

ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES: UM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE PALMAS – TO



Revista
Desafios

Artigo Original
Original Article
Artículo Original

Thermal performance analysis of buildings: A case study in Palmas-TO

Análisis del desempeño térmico de edificaciones: Un caso de estudio en la ciudad de Palmas-TO

Ygor Freitas^{*1}, Raydel Lorenzo¹

¹Laboratório de Tecnologia da Construção, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, Brasil.

*Correspondência: Laboratório de Tecnologia da Construção, Universidade Federal do Tocantins, Av. NS 15, 109 Norte, Palmas, Tocantins, Brasil. CEP:77.010-090. e-mail: ygorfreitas@hotmail.com.

Artigo recebido em 04/11/2015. Aprovado em 06/11/2016. Publicado em 22/11/2016.

RESUMO

Diante da necessidade de assegurar ambientes que estejam alinhados aos requisitos dos usuários, interpretados a partir das exigências de segurança e conforto, a Norma ABNT NBR 15575/2013 surge com o objetivo de suprir e materializar tais necessidades através de requisitos mínimos a serem atendidos na execução de empreendimentos da construção civil. Nesta ótica, alinhado à realidade da cidade de Palmas – TO e o registro de altas temperaturas durante todo ano, este trabalho tem o objetivo de estudar e analisar o desempenho térmico à luz da norma de desempenho através de um estudo de caso. Os resultados encontrados, além de caracterizar, para a unidade estudada, o atendimento integral dos requisitos e critérios contidos na referida norma, sugerem e evidenciam a necessidade de uma revisão deste arcabouço normativo, na medida em que embora para resultados positivos, revela-se temperaturas internas maiores que temperaturas externas na maior parte do dia de medição. Neste sentido, a contribuição do estudo é caracterizada, não somente por classificar o ambiente estudado, mas acima de tudo, de compreender os requisitos e critérios atribuídos e a partir desta compreensão inferir-se sobre sua aplicabilidade e a necessidade de adequá-los para que assim seja possível um atendimento e à leitura mais próxima da realidade das verdadeiras necessidades dos usuários.

Palavras-chave: desempenho térmico; NBR 15575; medição in-loco;

ABSTRACT

Given the need to ensure comfort of users, interpreted from the safety and comfort requirements, the standard ABNT NBR 15575/2013 arise with the aim of make-up and materialize these requirements throw minimums values to be achieved in the execution of building. Taken into account the record of high temperatures in all the year in the city of Palmas – TO, this research has the objective of study and analyze the thermal performance and the evaluation methods presented in the standard. A case study is used was used to developed the research. The results founded, in addition to the assessment of all the criteria for a specific building, suggest and show the necessity of a revision of all the standards related with this issue. This conclusion is based in the result founded for the building case studied: although the requirements of the NBR 15575 are fulfilled, most of the measured day internal temperatures are higher than the external temperatures. In this way, the contribution of this study, not only classified the building but it helped to the understand of the agreement of the standard with the real behavior of the building, and the applicability of the methodologies of the standard.

Keywords: thermal performance; NBR 15575; in-situ measurement;

RESUMEN

Debido a la necesidad de asegurar el confort térmico y la seguridad de los usuarios de una edificación, la norma ABNT NBR 15575/2013 surge con el objetivo de materializar estos requisitos mínimos para el desempeño de edificaciones. Considerando los registros de altas temperaturas en todo el año en la ciudad de Palmas-TO, esta investigación tuvo el objetivo de estudiar y analizar el desempeño térmico y los métodos presentes en la norma. Un caso de estudio fue utilizado para desarrollar la investigación. Los resultados encontrados, además de evaluar el confort térmico de la edificación estudiada, sugiere y presenta la necesidad de una revisión de las normas relacionadas. Esta conclusión está basada en el resultado encontrado para la edificación estudiada: aunque los requerimientos de la norma NBR 15575 son cumplidos, la mayor parte del tiempo las temperaturas internas son mayores que las externas. De esta forma, la contribución de este estudio, no fue solo clasificar el edificio estudiado, sino que ayudo en el entendimiento del acuerdo entre la norma y el real comportamiento de la edificación estudiada, y la aplicabilidad de las metodologías de la norma de desempeño térmico.

Descriptor: *rendimiento térmico; NBR 15575; medir in situ;*

INTRODUÇÃO

É evidente a necessidade de parâmetros que possam nortear os critérios de qualidade da edificação, para tanto, é necessário para os agentes envolvidos, estar de posse desses critérios para que uma avaliação possa ser efetivada. Diante dessa necessidade, a norma ABNT NBR 15575/2013 estabelece os requisitos e critérios de desempenho que se aplicam às edificações habitacionais, como um todo integrado, bem como serem avaliados de forma isolada para um ou mais sistemas específicos.

