XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÃO MULTIFAMILIAR DE INTERESSE SOCIAL: ESTUDO DE CASO EM MACEIÓ – AL.

Míryan Ferreira (1); Juliana Batista (2)
(1) Arquiteta, Mestra pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Dinâmica do Espaço Habitado, miryantenorio@gmail.com
(2) Doutora, Professora Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Dinâmica do Espaço Habitado, juliana.batista@fau.ufal.br, Universidade Federal de Alagoas, Av. Lourival Melo Mota, s/n, Maceió-AL, 57072-970, Tel.: (82) 32141266

RESUMO
Com o intuito de promover inclusão social e reduzir o déficit habitacional, o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), lançado em 2009, foi responsável pela construção de 30.780 unidades habitacionais (UHs) na cidade de Maceió entre 2009 e 2014. Na prática, o PMCMV atua em favor dos interesses individuais, sendo caracterizado por uma produção massiva que implica em condições térmicas inadequadas nas habitações. Diante disto, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho térmico de habitação de interesse social multifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida, localizada na cidade de Maceió/AL. Para tanto foram utilizadas as metodologias de avaliação da NBR 15575 (simplificada) e do RTQ-R (prescritivo) em conjunto com medições de temperatura *in loco*. Os resultados demonstraram a influência da orientação da fachada e do pavimento da UH nas avaliações das normas. Na avaliação do RTQ-R, os ambientes voltados para o nascente foram classificados como nível "C", enquanto os ambientes voltados para o poente foram classificados como nível "D" (térreo) e nível "E" (cobertura). Na avaliação da NBR 15575 pelo método de medição, no entanto, o único ambiente que não atingiu nível mínimo para a temperatura do ar no dia típico de verão foi aquele localizado no térreo e voltado para o poente, indicando uma divergência entre as avaliações. As medições *in loco* da temperatura no dia típico do verão corroboram essa divergência e apontam para a necessidade de se considerar os padrões de uso do ambiente na avaliação do desempenho térmico.
Palavras-chave: habitação de interesse social, desempenho térmico, eficiência energética.

ABSTRACT
In order to promote social inclusion and to overcome housing shortages, the "Minha Casa Minha Vida Program" (PMCMV), launched in 2009, was responsible for the construction of 30,780 housing unities in the city of Maceió between 2009 and 2014. Although, the PMCMV works on behalf of private interests, being characterized by a massive production that implies in inadequate thermal conditions in the dwellings. Given that, the aim of this work is to evaluate the thermal performance of apartments building of the Minha Casa Minha Vida Program, located in Maceió/AL. For this purpose, the approaches for assessing thermal performance proposed by NBR 15575-1 and by RTQ-R were used in conjunction with temperature monitoring. The results demonstrated the influence of the facade orientation and the pavement of the unit in the performance evaluations. The RTQ-R evaluation showed that the east-facade rooms were classified as "C" level, while the west-facade rooms were classified as "D" (at ground level) and "E" (at the top floor) levels. The NBR 15575 evaluation by the method of measurement, however, showed that the only room that did not reach minimum level for the air temperature in the typical summer day was the west-facade at the ground floor, indicating a divergence between the evaluations. The temperature measurements on the typical summer day corroborate this divergence and pointed to the importance of the characterization of use' patterns of the rooms in the thermal performance evaluation.
Keywords: social housing, thermal performance, energy efficiency.

1. INTRODUÇÃO

Lançado em 2009 pelo Governo Federal, o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) aqueceu o mercado imobiliário no país nos últimos anos. Com o intuito de reduzir o déficit habitacional, a produção do PMCMV se concentrou, principalmente, no âmbito de famílias com renda de até R$ 1.600,00, no entanto, abrangeu também famílias com renda de até R$ 5.000,00 (CEF, 2012).

Desde sua origem o PMCMV representava uma promessa de oferta de melhores condições habitacionais e, por conseguinte, melhor qualidade de vida para a população. Na prática, percebe-se que o Programa atua em favor dos interesses individuais em detrimento da qualidade arquitetônica e urbanística das moradias. As exigências realizadas pelo PMCMV têm sido insuficientes para garantir a qualidade dos projetos, que são modelos arquitetônicos reproduzidos em todo o território nacional, desvinculados dos condicionantes climáticos locais e que utilizam materiais de baixa qualidade, com o intuito de reduzir os custos e aumentar o lucro da iniciativa privada.

Além dos problemas de inserção urbana recorrentes nos empreendimentos do PMCMV, a reprodução em massa de modelos arquitetônicos, desvinculada do contexto local de implantação, causa prejuízos ao desempenho térmico e, consequentemente, à eficiência energética das edificações.

A eficiência energética na arquitetura representa o potencial da edificação em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos seus usuários com um baixo consumo de energia (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Dessa forma, a edificação é mais eficiente energeticamente quando, ao comparar com outras edificações, proporciona condições idênticas de conforto, porém com um menor consumo de energia.

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (BRASIL, 2018), o setor residencial foi responsável pelo consumo de 29% do total de energia elétrica utilizada no país em 2018, o qual, quando comparado aos demais setores, representa uma parcela significativa. Desse total, uma grande parcela do consumo energético residencial vem do uso de condicionadores de ar, que representa 20% do total na média nacional de consumo energético em residências. Na região Nordeste, este percentual chega a 27%, ou seja, residências com desempenho térmico inadequado conduzem a um maior consumo de energia elétrica para reestabelecer a sensação de conforto térmico.

