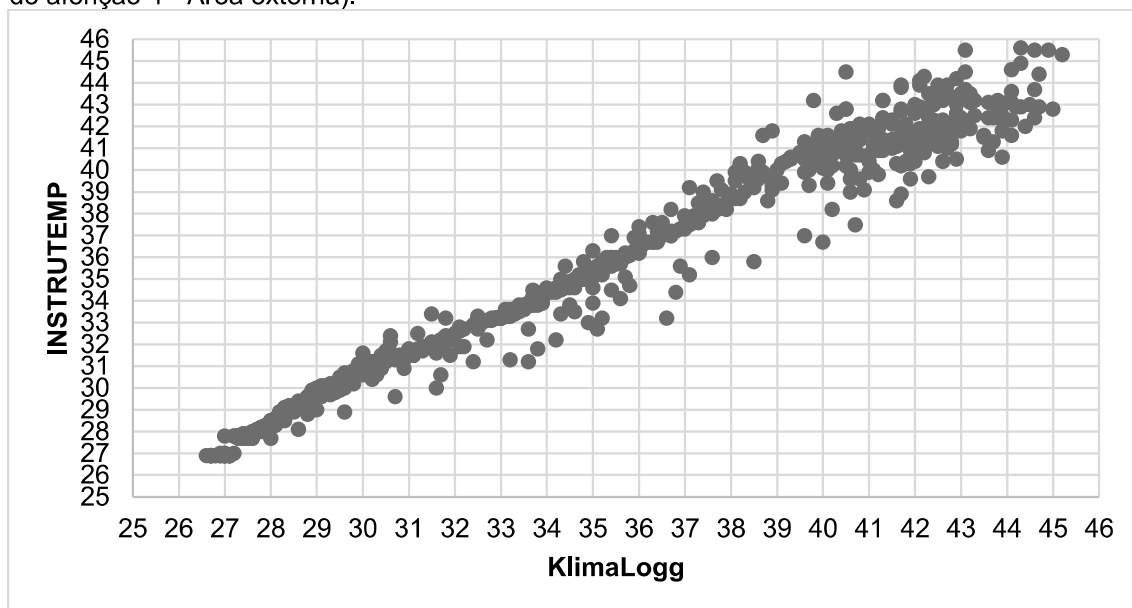
Fonte: Autoria própria (2020).

Gráfico 7 - Dispersão de dados: Transmissor KlimaLogg Pro x Data Logger INSTRUTEMP (Ponto de aferição 1 - Sala).



Fonte: Autoria própria (2020).

Gráfico 8 - Dispersão de dados: Transmissor KlimaLogg Pro x Data Logger INSTRUTEMP (Ponto de aferição 4 - Área externa).



Fonte: Autoria própria (2020).

Desta forma, justifica-se a escolha do KlimaLogg Pro para a avaliação do desempenho térmico da edificação, uma vez que, há pouca dispersão entre as temperaturas registradas por este equipamento e pelo HOBO. Posto isto, os dados puderam ser utilizados com segurança.