Embora existam requisitos mínimos de conforto, a experiência brasileira mostra uma série de patologias e acidentes ocasionados pela falta de cumprimento desses critérios. Esta conta, geralmente está equacionada pela busca de redução de custos e consequentemente pelo uso de materiais e métodos de baixa qualidade. A situação se torna ainda mais preocupante, já que do lado dos consumidores, o recebimento de uma edificação não pode ser avaliado pelos critérios técnicos como alguns produtos de consumo, apenas por critérios estéticos e de simples funcionalidade, o que nem sempre pode ser considerado correto, já que no caso de obras, geralmente as patologias quando não imediatas à

entrega da obra, demoram um certo período até o seu aparecimento.

O passo inicial, com certeza passa pela definição clara dos parâmetros a serem atingidos, o que a norma já traz em seu arcabouço, e num segundo plano a exigência do atendimento de tais parâmetros.

Segundo a ABNT NBR 15575/2013, desempenho diz respeito ao comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas, e a forma do seu estabelecimento é dada por meio da definição clara de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação, os quais sempre permitem a mensuração clara do seu atendimento.

De posse da urgência na concepção de uma normatização que pudesse adequar e horizontalizar os índices de desempenho térmico para diferentes tipos de edificações foi desenvolvido a primeira norma de desempenho térmico no Brasil, a NBR 15220/2005 que estabelece critérios de acordo com parâmetros adequados à realidade brasileira. Posteriormente, em razão, da limitação da primeira norma em atender somente edificações unifamiliares de interesse social, foi publicada uma nova norma, a NBR 15575. Esta estabelece requisitos mínimos de

desempenho, vida útil e de garantia para os sistemas que compõem as edificações. (SORGATO, M, J.; MELO, A. P. e LAMBERTS, R., 2013).

A partir da publicação da primeira versão da norma NBR 15575, houve no Brasil diversos estudos, com diferentes linhas de pesquisas, mas com um único objetivo: avaliar a adequabilidade da norma de desempenho para diferentes cenários. Os cenários variam desde o uso de diferentes tipos de materiais, até às diferentes composições climatológicas no Brasil. Sorgato, et al., (2012) apresentam sugestões e críticas para a NBR 15575, no quesito desempenho térmico das edificações. A principal crítica centra-se no método de análise de desempenho térmico por não fazer uso real da edificação sob análise e a não avaliação da influência da variação anual da temperatura no desempenho térmico da edificação. No trabalho de SORGATO, M, J.; MELO, A. P. e LAMBERTS, R., (2013), os autores mostraram que a aplicação da norma pode apresentar diferentes resultados, dependendo de como são configurados os dias típicos de verão e de inverno, o que não é previsto pela norma em estudo.

Diante de tais questionamentos, tendo em vista a importância da avaliação do desempenho térmico, esta pesquisa avalia se os critérios e métodos de determinação de desempenho térmico descritos pela norma NBR 15575/2013 podem ser aplicados e oferecem resultados satisfatórios para o município de Palmas-TO.

Com base nas discussões ora apresentadas e levando em consideração a importância da verificação do atendimento dos critérios e requisitos da NBR 15575/2013, além disso, considerando a temperatura um fator crítico quanto aos critérios de conforto e desempenho térmico, e tendo a cidade de Palmas uma alta temperatura média anual (26°) (Paz, 2009), o presente estudo tem por objetivo: à luz da norma NBR 15575/2013, analisar e avaliar o

desempenho térmico de um caso de estudo no Município de Palmas - TO.

METODOLOGIA

Com o propósito de verificar e elucidar os critérios e requisitos mínimos de conforto e desempenho térmico determinados pela Norma de Desempenho, escolheu-se uma edificação na Cidade de Palmas para aplicar a metodologia descrita pela NBR 15575/2013. A continuação é apresentada estes critérios e como podem e serão analisados.

Desempenho Térmico: Método de Avaliação – NBR 15575

Segundo a NBR 15575, a edificação deve reunir características que possam atender às exigências de desempenho térmico, considerando a zona bioclimática em que está inserida, avaliada sob as condições naturais da edificação.

Neste sentido, a Norma de Desempenho estabelece dois procedimentos de avaliação de desempenho térmico, o primeiro, chamado de simplificado (normativo), verifica o atendimento dos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas. Em caso de atendimento insatisfatório, a norma recomenda para este caso a aplicação do método de simulação computacional. O segundo procedimento, chamada de Medição in loco, verifica o atendimento dos requisitos e critérios, realizado por meio de medições realizadas com a obra (ou protótipo) já concluída.

