DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES NATURALMENTE VENTILADAS CONSIDERANDO AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA MACEIÓ-AL

Fernando Sá Cavalcanti (1); Leonardo Marques Monteiro (2)
(1) Arquiteto e Urbanista, Doutor em Arquitetura e Urbanismo, fernando.antonio@fau.ufal.br, Universidade Federal de Alagoas, Maceió-AL.
(2) Arquiteto e Urbanista, Doutor em Arquitetura e Urbanismo, leo4mm@usp.br, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP.

RESUMO
O objetivo deste artigo é avaliar o desempenho térmico de uma edificação padrão na tipologia "H" para a cidade de Maceió-AL, considerando os cenários de mudanças climáticas para 2050 e 2080. A partir da versão da norma de desempenho brasileira editada em 2021. As edificações, segundo a NBR-15575 devem atender ao desempenho mínimo para todo o seu ciclo de vida útil que é definido entre 50 e 75 anos e sabe-se que o planeta vive um constante processo de mudanças climáticas, enquanto poucos estudos avaliam esta variável para o Brasil, diante destes fatores, este estudo avaliou por meio de simulações computacionais utilizando o software *energyplus* o desempenho ao longo dos anos para as unidades habitacionais (UH) do térreo, pavimento intermediário e pavimento de cobertura tendo por base as variáveis de análise propostas pela referida norma. Os resultados apontam que frente aos cenários de mudanças climáticas, há uma perda na qualidade das UH, principalmente as localizadas no pavimento da cobertura que para o cenário de 2080 encontram-se em quase 100% das horas ocupadas com temperatura operativa fora da faixa estabelecida pela norma, comprometendo seu uso durante o período completo de ciclo de vida útil, concluindo pela necessidade de produzir habitações com maior salubridade e resilientes a cenários climáticos futuros.

Palavras-chave: desempenho térmico, energyplus, mudanças climáticas.

ABSTRACT
The objective of this paper is to evaluate the thermal performance of a standard "H" building for the city of Maceió-AL, considering the climate change scenarios for 2050 and 2080. Based on the version of the Brazilian performance standard edited in 2021. Buildings, according to NBR-15575, must meet the minimum performance for their entire useful life cycle, which is defined between 50 and 75 years and it is known that the planet is experiencing a constant process of climate change, while few studies evaluate this variable for Brazil, given these factors, this study evaluated, through computer simulations using the energyplus software, the performance over the years for the housing units (UH) on the ground floor, intermediate floor and roof floor based on the proposed analysis variables by the said standard. The results indicate that, in the face of climate change scenarios, there is a loss in the quality of the HU, especially those located on the roof floor, which for the 2080 scenario are found in almost 100% of the hours occupied with operating temperature outside the range established by the norm, compromising its use during the complete period of the useful life cycle, concluding by the need to produce housing with greater healthiness and resilience to future climatic scenarios.

Keywords: termal performance, energyplus, climate changes.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui atualmente duas normas que tratam de desempenho térmico de edificações. A primeira Norma Brasileira referente ao desempenho térmico em edificações, a ainda vigente NBR 15220 (ABNT, 2005), sendo a parte 2 revisada em 2022 (ABNT, 2022), tem como objetivo promover a produção de habitações com uma maior qualidade ambiental do ponto de vista térmico além de dividir o Brasil em oito zonas bioclimáticas.

Já a NBR 15575, lançada em 2013 e revisada em 2021, insere o desempenho térmico como um dos quesitos a serem atendidos para obtenção de um alto nível de desempenho de edificações habitacionais (ABNT, 2021).

A partir da criação desta norma, as construtoras e profissionais de projeto tiveram que atender a requisitos mínimos quanto ao desempenho para garantir a qualidade na produção de edificações residenciais, podendo ser classificado em mínimo, intermediário e superior. Sabe-se, porém, que qualquer alteração na fase de projeto, execução ou uso e ocupação de uma edificação pode influenciar a qualidade de seu desempenho final, pois os diversos fatores e parâmetros envolvidos na melhoria da qualidade de uma edificação não podem ser considerados de forma isolada (TORRESIN et al, 2018).