4.2.3 Análise do desempenho

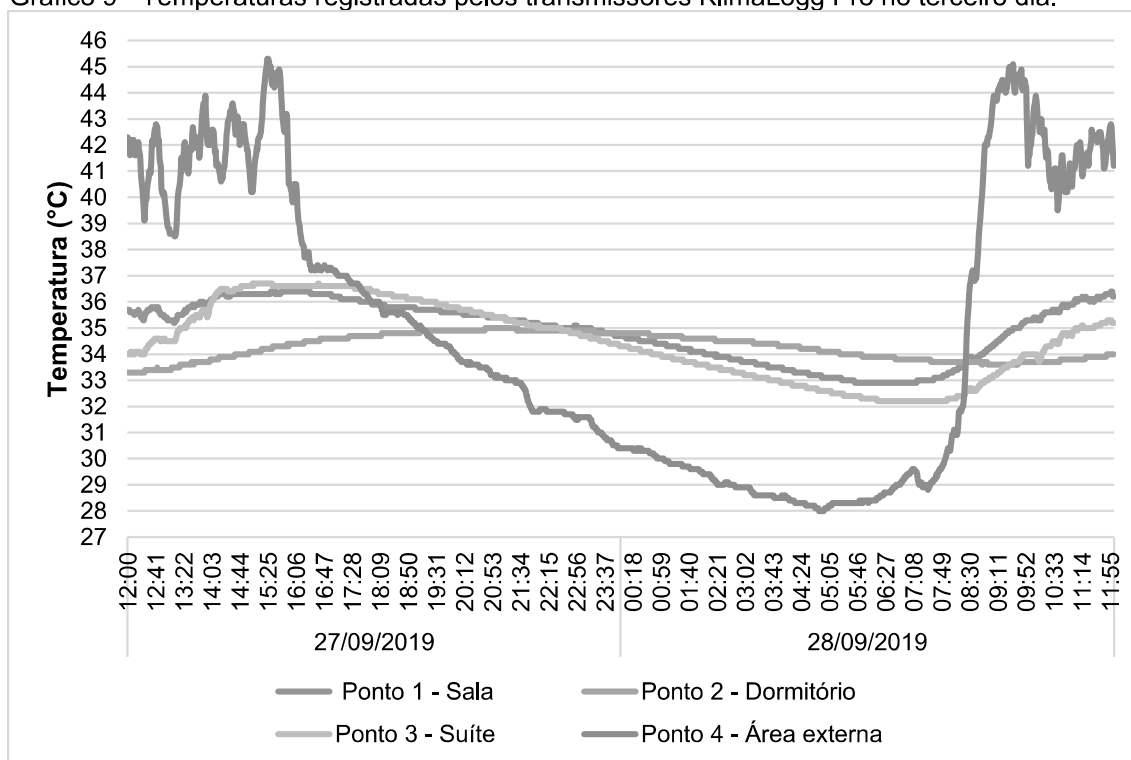
Segundo a ABNT NBR 15575 (2013), a avaliação do desempenho térmico é baseada no terceiro dia de coleta de dados. O Quadro 11 a seguir, apresenta os valores das temperaturas máximas e mínimas registradas pelos transmissores KlimaLogg Pro em cada ambiente de longa permanência e na parte externa à edificação no último dia de coleta, período que corresponde das 12h do dia 27/09/2019 às 12h do dia 28/09/2019. A partir do Gráfico 9, é possível visualizar as variações neste período.

Quadro 11 - Temperaturas máximas e mínimas - terceiro dia.

Ambiente	Máximas (°C)	Mínimas (°C)
Ponto 1 - Sala	36,4	32,9
Ponto 2 - Dormitório	35,0	33,3
Ponto 3 - Suíte	36,7	32,2
Ponto 4 - Área externa	45,3	28,0

Fonte: Autoria própria (2020).

Gráfico 9 - Temperaturas registradas pelos transmissores KlimaLogg Pro no terceiro dia.



Fonte: Autoria própria (2020).

A ABNT NBR 15575-1 (2013) traz em seu Anexo E os critérios de atendimento conforme os níveis de desempenho para edificações. Como se trata de uma edificação localizada na zona bioclimática 7, não é necessário realizar avaliação de desempenho térmico para inverno. O Quadro 12 apresenta os critérios para condições de verão:

Quadro 12 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
I	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2\text{ °C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1\text{ °C})$
S	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4\text{ °C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2\text{ °C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1\text{ °C})$
Ti,max é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; Te,max é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; Ti,min é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; Te,min é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.		

Fonte: ABNT NBR 15575-5 (2013, p. 62)

Desta forma, a edificação atende aos critérios dos níveis de desempenho mínimo (M), intermediário (I), e superior (S) conforme critérios estabelecidos pela norma, como pode ser visto no Quadro 13:

Quadro 13 - Critérios e níveis de desempenho da edificação.

Nível de desempenho	Critérios para zonas 1 a 7	
M	$36,7\text{ °C} \leq 45,3\text{ °C}$	Atende
I	$36,7\text{ °C} \leq (45,3\text{ °C} - 2\text{ °C})$	Atende
S	$36,7\text{ °C} \leq (45,3\text{ °C} - 4\text{ °C})$	Atende

Fonte: Autoria própria (2020).

Por outro lado, segundo dados fornecidos pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, a temperatura máxima registrada em Palmas – TO durante o período de medições, foi de 38,2 °C no dia 25/09/2019 por volta das 14h. Já no terceiro dia de medição, a temperatura máxima registrada foi de 37,4 °C por volta das 12h do dia 28/09/2019. A grande diferença entre as temperaturas externas máximas registradas pelos equipamentos e a temperatura máxima fornecida pelo INMET, expõe a falta de detalhes fornecidos pela norma quanto ao registro de temperaturas externas à

edificação, uma vez que, a mesma traz como informação apenas que deve ser realizado à sombra (ver Quadro 14).