Diante desta descrição, este estudo optou por desenvolver a análise com base nos dois procedimentos exigidos pela norma. O procedimento 1, chamado de simplificado, onde valores de transmitância e capacitância térmica devem ser atendidos. Para o não atendimento destes parâmetros a norma prescreve a utilização da análise através de simulação computacional.

Por fim, os procedimentos descritos não estão classificados segundo uma ordem hierárquica, na verdade o procedimento 1 (simplificado) é recomendado para utilização ainda na fase de projeto, sendo a obrigatoriedade de desempenho térmico atendida na medida em que se encontrem resultados satisfatórios, não impedindo que estudos posteriores sejam realizados. Já o procedimento 2 (estudo *in loco*), como pode-se supor, deve ser realizado, obrigatoriamente, quando a edificação já está totalmente pronta, já que o acabamento da obra influencia significativamente no resultado final para análise de desempenho.

Procedimento 1 - Método Simplificado

Neste método simplificado, verifica-se o atendimento aos requisitos e critérios para fachadas e coberturas, estabelecidos na NBR 15575-4 e NBR 15575-5 para os sistemas de vedação vertical interna e externa - SVVIE e para os sistemas de coberturas, respectivamente.

A seguir serão descritos, os critérios, método de avaliação e nível de desempenho requerido para cada sistema.

Para os sistemas de vedação vertical interna e externa – SVVIE, é necessário o atendimento de três critérios: transmitância térmica (U) de paredes externas, capacidade térmica (CT) de paredes externas e aberturas para ventilação. De forma resumida, os valores dos dois primeiros critérios (U e CT), serão obtidos de acordo com a metodologia expressa pela NBR 15220-2 e posteriormente confrontados com as exigências da norma. O critério aberturas para ventilação, é calculado conforme um procedimento descrito pela NBR 15575, e da mesma forma dos critérios anteriores os valores encontrados são confrontados com as exigências de desempenho da norma.

Os resultados obtidos aqui estão relacionados à configuração global do empreendimento

relacionado com os materiais utilizados e conseqüentemente às suas propriedades físicas. Sendo uma avaliação de projeto, pode-se simular o uso de diferentes materiais até que se atinja o desempenho exigido pela norma.

Para os sistemas de coberturas, só há um requisito de atendimento: transmitância térmica. Para tanto, a norma fixa os valores máximos admissíveis, considerando o fluxo térmico descendente, em função das zonas bioclimáticas.

Com base nos valores tabelados pela norma, considerando como exigência o nível mínimo de desempenho requerido, calcula-se a transmitância térmica do edifício em análise utilizando o mesmo método descrito para Sistemas de Vedações Verticais Interna e Externas – SVVIE, obviamente os parâmetros de cálculo e conseqüentemente o resultado final, são valores diferentes já que se trata de materiais diferentes.

Procedimento 2 – Medição *in-loco*

A medição *in loco*, prevê a verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na NBR 15575 por meio da realização de medições de temperatura em edificações existentes ou mesmo em protótipos construídos para esta finalidade.

Segundo a norma, O valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como, por exemplo, salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário de temperatura do ar exterior para que seja atingido o critério mínimo de desempenho.

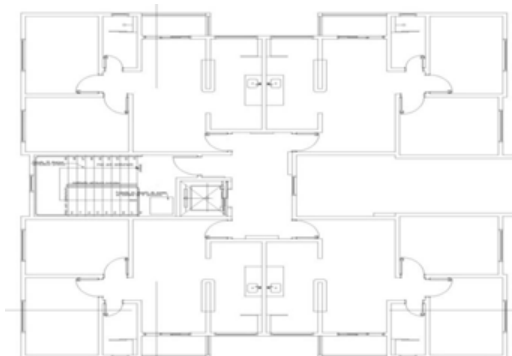
Os critérios apresentados pela norma são considerados para um dia típico de verão com medições à sombra. Para as condições de inverno, a norma não especifica a necessidade de adotar critérios de desempenho térmico para as zonas 6, 7 e 8.

CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO ESTUDADO

O Edifício selecionado para este estudo é de alvenaria estrutural, tecnologia construtiva recorrente na região, e a planta que apresenta é bastante típica na região. O Edifício estudado está situado no plano diretor Sul da cidade de Palmas, tendo área total 1882,18 m².