Segundo Silva (2019), o conceito de desempenho é consolidado no Brasil desde a década de 1980, aliado à evolução da atuação das políticas habitacionais, que passaram a ser tidas como essencial plataforma política para controle social, devido ao contexto anterior de déficit habitacional provocado pelo veloz crescimento urbano e pelo avanço em tecnologias construtivas.

Para o Brasil, o programa Minha Casa Minha Vida (PCMMV) visa reduzir o déficit habitacional brasileiro, foi criado em 2009, passando a se chamar programa Casa Verde e Amarela em 2021 e retornando à sua denominação inicial em 2023 (BRASIL, 2009; BRASIL, 2021; BRASIL, 2023) e gerou empregos no setor da construção civil, contribuindo para o desenvolvimento econômico do país (TRZCINSKI; AMARAL, 2019).

No entanto, é comum que as unidades habitacionais do PMCMV sejam qualitativamente deficientes, conforme observado por Morais e Labaki (2017), devido à reprodução extensiva e não adaptação ao clima local como mostram os estudos de Xavier e Lukiantchuki (2021) e Machado et al. (2020).

Nos países desenvolvidos, o estudo sobre desempenho ocorre desde a década de 60 e sua definição está relacionada ao comportamento das mesmas quando submetidas ao uso, pode ser considerado como o comportamento de um edifício, sistema, componente ou material, a partir das condições de exposição e das ações decorrentes do uso (CHEVALIER; HANS, 2003).

Atualmente a NBR 15575, norma que regulamenta o desempenho mínimo para edificações residenciais, estipula que a vida útil mínima entre 50 e 75 anos para habitações e que durante este período elas devem garantir o desempenho mínimo dos sistemas de vedação interna e externa, cobertura, estruturais e hidrossanitários. Nesse sentido, faz-se necessário a adoção de medidas para garantir um melhor desempenho térmico e energético, pois um baixo desempenho térmico afeta diretamente o conforto, a saúde e a renda dos ocupantes (ABNT, 2021).

Para habitações de mercado, o uso de estratégias de condicionamento passivo representa uma parcela significativa das causas para melhoria do desempenho térmico de uma edificação, considerando a relevância da possibilidade de resfriamento por meio da ventilação natural, sem consumo adicional de energia (FRANCO et al, 2019; BHAMARE; RATHOD; BENERJEE, 2020),

Consequentemente, a produção de gases de efeito estufa (GEE) o consumo de energia para aquecimento, ventilação e ar-condicionado (HVAC) aumentou em todo o mundo, pois é preciso garantir qualidade ambiental nos espaços internos. Por isso, as emissões totais de gases de efeito estufa (GEE) do setor de construção no mundo atingiram 39% em 2018 (HU et al, 2017). A fabricação de cimento, vidro e aço é responsável por 11% das emissões de GEE. Devido ao aumento das emissões de gases de efeito estufa, a temperatura global pode chegar a 1,5ºC entre 2020 e 2050 (CHAN et al, 2010) (WAN et al, 2011).

Além disso, as mudanças climáticas ocorridas ao longo dos últimos anos têm provocado diferentes cenários climáticos que podem colocar em risco muitas pessoas ao redor do mundo. O risco de condições climáticas extremas, como ondas de calor, secas, inundações, elevação do nível do mar, perda de biodiversidade e outros fatores, colocam em risco grande parte da população. Principalmente, aqueles que vivem em regiões de baixa renda do mundo (países subdesenvolvidos e em desenvolvimento) são mais afetados pelas mudanças climáticas (IPCC, 2018).

Frente a estas mudanças, pode-se afirmar que temperaturas externas ligeiramente mais altas podem alterar drasticamente o desempenho térmico das edificações, visto que muitas horas e dias que atualmente estão apenas um pouco abaixo do limite de resfriamento podem ser movidos acima do limite. É importante, portanto, desenvolver uma melhor compreensão da relação entre as mudanças nas condições climáticas e o desempenho térmico das edificações, assim como realizado por Frank (2005) que fez estudos de simulação muito detalhados para edifícios individuais na Suíça.

Ren et al, (2011) pesquisaram a adaptação às mudanças climáticas para edifícios na Austrália considerando simulação e custo-benefício em edifícios existentes e novos em oito zonas bioclimáticas. Indicação de resultados afirmaram que os usos finais de resfriamento e aquecimento eram dominantes. Além disso, em climas com mais requisitos de aquecimento, um nível adequado de adaptação poderia ser alcançado melhorando a eficiência energética da envoltória do edifício; para climas com mais necessidades de refrigeração, no entanto, este resultado só poderia ser alcançado com a adição de equipamentos de eficiência energética eficiente e energia renovável.