Neste contexto, justificam-se investimentos no setor da construção civil que promovam a busca por soluções arquitetônicas energeticamente eficientes e climaticamente adequadas. Foi a partir da Lei de Eficiência Energética (BRASIL, 2001) que surgiram diversas normas, regulamentos e manuais em busca de melhorias quanto à eficiência energética no Brasil. No âmbito das edificações temos a NBR15220 (ABNT, 2005) e NBR15575 (ABNT, 2013), publicadas pela primeira vez em 2003 e 2008, respectivamente, e que tratam do desempenho de edificações. Já em 2009 e 2010, foram publicados os Regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (INMETRO, 2010) e de Edificações Residenciais (INMETRO, 2012), RTQ-C e RTQ-R respectivamente. Neles, são definidos os níveis de classificação e os procedimentos de avaliação da eficiência energética das edificações.

Diante da necessidade emergente de desenvolvimento sustentável, busca-se o uso mais consciente dos recursos naturais e de novas tecnologias capazes de garantir a qualidade de vida das futuras gerações. Nessa esteira, maneiras de compreender e de fazer a arquitetura e as cidades do século XXI buscam sublinhar a preservação do meio ambiente como elemento dessa construção. Criam-se, deste modo, parâmetros tecnológicos e construtivos na arquitetura, com o auxílio de normas, regulamentos e certificações de cunho energético e ambiental, que atuam como importante ferramenta do setor energético em muitos países (MORISHITA, 2011).

A publicação de normativas nacionais denota um importante avanço na melhoria da qualidade ambiental das edificações construídas no país. No entanto, as diferentes abordagens ainda demonstram fragilidade e imprecisão nas avaliações, quando comparadas entre si. Diversos estudos apontam para a existência de divergências nos resultados das classificações obtidas por diferentes métodos de avaliação para uma mesma edificação.

Batista et al. (2013) em estudo comparativo dos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR15575, encontraram divergências nas classificações dos ambientes de uma edificação multifamiliar do PMCMV localizada na cidade de Maceió/AL, que se insere na ZB8. Enquanto os ambientes foram classificados como níveis “Intermediário” ou “Superior” através da avaliação da NBR 15575, os mesmos obtiveram nível “E” na avaliação pelo RTQ-R.

Silva e Ghisi (2014) realizaram análise comparativa dos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575 aplicados a uma edificação unifamiliar de interesse social inserida no clima de Florianópolis, SC. Os resultados encontrados apontaram divergências na classificação tanto no período do inverno, como no

período do verão. São apontados casos em que no verão é atingido o nível "E" através do RTQ-R, enquanto pela NBR 15575 a edificação atinge nível "Intermediário". No inverno, a edificação atinge nível "B" pelo RTQ-R e não atende aos requisitos mínimos da NBR 15575. De acordo com os autores, essas discordâncias se dão devido à NBR 15575 ser mais exigente para o inverno, enquanto o RTQ-R é mais exigente para graus-hora de resfriamento (GHR)[1] .

Questiona-se, portanto, qual é o papel destas normas brasileiras na melhoria da qualidade ambiental e da eficiência energética de edificações residenciais e até que ponto as avaliações, obtidas através de cálculos numéricos, condizem com os dados reais.

Dessa forma, evidencia-se a importância de estudos que possibilitem avaliar a qualidade e adequação das edificações ao clima e contribuam para efetuar avanços nas normativas vigentes. Diante do contexto exposto, o tema desta pesquisa diz respeito à análise do desempenho térmico de edificações habitacionais do PMCMV, traçando um paralelo entre o conforto térmico do usuário, as normas de desempenho térmico e a solução arquitetônica adotada.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho térmico de habitação de interesse social multifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida, localizada na cidade de Maceió/AL, confrontando as abordagens de avaliação de desempenho térmico propostas pela NBR 15575-1 e pelo RTQ-R.

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em quatro etapas: 1) Definição e caracterização do objeto de estudo; 2) Monitoramento da temperatura do ar; 3) Avaliação do desempenho térmico segundo a NBR 15575; 4) Classificação do nível de eficiência energética segundo o RTQ-R.

3.1. Caracterização do objeto de estudo

O objeto de estudo consiste em condomínios residenciais multifamiliares do PMCMV localizados no bairro do Benedito Bentes, em Maceió/AL. Os condomínios Village das Artes, Village das Flores, Village das Fontes e Village da Alvorada são compostos por blocos de apartamentos que apresentam configurações espaciais idênticas, sendo implantados no terreno em duas orientações diferentes (nordeste e sudoeste), conforme Figura 1. A edificação possui três pavimentos (Figura 2) e oito UHs por pavimento, com dois ou três dormitórios, destacados na Figura 1 em verde e azul, respectivamente.

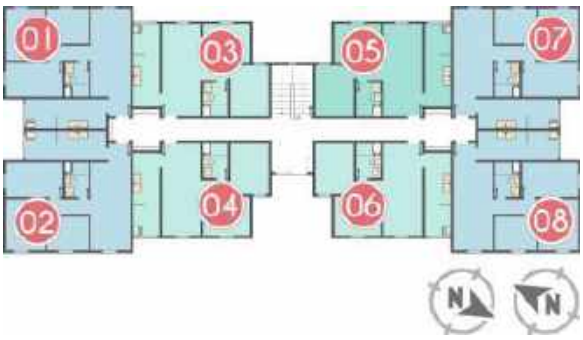


Figura 1 – Planta baixa do pavimento tipo.