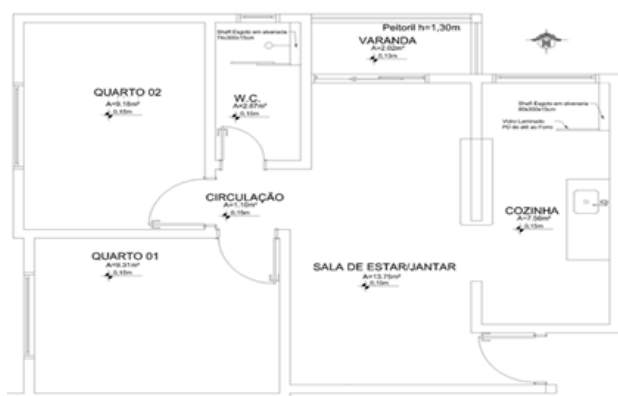
Trata-se de um de um edifício constituído por dois Blocos denominados de Bloco A e Bloco B, possuindo seis pavimentos, sendo um pavimento térreo e cinco pavimentos tipo. Cada pavimento contém quatro apartamentos com dois quartos, contabilizando 48 unidades por bloco. O pavimento tipo é composto por hall de circulação, elevador, escada e quatro apartamentos em cada Bloco (Figura 1).

Figura 1. Planta baixa do pavimento tipo.



Cada apartamento possui área total de 53,17 m².

Figura 2. Planta baixa - apartamento



Para este caso em que se tem a situação de um conjunto habitacional multipiso, a norma exige a

seleção da unidade do último andar, sendo que na condição de verão, deve-se optar pela unidade que possua janela do dormitório ou sala voltada para oeste e outra parede exposta voltada para o norte. Neste sentido, como pode ser observado na Figura 2, está é justamente a configuração da planta baixa orientada para o norte, onde se tem, as janelas do quarto 1 e 2 voltadas para o oeste e a parede do quarto 2 voltada para o norte. Além disso, tem ainda a sacada orientada para o norte (Figura 3).

Figura 3. Identificação da unidade de estudo.



Coleta de Dados

Para avaliação do desempenho térmico conforme o procedimento simplificado, em razão da edificação já estar pronta, os dados foram coletados a partir das informações repassadas pela empresa responsável pela obra. Assim, com base no memorial descritivo, é possível calcular os valores de transmitância e capacidade térmica para os sistemas de vedação e cobertura.

Já para a avaliação de desempenho térmico seguindo o procedimento 2, a norma orienta que o período de medição deve corresponder a análise de um dia típico de projeto, de verão ou de inverno, precedido por pelo menos um dia com características semelhantes. A norma recomenda ainda que, como regra geral, deve-se trabalhar com uma sequência de três dias e analisar os dados do terceiro dia. Para efeito da avaliação por medição, o dia típico é caracterizado unicamente pelos valores da temperatura do ar exterior medidos no local. Neste

caso, os dias avaliados foram: os dias 11/03 (Quarta-feira) a partir das 10 horas da manhã, até o dia 14/03 (sábado) às 10 da manhã, totalizando 72 horas de coleta de dados.

Sendo assim, conforme especificação da norma mediu-se a temperatura de bulbo seco do ar no centro dos recintos dormitórios e salas a 1,20 m do piso (Figura 4). As orientações quanto à forma e aos equipamentos a serem utilizados, estão contidas na norma ISO 7726 (1998).

Figura 4. Instalação do aparelho de medição.



Para mediação das temperaturas do ambiente interno (quartos e salas) optou-se pela utilização do aquisitor de dados Data Logger U12-013 da marca Hobo. Este aparelho faz a leitura de temperatura e Umidade, possuindo dois canais externos que por sua vez fazem a coleta de dados somente de temperatura. Trabalha na faixa de medição de temperatura entre -20°C a $+70^{\circ}\text{C}$ e umidade ente 5% a 95%. Possui precisão de $\pm 0,35^{\circ}\text{C}$, com resolução de 0,03%. Para a realização do estudo, foi programado para armazenar dados a cada 1 minuto.

Já para medição de temperatura externa, optou-se por utilizar o Data Logger UA-001-64 (Figura 5) da marca Hobo e também fabricado pela empresa Onset. Este aparelho faz a leitura de temperatura e suporta submersão em água, desta forma, uma possível chuva causaria danos ao aparelho, ao contrário do Data Logger utilizado no interior dos cômodos estudados. Opera na faixa de medição entre -20°C a $+70^{\circ}\text{C}$ com precisão de $\pm 0,47^{\circ}\text{C}$ e resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$. Neste caso, mesmo a

norma afirmando que a medição deve ser feita à sombra, optou-se por analisar simultaneamente medições da temperatura ao sol.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

São verificados e analisados a seguir, os resultados dos dois procedimentos descritos pela norma NBR 15575 (2013).

Conforme descrição da metodologia, o método simplificado, verifica o atendimento aos requisitos e critérios para fachadas e coberturas, estabelecidos na NBR 15575-4 e NBR 15575-5 para os sistemas de vedação vertical interna e externa - SVVIE e para os sistemas de coberturas, respectivamente.