Para o Brasil, em geral, dados climáticos para cenários futuros não estão disponíveis, além de poucos estudos, entre os quais são Casagrande (2013) e Alves, Duarte e Gonçalves (2015) e ainda é um campo de pesquisa limitado.

Diante disto, faz-se necessário a investigação do comportamento térmico das edificações considerando as mudanças climáticas e cenários futuros, de modo a garantir a qualidade dos espaços edificados para habitação e consequentemente um melhor conforto térmico aos usuários.

2. OBJETIVO

Este artigo apresenta uma avaliação do desempenho térmico para uma edificação multifamiliar padrão, considerando os parâmetros estabelecidos na NBR-15575 (ABNT, 2021) e discute o impacto das mudanças climáticas em cenários futuros de 2050 e 2080, contribuindo assim para uma base de dados em futuras revisões da referida norma.

3. MÉTODO

Para a realização deste trabalho, optou-se pelo procedimento de simulação computacional utilizando o software energyplus® em sua versão 22.1 e foi dividido em três etapas que serão descritas a seguir.

3.1. A cidade de Maceió e seu clima

Maceió está localizada na zona bioclimática 08, segundo a NBR-15220 (ABNT, 2005) e apresenta clima quente e úmido em sua predominância, no entanto, para atender aos objetivos deste trabalho, foram produzidos arquivos climáticos para esta cidade a partir do arquivo climático INMET disponível pelo LabEEE da UFSC, considerando as variações estimadas ao longo do tempo pela ferramenta *CCWorldWeatherGen*® produzido pela Universidade de Southampton (JENTSH, 2010) tornando possível verificar os cenários para 2020, 2050 e 2080 conforme apresentado na figura 1.

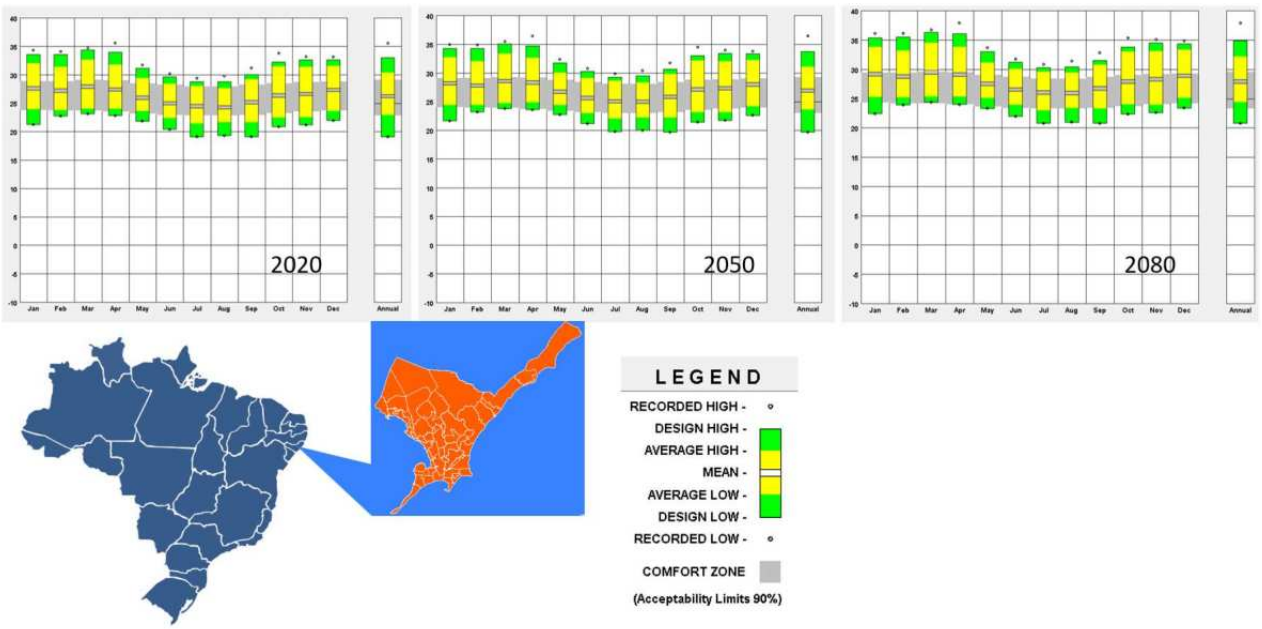


Figura 1 – Localização da cidade de Maceió-AL e cenários climáticos para 2020,2050 e 2080 (UCLA, 2006; JENTSH, 2010)