Figura 2 – Imagem aérea do bloco de apartamento.

Para o estudo foram selecionadas unidades localizadas no térreo e no último pavimento, com terminações 02 e 07, em "situação desfavorável" e em "situação favorável" em relação ao aproveitamento da ventilação natural e incidência solar, respectivamente. A terminação 02 foi considerada "favorável" por estar exposta aos ventos predominantes (leste e sudeste) e à insolação no período matutino; já a terminação 07 foi considerada "desfavorável" por não estar exposta a incidência de ventos predominantes e receber insolação no período vespertino. Foram selecionados, portanto, um total de 4 ambientes, identificados na Figura 3.

[1] O GHR é a somatória da diferença entre a temperatura operativa horária e a temperatura de base, quando a primeira está acima da temperatura de base. No RTQ-R este indicador é calculado para a temperatura base de 26°C para resfriamento (INMETRO, 2012).

A implantação dos blocos de apartamentos em duas orientações diferentes consiste no espelhamento de uma mesma planta baixa no eixo horizontal. O entorno dos condomínios é formado por áreas desocupadas e/ou condomínios unifamiliares, também do Programa Minha Casa Minha Vida. Dado o distanciamento entre os blocos de apartamento e o entorno de gabarito baixo os ambientes em estudo não apresentam sombreamento de outras edificações, recebendo incidência solar direta no período da manhã e/ou da tarde, de acordo com a sua orientação.

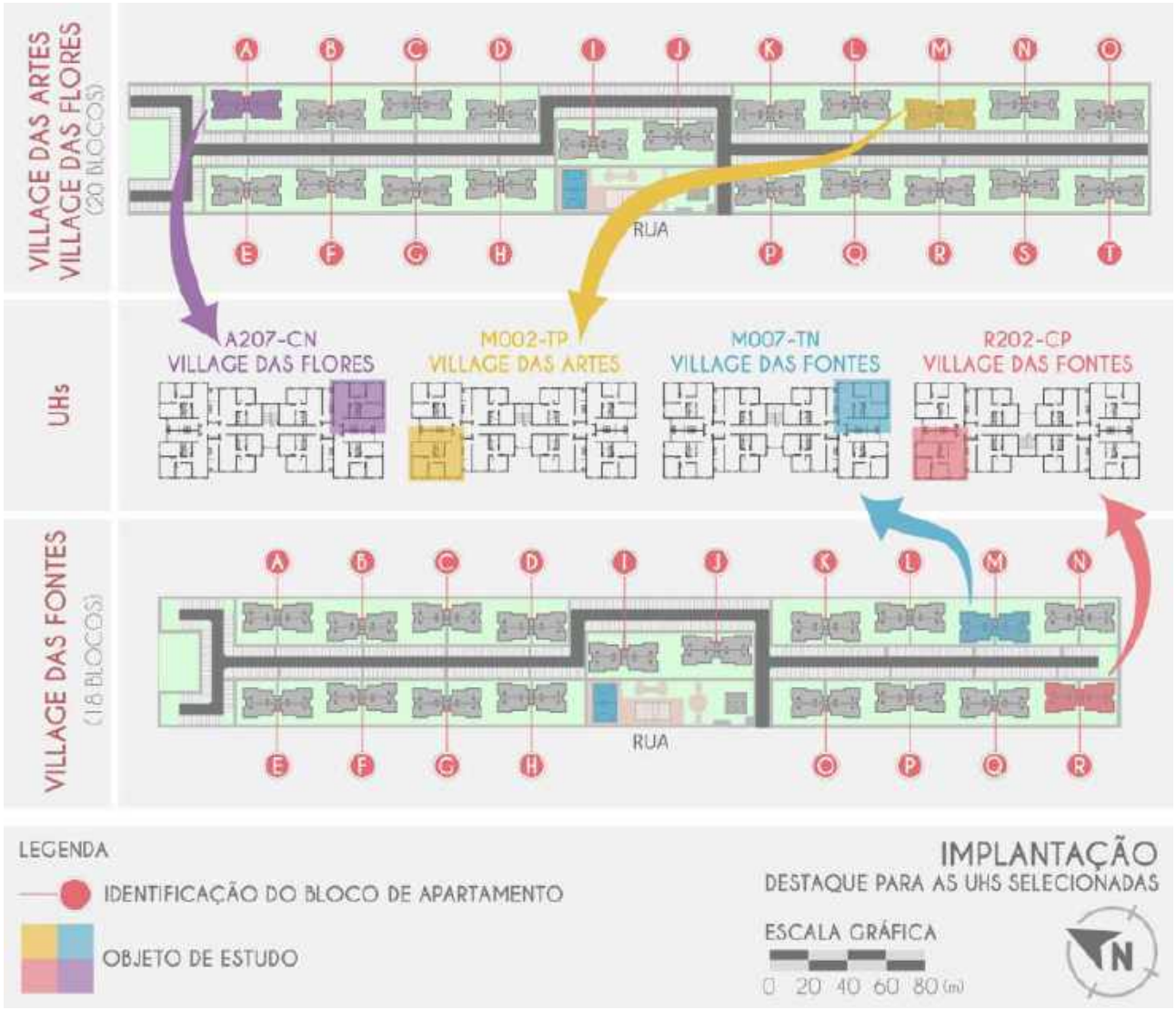


Figura 3 – Implantação dos condomínios, com destaque para os ambientes em estudo.