Para os SVVIE, é verificado o atendimento de três critérios: transmitância térmica (U) de paredes externas, capacidade térmica (CT) de paredes externas e aberturas para ventilação.

A transmitância para paredes externas é calculada em função de alguns parâmetros que levam em consideração as dimensões dos blocos de vedação assim como sua composição, espessura das argamassas e conseqüentemente espessura total da parede. Neste sentido, a NBR 15220-3, a fim de parametrizar e facilitar a avaliação de desempenho para diferentes configurações da edificação fornece uma tabela, em que constam resultados de Transmitância Térmica, Capacidade Térmica e Atraso Térmico para diferentes geometrias de blocos e espessuras de argamassas.

As características das paredes externas da edificação são apresentadas a seguir:

- Parede de blocos cerâmicos de 2 furos;
- Dimensões do bloco: 14,0 x 29,5 x 19,0 cm;
- Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm;

- Espessura da argamassa de emboço interna e externa: 2,5 cm
- Espessura total da parede: 19,0 cm;

A Tabela 1 apresenta as propriedades térmicas das paredes externas do Edifício de estudo segundo a NBR 15220 (2002).

Tabela 1. Características térmicas das paredes externas.

U [W/(m ² .K)]	CT [kJ/(m ² .K)]	φ (horas)
2,45	203	4,0

A absorvância para radiação solar (α) das paredes externas é um parâmetro indispensável para a avaliação térmica, este depende diretamente da cor do material. No caso de estudo aqui apresentado a pintura externa utilizada é de cor clara podendo definir segundo a norma 15220-2 uma absorvância de entre 0,2 e 0,4.

Assim, de posse dos valores de transmitância e capacidade térmica, é possível analisar o desempenho térmico da edificação com base nos critérios definidos pela norma 15575-4.

Com a transmitância térmica igual a 2,45 [W/(m².K)] e a norma definindo a necessidade deste valor ser menor que 3,7 caso tenha-se uma absorvância à radiação solar (α) menor ou igual a 0,6 e menor ou igual a 2,5 para uma absorvância maior que 0,6, pode-se concluir que o Edifício de estudo atende ao critério mínimo de desempenho térmico para transmitância térmica das paredes externas.

Com a capacidade térmica das paredes externas igual a 203 [kJ/(m².K)], e a norma definindo a necessidade, para a zona bioclimática 7, que este valor ser maior ou igual a 130, pode-se concluir que, segundo os critérios estabelecidos pela NBR 15575/2013, o Edifício de estudo atende ao critério estabelecido já que o valor encontrado (203) é superior ao mínimo necessário.

Se observada a norma NBR15220-3, as vedações externas para a zona climática 7 devem ser de parede e cobertura pesada. A mesma norma caracteriza as paredes pesadas como aquelas com $U < 2,20$ [W/(m².K)] e atraso térmico maior a 6,5 horas. Observando os valores da Tabela 1 é possível ver que a parede externa utilizada no Edifício estudado não cumpre com as recomendações e diretrizes construtivas estabelecidas pela norma 15220-3.

Segundo a norma de desempenho, os ambientes de longa permanência (salas e dormitórios), devem apresentar aberturas com dimensões adequadas para proporcionar a ventilação interna dos ambientes.

Com base nesta afirmação e com os dados do memorial descritivo do Edifício Y, é possível analisar o atendimento dos critérios de abertura para ventilação para cada cômodo. O primeiro passo é a definição das áreas efetivas de abertura de cada ambiente, além da área de piso de cada cômodo. A abertura de ventilação para os ambientes (quarto 1, quarto 2 e sala) é dada pela equação 1.

$$A = 100 \times (A_A / A_P) \quad (1)$$

Onde:

A_A é a área efetiva de abertura de ventilação do ambiente, sendo que para o cálculo desta área somente são consideradas as aberturas que permitem a livre circulação do ar, devendo ser descontadas as áreas de perfis, vidros e de qualquer outro obstáculo; nesta área não são computadas as áreas de portas internas. No caso de cômodos dotados de portas-balcão ou semelhantes, na fachada da edificação, toda a área aberta resultante do deslocamento da folha móvel da porta é computada.

A_P é a área de piso do ambiente.

Com base nesta equação e nos dados de projeto, é possível calcular as áreas aberturas para ventilação, estando os valores encontrados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.2.**

Com os resultados das áreas de ventilação, o próximo passo é verificar se os dados encontrados estão de acordo com os critérios definidos pela norma. Para a zona bioclimática 7, onde a cidade de Palmas está localizada, a exigência da norma NBR 15275/2013 é de que os valores destas aberturas sejam maiores ou iguais a 7% da área de piso. Os valores encontrados para cada ambiente atendem ao critério mínimo exigido pela norma. A Tabela 2 resume os resultados. A norma 15220-3 recomenda que a aberta para ventilação seja pequena,


caracterizadas por uma área de abertura de entre 10 e 15% da área de piso. Segundo os dados da Tabela 2 a edificação em estudo cumpre com a recomendação para a sala e fica muito perto para os Quartos.