Quadro 14 - Critérios e níveis de desempenho da edificação - Utilizando dados do INMET.

Nível de desempenho	Critérios para zonas 1 a 7	
M	$36,7\text{ °C} \leq 37,4\text{ °C}$	Atenderia
I	$36,7\text{ °C} \leq (37,4\text{ °C} - 2\text{ °C})$	Não atenderia
S	$36,7\text{ °C} \leq (37,4\text{ °C} - 4\text{ °C})$	Não atenderia

Fonte: Autoria própria (2020).

Desta forma, para fins de comparação, caso a avaliação do desempenho fosse feita utilizando como temperatura externa máxima o valor fornecido pelo INMET, a edificação atenderia somente ao critério de nível mínimo (M) de desempenho, conforme apresentado no Quadro 14.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A partir da realização dos procedimentos de análise do desempenho térmico, segundo orientações da ABNT NBR 15575 (2013), pôde-se constatar o atendimento aos requisitos mínimos de desempenho por parte da edificação estudada. Através do método simplificado, o sistema de vedações verticais externas atendeu aos critérios mínimos. Já pela medição, a edificação atendeu também aos níveis intermediário e superior. Além disso, a influência de parâmetros construtivos na variação da temperatura interna foi confirmada ao comparar os dados registrados nos diferentes recintos, tendo em vista que, o dormitório como ambiente de menor exposição externa, apresentou menores variações de temperatura interna. Neste caso, o parâmetro de influência foi a orientação de fachadas e aberturas.

A análise do desempenho pelo método simplificado expôs algumas dificuldades e limitações. A exemplo da falta de informações por parte da ABNT NBR 15220 (2003) quanto aos valores de absorvência à radiação solar das superfícies externas. A norma se limita à apenas alguns materiais e cores, e devido à ausência do valor exato a ser considerado para materiais como fibrocimento sem pintura, que são amplamente utilizados na construção civil, foi necessário a utilização de uma pesquisa realizada por terceiros para obtenção desta informação. Além disso, a norma não considera a influência dos estados de conservação dos materiais no valor da absorvência. Segundo Coelho; Gomes e Dornelles (2017), há variações consideráveis, dependendo do estado do material.

A determinação do nível de desempenho do sistema de cobertura está ligada ao fator de ventilação (FV) segundo a ABNT NBR 15575-5 (2013), entretanto, o método de obtenção do FV disponível na norma, apresenta contradições e carece de informações precisas e detalhes. Assim sendo, foi necessário consultar a literatura, e buscar interpretações de outros autores quanto à utilização do fator de ventilação. Após isto, pôde ser constatado que a cobertura não atendeu ao critério de nível mínimo de desempenho. Como o sistema de cobertura apresentou transmitância térmica de $1,94 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, para o atendimento, seria necessário um fator de ventilação de pelo menos $\text{FV} = 1,29$. No entanto, o máximo FV obtido por uma câmara de ar ventilada é de 1,17. A opção possível, como a própria norma sugere, é a utilização de uma lâmina de alumínio polido na câmara de ar (superfície de baixa emissividade). Com isso, a Resistência térmica da câmara de ar não ventilada com a mesma

espessura existente na edificação seria de $R_{ar} = 0,61$ (e não 0,21 como consta no Quadro 9), obtendo assim uma transmitância de $1,09 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, atendendo à norma.

Através da medição *in loco* foi possível observar outra imprecisão dos procedimentos, visto que, não há clareza quanto à instalação e disposição dos equipamentos para registro de temperaturas externas. As temperaturas externas registradas pelos equipamentos se apresentaram muito acima das fornecidas pelo INMET para o mesmo período. Tanto que, a partir da utilização da temperatura externa máxima registrada pelo KlimaLogg Pro para a análise do desempenho térmico, a edificação atendeu a todos os níveis de desempenho. Já, a partir da utilização da temperatura máxima fornecida pelo INMET, a edificação atenderia somente ao nível mínimo.