Para facilitar a identificação dos ambientes estudados, adotou-se uma convenção, na qual foram assinaladas diferentes cores para cada ambiente e siglas que indicam o posicionamento do ambiente de acordo com o bloco de apartamento, o pavimento, a terminação e a orientação de cada apartamento, conforme ilustra Figura 4. Com relação ao pavimento, “T” refere-se ao térreo, enquanto “C” refere-se à cobertura; com relação à orientação, atribuiu-se a nomenclatura “N”, que refere-se à nascente, para os ambientes que recebem insolação no período da manhã nas fachadas nordeste e sudeste (ao nascer do sol), enquanto a nomenclatura “P”, que refere-se à poente, foi atribuída para os ambientes que recebem insolação no período da tarde nas fachadas noroeste e sudoeste (ao pôr do sol). A Tabela 1 sintetiza as informações referentes às nomenclaturas adotadas para identificação dos ambientes.

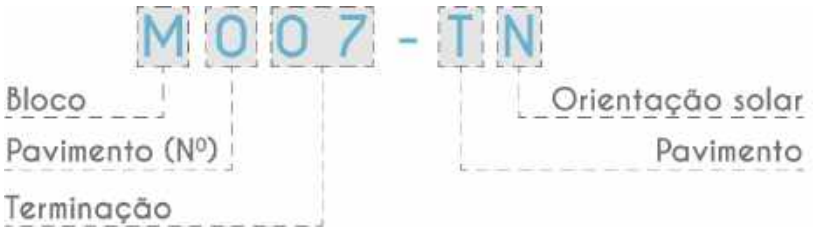


Figura 4 – Exemplo de aplicação da convenção adotada para a identificação das unidades habitacionais.

Tabela 1 - Convenção adotada para identificação das unidades habitacionais.

Ambiente	Pavimento	Orientação	Cor
M002-TP	Térreo (T)	Poente (P)	Amarelo
M007-TN	Térreo (T)	Nascente (N)	Azul
R202-CP	Cobertura (C)	Poente (P)	Rosa
A207-CN	Cobertura (C)	Nascente (N)	Roxo

Com relação às aberturas, os ambientes apresentam esquadrias com duas folhas de correr com vidro simples, sem dispositivos de proteção solar. A envoltória é composta por paredes de blocos de concreto, uma camada de argamassa externa e de gesso interna, com transmitância térmica de 2,64 W/(m^2K) e capacidade térmica de 241 kJ/(m^2K). A absortância variou de 0,319 a 0,326, de acordo com a cor da fachada. A cobertura é composta por telha de fibrocimento, com transmitância térmica de 2,06 W/(m^2K), capacidade térmica de 233 kJ/(m^2K) e absortância de 0,59. Os valores de transmitância foram estabelecidos de acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e as absortâncias, conforme o trabalho de Dornelles (2008).

3.2. Monitoramento ambiental

Para o monitoramento da edificação foram utilizados termo-higrômetros digitais com armazenamento de dados (datalogger) da marca Onset, modelo HOBO UX100-003, que registram e armazenam dados de temperatura do ar. Para a configuração dos parâmetros de medição e leitura dos dados armazenados nos equipamentos HOBOS, foi utilizado o software HOBOware Free, transferindo-se os dados obtidos para planilhas eletrônicas para posterior análise.

Foram utilizados cinco HOBOS, sendo um deles instalado na parte externa e quatro em ambientes internos. Os equipamentos internos foram instalados no eixo central de uma parede interna, a uma altura de 1,20 metros do piso, já o externo foi instalado embaixo da coberta de um bicicletário, protegido por uma garrafa PET revestida internamente com papel alumínio. Os HOBOS foram programados para fazer registros da temperatura e umidade do ar em intervalos horários.

O monitoramento foi realizado no período do verão, entre 01/11/2018 e 21/02/2018. Os ambientes foram monitorados em suas condições normais de uso. Vale ressaltar que, dentre os 4 ambientes monitorados, apenas o M002-TP permanecia com as janelas abertas a maior parte do tempo, enquanto os demais foram mantidos com as janelas fechadas.

3.3. Desempenho térmico conforme a NBR 15575

A classificação do desempenho térmico de acordo com a NBR 15575 foi obtida através do procedimento 1, que consiste na forma simplificada. Neste procedimento são estabelecidos os requisitos e critérios para os sistemas de vedações e coberturas.

Quanto às propriedades térmicas das paredes e cobertura, são estabelecidos na norma os parâmetros indicados na Tabela 2 para a Zona Bioclimática 8, na qual se insere a cidade de Maceió.

Tabela 2 - Parâmetros admissíveis para propriedades térmicas das paredes e cobertura.

Zona Bioclimática	Componente	Absortância solar	Transmitância térmica W/(m^2K)	Nível de Desempenho
ZB8	Paredes	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	Mínimo (M)
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,3$ FV	Mínimo (M)
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,5$ FV	

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013), adaptado pela autora.