Para o caso da cobertura, assim como nos sistemas de cobertas internas e externas, a norma 15220-3, traz, a fim de parametrizar e facilitar a avaliação de desempenho, uma tabela, em que constam resultados de Transmitância Térmica, Capacidade Térmica e Atraso Térmico para diferentes tipos de coberturas. A Tabela 3 apresenta os valores da norma para o caso de estudo deste trabalho.

Tabela 2. Abertura para ventilação-resumo de resultados

Cômodo	Area efetiva de Ventilação (A _v)	Area do piso (A _p)	7% da área do piso	Abertura de ventilação (A)	Resultado 15575/2013
Sala	$(1,65 \times 2,10) / 2 = 1,73 \text{ m}^2$	13,75 m ²	0,96 m ²	12,58%	Atende
Quarto 1	$(1,50 \times 1,20) / 2 = 0,9 \text{ m}^2$	9,31 m ²	0,65 m ²	9,67%	Atende
Quarto 2	$(1,50 \times 1,20) / 2 = 0,9 \text{ m}^2$	9,18 m ²	0,64 m ²	9,80%	Atende

Tabela 3. Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para o caso de estudo (NBR 15220)

Cobertura	Descrição	U [W/(m ² .K)]	CT [kJ/(m ² .K)]	φ (horas)
	Cobertura de telha de fibro-cimento com forro de laje mista; Espessura da telha: 0,7 cm; Espessura da laje: 12,0 cm; Rt(laje) = 0,0900 (m ² .K/W); CT(laje) = 95 kJ/(m ² .K);	1,93	106	3,6

Neste caso, tem-se, assim como na avaliação de desempenho para os sistemas de vedação internas e externas, valores calculados para transmitância, capacidade e atraso térmico coincidindo com a mesma configuração encontrada no Edifício de estudo, logo, o valor de Transmitância térmica é o

mesmo dado no quadro acima, ou seja, U = 1,93 [W/(m².K)].

Com a absorvância térmica dada em razão da cor do edifício, e, este, por sua vez, sendo da cor verde claro, tem-se que o valor da absorvância é de 0,40, conforme valor dado pela tabela B.2 do anexo B da norma NBR 15220.

Logo, para a zona bioclimática 7, definindo que para valores de absorvância menor ou igual a 0,4 a transmitância térmica para os sistemas de coberturas deve ser menor ou igual a $2,3\text{W/m}^2\text{K}$ (adotando Fator de Ventilação igual a 1 referente átrios não ventilados). Assim, como 1,93 (U calculado) é menor que 2,3 (U como critério), pode-se concluir que o Edifício estudado atende aos critérios de desempenho térmico para os sistemas de coberturas.

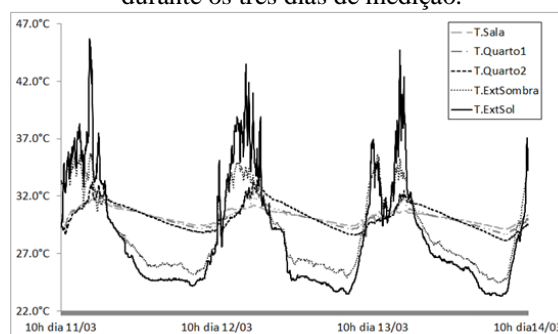
Como exigência da norma, conforme descrito na metodologia, os valores de temperatura foram obtidos a partir do registro através da utilização de sensores de temperatura durante três dias consecutivos, iniciando no dia 11/03 (quarta) às 10 horas da manhã até o dia 14/03 (sábado) às 10 horas da manhã. No entanto, para efeito de avaliação e classificação de desempenho, são, conforme exigência da norma, avaliados somente os valores do último dia. A análise é realizada com os dados do último dia como indicado pela norma no caso de pouca diferença entre os valores medidos para três dias de medição consecutiva.

A Figura 5 apresenta os registros de temperaturas, para todos os sensores durante os 3 dias de medição. O comportamento das leituras durante os três dias é muito semelhante, consequentemente a avaliação utilizando qualquer um dos dias levaria ao mesmo resultado. É possível perceber as ocorrências das temperaturas máximas em cada um dos cômodos e também nos dois sensores de temperatura externa. Temos que a máxima temperatura ($45,70^\circ\text{C}$) registrada durante os três dias de medições, ocorreu no primeiro dia no sensor posicionado diretamente ao sol, e como era de se esperar durante o período vespertino. Para os ambientes internos, a maior temperatura ($36,61^\circ\text{C}$) ocorreu no quarto 1 no segundo dia de medição. Por sua vez, a maior amplitude relacionada entre a

máxima e a mínima registrada em cada sensor durante os 3 dias, foi de $22,41^\circ\text{C}$ no sensor externo ao sol.