A utilização e consideração da norma de desempenho ABNT NBR 15575 (2013) é essencial para a garantia do desempenho térmico das edificações, porém não é unanimidade, muitas vezes por falta de conhecimento dos profissionais envolvidos na cadeia produtiva, outras, pelas inconsistências encontradas em seus procedimentos. Desta forma, a partir da revisão e suas melhorias previstas, o setor da construção civil tende a ganhar muito, se tratando de desempenho das edificações. Além disso, este trabalho pode contribuir com tal revisão, tendo em vista a identificação de algumas inconsistências.

Esta pesquisa se soma às demais realizadas em Palmas – TO, servindo como parâmetros para futuros trabalhos realizados na região, ou de maneira mais abrangente, à toda a zona bioclimática 7, tendo em vista que estão sujeitos aos mesmos critérios para avaliação do desempenho. A partir desta, foi possível contribuir na constatação de que ao considerar as propriedades térmicas dos elementos construtivos nas fases de projeto das edificações de maneira geral, torna-se mais confortável a utilização das mesmas por parte dos usuários finais, sobretudo em regiões de climas com características semelhantes, quente e seco, tendo em vista o desempenho térmico satisfatório, e conseqüentemente a garantia de conforto térmico.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Y. F. DE. **Análises de desempenho térmico de edificações: Um estudo de caso na cidade de Palmas - TO.** [s.l.] Palmas: UFT, 2015.

ALMEIDA, Y. F. DE; REINALDO, R. L.; SILVA, L. F. G. DA. Análise de desempenho térmico de edificações: Um estudo de caso na Cidade de Palmas – TO. **Desafios - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins.** v. 3, n. 2, p. 14–25, 2016.

ASBEA. **Guia para Arquitetos na Aplicação da NBR15575.** 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 30 p.

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: ABNT, 2005. 30 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1 Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais,** 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4 Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas.** p. 51, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5 Edificações habitacionais - Desempenho Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas.** p. 1–73, 2013a.

BARROS, M. T. R. DE. **Avaliação de desempenho térmico de habitação de interesse social em Porto Nacional - TO, utilizando método de simulação computacional.** [s.l.] Porto Nacional - TO: UFT, 2016.

BRITO, A. C. DE; AKUTSU, M.; VITTORINO, F.; AQUILINO, M. DE M. Contribuições Para o Aprimoramento da NBR 15575 Referente ao Método Simplificado de Avaliação de Desempenho Térmico de Edifícios. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais.** Juiz de Fora: ENTAC, 2012.

CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C.; SILVA, R. A. F. DA; OLIVEIRA, A. S. DE. Desempenho térmico de habitação de interesse social na zona bioclimática 7

utilizando procedimentos prescritivos e de medição. **Anais**. V Seminário Matogrossense de Habitação de Interesse Social. Novembro, 2013.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO - CBIC. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. 2013.

CHVATAL, K. M. S. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído**. v. 14, n. 4, p. 119–134, 2014.

COELHO, T. DA C. C.; GOMES, C. E. M.; DORNELLES, K. A. Desempenho térmico e absorvância solar de telhas de fibrocimento sem amianto submetidas a diferentes processos de envelhecimento natural. **Ambiente Construído**. v. 17, n. 1, p. 147–161, 2017.

COSTELLA, M., F. **Norma de desempenho de edificações: Modelo de aplicação em construtoras**. Curitiba: Appris editora, 2018.

DONATO, N. D.; BRAGA, D. K. Análise do desempenho térmico (NBR 15.575) de três empreendimentos residenciais em Rondonópolis-MT. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**. n. 22, p. 72–87, 2018.

EUROPEAN COMMISSION. **Energy performance of buildings directive**. 2019. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings/energy-performance-buildings-directive>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

FREITAS, T. P. F. **O campo térmico de Palmas/TO em episódios de primavera-verão e de outono-inverno: contribuições ao planejamento urbano**. [s.l.] Palmas: UFT, 2015.

FURLANETTO, P. E. P. **Estudo de caso sobre os impactos da norma de desempenho, ABNT NBR 15575: 2013, no mercado de residências unifamiliares populares**. [s.l.] Campina Grande - PB: UFPB, 2017.

GARCÍA, A. S. W. **Zoneamento bioclimático para edificações baseado no desempenho térmico**. [s.l.] Campinas - SP: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, 2017.

GRIGOLETTI, G. C; SATTLER, M. A. Método de Avaliação Global de Desempenho Higrotérmico de Habitações de Interesse Social Para Porto Alegre, RS, Brasil. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 101-114, abr./jun. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA - INMETRO. **Anexo II. Anexo Geral II – Tabela de descontos das esquadrias**. Anexo da Portaria: nº 18/2018

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMETRO. **Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática**. Disponível em:

<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>.
Acesso em: 01 fev. 2020.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 1997.