Com relação à ventilação natural, a NBR 15575 estabelece áreas mínimas de abertura para ventilação de 8% da área do piso em ambientes de permanência prolongada para edificações localizadas na ZB8

Com base nas medições, foi possível determinar o desempenho térmico dos ambientes de acordo com a temperatura do ar para o dia típico de verão. O procedimento 2 da norma, de caráter meramente informativo, estabelece três níveis de desempenho térmico: mínimo, intermediário e superior, que varia de acordo com a relação entre o valor máximo diário da temperatura do ar interior e no exterior dos ambientes para a condição de verão (Tabela 3).

Tabela 3 - Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.

Zona Bioclimática	**Critério de avaliação**	**Nível de Desempenho**
ZB8	Ti,máx. ≤ Te,máx	Mínimo (M)
	Ti,máx. ≤ (Te,máx. – 1ºC)	Intermediário (I)
	Ti,máx. ≤ (Te,máx. – 2ºC)	Superior (S)

Ti, max : valor máximo da temperatura do ar no interior da edificação

Te, max : valor máximo da temperatura do ar no exterior da edificação

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013), adaptado pela autora.

O dia típico se caracteriza pelos valores de temperatura do ar externos, medidos no local, sendo recomendado trabalhar com uma sequência de três dias com características semelhantes utilizando os dados do terceiro dia para análise. De acordo com a NBR 15575, para Maceió, o dia típico de verão se caracteriza por apresentar temperatura máxima de 32,2ºC e amplitude térmica de 8,2ºC.

3.4. Classificação da eficiência energética da envoltória conforme o RTQ-R

A classificação do nível de eficiência energética de acordo com a RTQ-R foi obtida através do método prescritivo, realizando avaliações apenas para a envoltória dos ambientes estudados. O RTQ-R estabelece pré-requisitos relacionados às propriedades térmicas (transmitância térmica, capacidade térmica e absortância solar das superfícies), ventilação natural e iluminação natural.

Quanto às propriedades térmicas das paredes e coberturas, o RTQ-R dispõe dos mesmos critérios da NBR 15575 (Tabela 2). Com relação à ventilação natural, o RTQ-R sugere uma área efetiva de abertura para ventilação maior que a NBR 15575, sendo necessário 10% da área do piso para atender a este requisito. Quanto a iluminação natural, o percentual mínimo de abertura para iluminação é igual a 12% da área do piso.

Os dados obtidos através do levantamento quantitativo foram transpostos para a planilha de cálculo do desempenho da UH, disponibilizada pelo Labeee - Laboratório de Eficiência Energética de Edificações no site do PBE Edifica[2] .

4. RESULTADOS

4.1. Análise do monitoramento ambiental para o dia típico de verão

Para a escolha do dia típico foram analisadas as medições de temperatura externa registradas através de armazenadores de dados do tipo Hobo no período de 01/11/2018 a 21/02/2019, levando-se em consideração os parâmetros estabelecidos pela NBR 15575. No entanto, ao analisar os intervalos em que a temperatura externa não ultrapassou os 32,2ºC por 3 dias consecutivos, recomendado pela norma, verificou-se que estes dias não correspondem ao "padrão" de variação de temperatura diária ocorrida na maior parte do período de monitoramento e, portanto, correspondem a dias atípicos quando comparados de forma global dentro deste período.

Dessa forma, foram selecionados 3 dias nos quais o comportamento de variação da temperatura diária consiste em um padrão que se repete durante grande parte do período monitorado, no entanto a temperatura máxima atingida ultrapassa os 32,2ºC estabelecidos pela NBR 15575 para a cidade Maceió. O dia típico selecionado foi 15/11/2018, em destaque na Figura , apresentando temperatura máxima externa de 32,34ºC, sendo precedido por dois dias com temperaturas máximas iguais a 32,72ºC e 32,85ºC. Dessa forma, o dia típico selecionado apresenta temperatura máxima externa 0,14ºC superior em relação à recomendação da NBR 15575.

[2] Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/planilhas-catalogos. Acesso em: 19 mar. 2019.

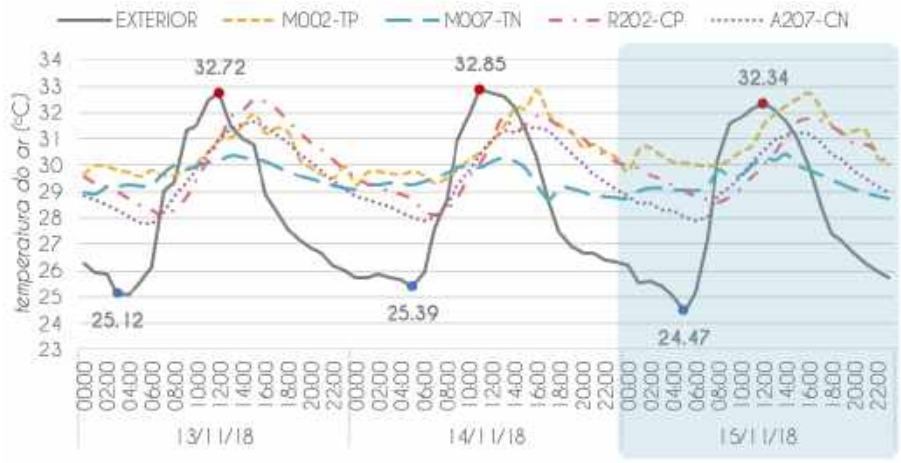


Figura 5 – Variação da temperatura do ar diária, destacando o dia típico de verão

A análise do comportamento da temperatura do ar nos ambientes internos no dia típico de verão (Figura 5) indica que, dentre os quatro ambientes monitorados, os que apresentaram as temperaturas mais elevadas foram os apartamentos M002-TP e o R202-CP que, em virtude da orientação (poente), recebem insolação direta no período da tarde e não recebem incidência dos ventos predominantes para a cidade de Maceió (leste e sudeste). A diferença entre as temperaturas máximas internas no dia típico de verão foi de 0,98ºC entre os apartamentos voltados para poente e de 0,76ºC entre os apartamentos voltados para o nascente.