Além disso, nota-se altas temperaturas médias para todos os ambientes e sensores, devendo-se destacar que as temperaturas médias dos ambientes internos é superior às temperaturas médias nos ambientes externos. Este fato pode ser entendido, na medida em que, embora haja registro de maiores temperaturas máximas para os sensores externos, há também registros de menores temperaturas mínimas nestes mesmos sensores. Os valores na verdade, refletem a variação real da temperatura, sem influência de fatores de vedação e/ou cobertura, mostrando o comportamento térmico da edificação por causa da resposta dos materiais em amortecimento e atraso térmico.

Figura 5. Variação de temperatura em todos os sensores durante os três dias de medição.



A Figura 6 contém todos os dados do registro do último dia para todos os sensores, com exceção do sensor de temperatura externa ao sol, já que a norma prescreve que a avaliação deve levar em consideração somente a temperatura à sombra.

Conforme pode ser observado no gráfico acima, a temperatura externa à sombra apresenta o valor máximo às 10h e 48 min com $35,65^\circ\text{C}$. Este mesmo sensor também apresentou a menor temperatura entre todos os registros com $24,45^\circ\text{C}$ às 05h e 13 min. Além disso, percebe-se uma variação não linear no sensor externo à sombra, ocasionado

por uma chuva rápida, com início em torno das 11 horas da manhã fazendo com que a temperatura caísse da casa dos 35°C e fosse até a casa dos 30°C por volta de 12h e 30min. É necessário registrar que, diferente dos dias anteriores e fugindo da linha lógica, a temperatura máxima do sensor externo à sombra foi registrada pouco antes do início desta chuva, evento explicável através dos fenômenos hidrológicos de precipitação. Após a chuva, a temperatura voltou a subir atingindo níveis parecidos com os dias anteriores, atingindo o pico máximo na casa dos 35°C em torno das 14 horas. Esta variação da temperatura com a chuva não muda a análise final, quer dizer, selecionando as leituras para

qualquer um dos dias a discussão e conclusões seriam as mesmas. As temperaturas máximas para os ambientes internos: Sala, Quarto 1 e Quarto 2, foram de 31,03°C (13:35h), 32,15°C (14:52) e 32,51°C (14:52) respectivamente.

Para fins de análise da avaliação de desempenho térmico, a norma define como requisito mínimo de desempenho que a temperatura interna máxima seja menor ou igual à temperatura externa máxima. A Tabela 4 expõe os resultados encontrados para cada cômodo.

Figura 6. Variação de temperatura em todos os sensores durante os três dias de medição.

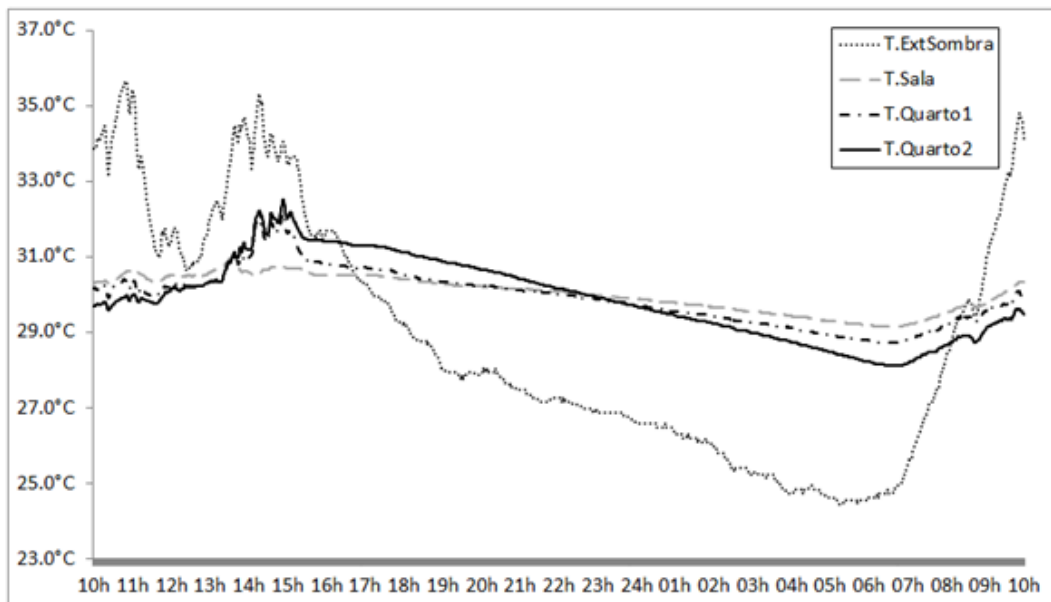


Tabela 4. Desempenho térmico – Procedimento 2 (Medição in loco) – Resultados.