LIMA, M. B. DE; PINHEIRO, L. P.; SANTOS, K. H. DE J.; SILVA, L. F. G. DA; BATISTA, P. DOS S.; CARVALHO, A. DOS G. DE. Comparação do desempenho térmico entre protótipos construídos com bloco de alvenaria de solo-cimento com lodo incorporado e materiais sustentáveis convencionais. **Anais**. XIV ENCAC / X ELACAC. Setembro, 2017.

LIMA, Mariana Brito de; BARBOSA, Djean da Costa; SILVA, Liliane Flávia Guimarães da. Arquitetura bioclimática: recomendações para Palmas/TO. **Anais**. In: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 11., out. 2014, Curitiba.... Curitiba: Associação Brasileira de Climatologia, 2014. p. 186–198.

LORENZI, L. S.; SILVA FILHO, L. C. P. Impacto da aplicação da ABNT NBR 15575 para os projetos de edificações **Anais**. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2014

MATTOS, T. L. DE. **Análise do desempenho térmico de habitações populares da microrregião de Guaratinguetá - SP**. [s.l.] Guaratinguetá - SP: UNESP, 2015.

MENEZES, N. F. **O desempenho térmico de uma habitação social no contexto climático do Tocantins**. Dissertação. Graduação. Engenharia Civil. Palmas: IFTO, 2019.

NASCIMENTO, M. O. DO. **Desempenho térmico em edificações: Análise da envoltória em uma residência unifamiliar em Palmas - TO**. [s.l.] Palmas: UFT, 2016.

OKAMOTO, P. S; MELHADO, S. B. **A norma brasileira de desempenho e o processo de projeto de empreendimentos residenciais**. n. 1, p. 1973–1982, 2014.

PIRES, G. É. **Avaliação de parâmetros biofísicos, derivados de dados satelitários, na área de influência do reservatório da UHE Luís Eduardo Magalhães - TO**. [s.l.] Goiânia: UFG, 2017.

PROSDOCIMI, A. A. **Revisão da NBR 15575 – a norma de desempenho. O que vem por aí?** Disponível em: <<http://prosdocimiconsultoria.com.br/revisao-da-nbr-15575-norma-de-desempenho-o-que-vem-por-ai/>>. Acesso em: 30 out. 2019.

ROCHA, N. G. M. **O uso da IOT para monitoramento do desempenho térmico de um empreendimento imobiliário em Palmas/TO, à luz da norma de desempenho NBR 15575**. [s.l.] Palmas: IFTO, 2019.

SANTANA, V. DE C. **Simulação computacional de desempenho térmico: Um estudo de caso na cidade de Palmas - TO**. [s.l.] Palmas: UFT, 2016.

SEPLAN, S. DO P. E DA M. DA G. P. **Atlas do Tocantins - Subsídios ao Planejamento da Gestão Territorial**. Palmas: [s.n.].

SILVA, M. A. C. **Necessidades de revisão da ABNT NBR 15575 em relação ao desempenho térmico e lumínico de edificações habitacionais**. Disponível em: <<https://cbic.org.br/inovacao/2018/03/29/necessidades-de-revisao-da-abnt-nbr-15575-em-relacao-ao-desempenho-termico-e-luminico-de-edificacoes-habitacionais/>>. Acesso em: 30 out. 2019.

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**. v. 14, n. 4, p. 83–101, 2014.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**. n. 12, p. 13–21, 2014.

SOUZA, J. L. P. DE. **Desafios na implantação do nível superior da norma de desempenho em edificação residencial em Novo Hamburgo/RS**. [s.l.] Novo Hamburgo - RS: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2016.

SOUZA, J. L. P. DE; KERN, A. P.; TUTIKIAN, B. F. Análise quantiquantitativa da norma de desempenho (NBR nº 15.575/2013) e principais desafios da implantação do nível superior em edificação residencial de multipavimentos. **Periodicos.Usp.Br**. v. 13, n. 1, p. 127–144, 2018.

VAN DIJK, D.; HOGELING, J. The new EN ISO 52000 family of standards to assess the energy performance of buildings put in practice. **E3S Web of Conferences**. v. 111, n. 201 9, p. 04047, 2019.