Dentre os ambientes voltados para poente, o apartamento M002-TP apresentou as temperaturas mais elevadas durante todo o dia e noite, enquanto o apartamento R202-CP, embora tenha apresentado picos elevados de temperatura durante o dia, no período da manhã exibiu uma redução na temperatura, alcançando valores mais baixos que o apartamento M002-TP e maior amplitude térmica.

Com relação aos apartamentos voltados para o nascente, o apartamento M007-TN apresentou a menor amplitude térmica diária. Já o apartamento A207-CN apresentou picos de temperatura mais elevados que o apartamento M007-TN, devido a exposição da cobertura à insolação. Durante a noite, o ambiente M007-TN atingiu as temperaturas mais baixas quando comparado aos demais.

A Tabela 4 indica os dados de temperatura do ar, amplitude, amortecimento e atraso térmicos, por ambiente, no dia típico de verão, apontando para o apartamento M002-TP com as piores condições térmicas e o apartamento M007-TN com as melhores condições. É possível perceber, portanto, que o ambiente M002-TP apresentou as piores condições de temperatura neste dia, com temperatura máxima interna mais elevada que a externa. Por outro lado, o apartamento M007-TN apresentou as melhores condições de temperatura e o maior amortecimento térmico, no entanto exibe também o menor atraso térmico. Ambos os apartamentos, localizados no térreo, apresentaram um maior isolamento em relação ao ambiente externo por possuírem contato com o exterior apenas através das paredes, enquanto o piso mantém contato direto com o solo, que possui inércia térmica significativa. No entanto, os ganhos de calor no apartamento M002-TP, que permanece com as janelas abertas a maior parte do tempo, foram elevados durante todo o dia. Já no apartamento M007-TN as janelas permanecem fechadas a maior parte do tempo e, diante do isolamento da unidade, os ganhos e perdas de calor foram menores. Além disso, nesta unidade os maiores ganhos de calor ocorreram pela manhã, quando há incidência solar direta, o que explica o fato desta unidade atingir o pico máximo de temperatura do ar antes das outras unidades monitoradas.

Tabela 4 - Dados do monitoramento térmico no dia típico de verão (15/11/2018), por ambiente.

Ambientes	Temperatura do ar (ºC)			Amplitude Térmica (ºC)	Amortecimento Térmico (ºC)	Atraso Térmico (horas)
	Mín.	Máx.	Méd.			
EXTERIOR	24,47	32,34	28,12	7,87	-	-
M002-TP	**29,80**	**32,75**	**30,94**	2,95	**0,41**	**4**
M007-TN	28,72	**30,45**	**29,42**	**1,73**	**- 1,89**	**2**
R202-CP	28,62	31,77	30,12	3,15	- 0,56	**4**
A207-CN	**27,91**	31,21	29,51	**3,31**	- 1,13	3

4.2. Avaliação de acordo com a NBR 15575 e o RTQ-R

Nas avaliações da NBR 15575 e do RTQ-R são levados em consideração critérios de propriedades térmicas e ventilação natural. Com relação às propriedades térmicas, são dispostos parâmetros de absortância solar,

transmitância térmica e capacidade térmica, cujas exigências são as mesmas em ambas as metodologias de avaliação. Dessa forma, em ambos os casos, as paredes atenderam aos critérios estabelecidos. No entanto, a cobertura não foi considerada adequada para a ZB8.

Com relação a ventilação natural, enquanto a NBR 15575 estabelece que a área efetiva de abertura para ventilação deve ser de, no mínimo, 8% da área do piso, o RTQ-R apresenta uma exigência maior, sendo necessário, no mínimo, 10% da área do piso. Os ambientes apresentaram área efetiva de abertura para ventilação igual a 6% da área do piso e, portanto, não atenderam a este requisito em ambas as avaliações.

O RTQ-R estabelece ainda como pré-requisito o percentual de iluminação natural, calculado em função da área do piso. Para tanto, a área efetiva de abertura para iluminação deve ser de, no mínimo, 12,5% da área do piso. Os ambientes apresentaram área efetiva de abertura para iluminação igual a 11,53% da área do piso e, portanto, não atenderam a este requisito em ambas as avaliações.

A NBR 15575 dispõe de parâmetros para avaliação do desempenho da temperatura do ar no dia típico de verão. De acordo com os procedimentos definidos pela norma, os ambientes internos analisados apresentaram diferentes classificações de desempenho térmico, dos quais dois ambientes foram classificados como intermediário (M007-TN e A207-CN), um ambiente classificado como mínimo (R202-CP) e um ambiente não obedeceu ao critério estabelecido pela norma (M002-TP), conforme indica Tabela 5.