Ambiente	Temperatura máxima	Temperatura máxima externa (sombra)	Amplitude	Resultado	Critério utilizado
Sala	31,03	35,65	4,62	Atende - Nível Superior de desempenho	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4C^{\circ})$
Quarto 1	32,15		3,5	Atende - Nível Intermediário de desempenho	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2C^{\circ})$
Quarto 2	32,51		3,14	Atende - Nível superior de desempenho	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2C^{\circ})$

CONCLUSÃO

O artigo apresenta a avaliação do desempenho térmico de uma edificação, utilizando o método simplificado e de medição in-loco para um caso de estudo da cidade de Palmas-TO.

O estudo evidenciou o atendimento integral dos critérios de desempenho térmico para o Edifício estudado, considerando os dois procedimentos realizados. No entanto, conforme análise da Figura 6, percebe-se que há uma inversão de temperaturas, enquanto que as temperaturas dos ambientes internos permanecem numa oscilação constante, tem-se uma queda da temperatura externa ao ponto em que as temperaturas internas (Quarto 1, quarto 2 e sala) são maiores que a temperatura externa. Ou seja, na maior parte do tempo de medição a temperatura interna é maior que a temperatura externa.

Não é objetivo do estudo identificar quais os motivos desta ocorrência, neste sentido, sugere-se a realização de trabalhos futuros que possam considerar a utilização de materiais que possam amenizar o efeito da absorvência à radiação solar e o atraso térmico. Acredita-se ser este o motivo deste fenômeno, uma vez que as paredes absorvem a temperatura externa, amenizando o ambiente interno nos períodos de pico externo, no entanto, quando a temperatura externa é menor, as paredes não foram capazes de realizar troca de calor suficiente para acompanhar a queda de temperatura do ambiente externo.

Além disso, segundo o registro de temperatura realizado, o fenômeno de inversão das temperaturas externas e internas acontece durante o período noturno, quando a edificação registra a maior taxa de ocupação. Futuras pesquisas devem ser realizadas para intentar elaborar critérios que considerem este fenômeno, podendo ser considerado, por exemplo, valores médios ponderados de temperatura que

outorguem maior peso aos horários em que existem taxas de ocupação maior.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Normatização. Disponível em: www.abnt.org.br/normatizacao. Acesso em: 10 de janeiro de 2015 às 22h.

_____. **ABNT NBR 15575-1** – Edificações habitacionais – Desempenho – Requisitos Gerais, Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **ABNT NBR 15575-2** – Edificações habitacionais – Desempenho – Requisitos para os sistemas estruturais, Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **ABNT NBR 15575-3** – Edificações habitacionais – Desempenho – Requisitos para os sistemas de pisos, Rio de Janeiro, 2013c.

_____. **ABNT NBR 15575-4** – Edificações habitacionais – Desempenho – Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas, Rio de Janeiro, 2013d.

_____. **ABNT NBR 15575-5** – Edificações habitacionais – Desempenho – Requisitos para os sistemas de coberturas, Rio de Janeiro, 2013e.

_____. **ABNT NBR 15575-6** – Edificações habitacionais – Desempenho – Requisitos para os sistemas hidrossanitários, Rio de Janeiro, 2013f.

_____. **ABNT NBR 15575** – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **ABNT NBR 15220-1** - Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e Unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **ABNT NBR 15220-2** - Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **ABNT NBR 15220-3** - Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Habitação. **Avanços e Desafios: Política Nacional de Habitação** – Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação. Brasília, 2010, 96 p.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento**

à norma ABNT NBR 15575/2013. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional municipal no Brasil. Fundação João Pinheiro.** Centro de Estatística e Informações – Belo Horizonte, 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Thermal Environments-Instruments and methods for measuring physical quantities. **ISO 7726.** Geneva, 1998.

PAZ, Luis Hildebrando Ferreira. A Influência da vegetação sobre o clima urbano de Palmas – TO. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília. Brasília- DF, 2009. 169 f.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Análise do procedimento de

simulação da NBR 15575 Para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 83-101, out/dez. 2014.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise do Método de Simulação de Desempenho Térmico da Norma NBR 15575. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., Brasília, 2013. **Anais...** Brasília: ANTAC, 2013.

SORGATO, M. J. et al. **Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública.** Universidade Federal de Santa Catarina. LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. 2012.