Tabela 5 - Classificação do nível de desempenho dos ambientes no dia típico de verão.

Zona Bioclimática	Temperatura máxima (ºC)	Diferença em relação à temperatura externa (ºC)	Nível de Desempenho (NBR 15575)
EXTERIOR	32,34	-	-
M002-TP	32,75	+ 0,41	Inferior
M007-TN	30,45	- 1,89	Intermediário
R202-CP	31,77	- 0,56	Mínimo
A207-CN	31,21	- 1,13	Intermediário

As Tabela 6 e Tabela 7 apresentam a síntese dos resultados das avaliações realizadas segundo os procedimentos da NBR 15575-1 (simplificado e medições) e do RTQ-R (prescritivo). Os resultados apresentados restringem-se aos dormitórios monitorados, localizados no pavimento térreo e último pavimento.

Tabela 6 - Síntese dos resultados da classificação do nível de desempenho térmico por ambiente.

Zona Bioclimática	Cobertura	Paredes	Aberturas para ventilação	Temperatura no dia típico de verão
M002-TP	-	Mínimo	Inferior	Inferior
M007-TN	-	Mínimo	Inferior	Intermediário
R202-CP	Inferior	Mínimo	Inferior	Mínimo
A207-CN	Inferior	Mínimo	Inferior	Intermediário

Tabela 7 - Síntese do atendimento aos pré-requisitos da envoltória.

Zona Bioclimática	Cobertura	Paredes	Aberturas para ventilação	Aberturas para iluminação
M002-TP	-	Sim	Não	Não
M007-TN	-	Sim	Não	Não
R202-CP	Não	Sim	Não	Não
A207-CN	Não	Sim	Não	Não

Para a obtenção da classificação da UH pelo método prescritivo do RTQ-R, utilizou-se a Planilha de cálculo do desempenho da UH, desenvolvida pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética de Edificações (CB3E), para auxiliar o processo de classificação das unidades habitacionais autônomas pelo método prescritivo. Nela, é possível avaliar o desempenho dos ambientes de acordo com os pré-requisitos, bonificações e sistema de aquecimento de água, para a determinação da pontuação total da edificação (PBE EDIFICA, 2017).

Com base nos dados inseridos na planilha, os ambientes voltados para o nascente (M007-TN e A207-CN, destacados em azul e roxo, respectivamente) obtiveram os melhores resultados para Resfriamento, alcançando nível “C”. O ambiente R202-CP (destacado em rosa), localizado na cobertura e voltado para poente, apresentou o pior resultado, alcançando nível “E” para Resfriamento. Já o ambiente M002-TP (destacado em amarelo), localizado no térreo e voltado para poente, alcançou nível “D” para Resfriamento.

As classificações obtidas pelos ambientes denotam uma forte interferência da orientação do ambiente e do pavimento no qual se localiza a unidade habitacional. As unidades voltadas para leste (M007-TN e A207-CN) obtiveram melhor classificação que as unidades voltadas para oeste (M002-TP e R202-CP). Foram percebidas diferenças na classificação em função do contato com o solo e com a cobertura: o ambiente R202-CP foi classificado como nível "E", enquanto o ambiente M002-TP foi classificado como nível "D". Os níveis atingidos pelas unidades habitacionais podem ser verificados na Figura 6.



Figura 6 – Planta baixa com níveis de eficiência energética atingidos pelos ambientes.

4.3. Considerações sobre as avaliações

Comparando as avaliações da NBR 15575 e do RTQ-R, ambas levam em consideração critérios de propriedades térmicas e ventilação. Com relação às propriedades térmicas, as exigências são as mesmas em ambas as metodologias de avaliação. Em ambos os casos, as paredes atenderam aos critérios estabelecidos. No entanto, a cobertura não foi considerada adequada para a ZB8.

Com relação à ventilação natural, enquanto a NBR 15575 estabelece que a área efetiva de abertura para ventilação deve ser de, no mínimo, 8% da área do piso, o RTQ-R apresenta uma exigência maior, sendo necessário, no mínimo, 10% da área do piso. Em ambas as avaliações, os ambientes não atenderam a este requisito.

O RTQ-R estabelece também um pré-requisito referente ao percentual de iluminação natural, calculado em função da área do piso. Neste caso, a área efetiva de abertura para iluminação deve ser de, no mínimo, 12,5% da área do piso. Os ambientes também não atenderam a este requisito. Diferentemente do RTQ-R, para avaliar o desempenho lumínico de acordo com a NBR 15575, são dispostos critérios de iluminação natural que devem ser verificados por meio de medições *in loco* ou simulação, não contempladas por este trabalho.

Nos resultados das avaliações da envoltória dos ambientes pelo RTQ-R, observou-se que o melhor desempenho para a situação de verão tende a ser, como era de se esperar, em UHs com orientação favorável ao resfriamento, voltadas para o nascente, onde há incidência solar no período da manhã. As UHs térreas também apresentaram melhor desempenho em relação as UHs na cobertura. Esse comportamento poderia ser explicado em função do contato direto com o solo, posto que "as edificações perdem calor através das suas lajes de piso que estão em contato com o solo. Isso acontece por que o solo costuma ser mais frio do que o ar dos interiores" (CHING; SHAPIRO, 2017, p. 111). Além disso, essas unidades não apresentam ganho de calor pela cobertura, o que auxilia na conservação de temperaturas mais amenas no interior da edificação. No entanto, estes comportamentos não foram confirmados pelas medições no dia típico de verão, que indicou o apartamento M002-TP, no térreo, com as piores condições de temperatura do ar.

A NBR 15575 estabelece, ainda, parâmetros de medições de temperatura, cujos resultados da avaliação são de caráter meramente informativo. Nesta avaliação para o dia típico de verão, as unidades M007-TN, R202-CP e A207-CN atenderam aos critérios, apresentando temperatura máxima interna menor que a externa. No entanto, o ambiente M002-TP apresentou temperatura máxima interna mais alta que a externa, não atendendo, portanto, aos critérios de desempenho estabelecidos para classificar o ambiente com nível Mínimo.

Dessa forma, percebe-se que o ambiente R202-CP embora não tenha atendido aos requisitos de propriedades térmicas da cobertura, apresentou um resultado melhor que o ambiente M002-TP, sendo ambos voltados para o nascente, porém localizados em pavimentos diferentes.

Ou seja, tanto a avaliação simplificada da NBR 15575, quanto o método prescritivo do RTQ-R, embora coerentes entre si, apresentaram divergências quando comparados às avaliações de conforto com base em dados reais de temperatura do ar. Uma questão que contribui para esse resultado é o fato de ambas as avaliações desconsiderarem as condições de uso dos ambientes. O M002-TP é o único ambiente, dentre os estudados, que permanece com as janelas abertas a maior parte do tempo, sem proteção contra incidência solar (como cortina, presente nos demais ambientes) e, por ser voltado para o poente, apresenta um maior

ganho de calor pelas paredes e abertura. Ao compará-lo com o apartamento R202-CP, apresenta uma área menor para perda de calor, já que este último tem contato com o ambiente externo também pela cobertura.

5. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados demonstram a influência da orientação e pavimento da UH e das condições de uso do ambiente no seu desempenho térmico, no entanto são evidenciadas divergências existentes nos resultados das avaliações. Embora o ambiente R202-CP tenha obtido a pior classificação de eficiência energética, os dados do monitoramento indicam para o ambiente M002-TP com as piores condições de temperatura. Esta condição pode ser explicada pelo padrão de uso de cada uma destas unidades: no térreo foram identificadas as maiores temperaturas e, diferentemente das demais unidades, este foi o único ambiente no qual as janelas permaneciam abertas a maior parte do tempo, sem a proteção de cortinas, resultando em maiores ganhos de calor devido à insolação direta no interior do ambiente e menor área para perda de calor que a cobertura.

Com relação à ventilação, vale ressaltar que ambas referências técnicas (NBR 15575 e RTQ-R) apontam requisitos de ventilação natural iguais para todos os ambientes, independente da sua posição geográfica. O RTQ-R, embora também desconsidere a orientação das aberturas como pré-requisito, esta condição é levada em consideração no preenchimento da planilha da envoltória, posto que são indicadas áreas de paredes e aberturas de acordo com a orientação, interferindo diretamente no nível de eficiência energética dos ambientes, assim como a orientação das paredes. No entanto, embora os requisitos das normas sejam diferentes entre si, ambos são insuficientes para garantir um bom aproveitamento da ventilação natural, posto que diversos aspectos interferem nesta questão, como: tamanho das aberturas, direção e velocidade dos ventos e tipologia das esquadrias.

Ficou evidente, portanto, a influência do pavimento e da orientação dos ambientes nas avaliações do RTQ-R e da NBR 15575 que, no entanto, desconsideram características relevantes das aberturas para um bom aproveitamento da ventilação e os diferentes padrões de uso dos ambientes, apresentando divergências quando comparados os resultados destas avaliações com as medições *in loco*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220-3:** Desempenho térmico de edificações - zoneamento bioclinático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

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

BATISTA, J. O. et al. Desempenho térmico de habitação multifamiliar do programa minha casa minha vida em Maceió – AL. **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, Maceió, n. 1, p. 409–418, 2013.

BRASIL. **Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2001]. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10295.htm>. Acesso em: 14 set. 2018.

BRASIL. **Consumo anual de energia elétrica por classe (nacional) – 1995-2018**. Rio de Janeiro: EPE, 2018.

CEF. **Cartilha do Programa Minha Casa Minha Vida - Fase 2**. Disponível em: <https://teiasocial.mpf.gov.br/images/5/5c/Cartilha_-_Minha_casa,_Minha_vida.pdf>. Acesso em: 1 out. 2018.

CHING, F. D. K.; SHAPIRO, I. M. **Edificações sustentáveis ilustradas**. 1. ed. Porto Alegre: Bookmman, 2017.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: Métodos de determinação e base de dados para tintas acrílica e PVA**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

INMETRO. **Anexo da Portaria n. 372/2010 Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2010.

INMETRO. **Anexo da Portaria n. 018/2012: Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2012.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

MORISHITA, C. **Impacto do regulamento para eficiência energética em edificações no consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

PBE EDIFICA. **Planilha de análise da envoltória e dos pré-requisitos dos ambientes**. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/2017-06-27-Planilha_uh_completa.xlsm>. Acesso em: 3 set. 2018.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 215–230, 2014.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado e à FAPEAL pela aquisição dos equipamentos utilizados no monitoramento das unidades habitacionais.