3.2. Descrição do modelo digital

Para este estudo, foi considerada como padrão, uma edificação multifamiliar projetada na tipologia "H" com 04 pavimentos (térreo, 02 pavimentos intermediários e um pavimento na cobertura) e 04 apartamentos por pavimento. As unidades habitacionais foram inseridas no bloco de modo espelhado e com as mesmas dimensões entre si.

Esta tipologia padrão é composta por unidades habitacionais (UH) com dois dormitórios, uma sala e cozinha integrados e um banheiro, com 41,85 m² de área total e 2,40 m de pé direito. Para este estudo, adotou-se a implantação em que as aberturas se encontram voltadas para o eixo leste-oeste (Figura 2a), possibilitando investigar orientações distintas para a unidade padrão e o comportamento térmico ao longo dos anos, inserindo cenários com as mudanças climáticas para uma investigação do ciclo de vida útil das edificações.

Foram selecionados para a análise, 12 apartamentos, sendo 04 no pavimento térreo, 04 no segundo piso (aqui chamado de pavimento intermediário) e 04 no quarto piso (pavimento de cobertura) em todas as orientações disponíveis no modelo (Figura 2b). Os ambientes de permanência prolongada (APP) analisados neste estudo foram uma sala/cozinha e dois dormitórios, sendo um de casal e um de solteiro, conforme apresentado na figura 2c.

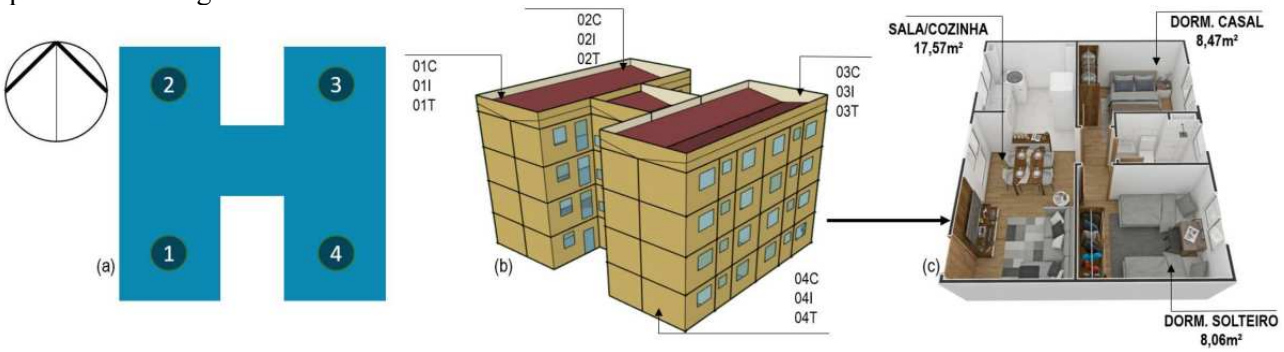


Figura 2 – (a) Planta esquemática do modelo "H", (b) Volumetria da modelagem computacional com indicação da nomenclatura das UH e (c) perspectiva da unidade habitacional indicando as áreas dos APP.

O sistema construtivo utilizado para esta edificação está de acordo com as recomendações da NBR-15575 (ABNT, 2021) que indica as propriedades termofísicas para os sistemas de vedação vertical e horizontal. Para o sistema de paredes externas (sistema de vedação vertical), foi considerado uma parede de concreto moldada *in loco* com 0,20m de espessura e transmitância térmica de 3,52W/m²K que para ser utilizada de acordo com as recomendações da norma de desempenho brasileira, a absortância da fachada adotada foi 0,45. Já para a coberta, foi considerada uma cobertura de telha de barro (1,0 cm), lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 25 cm com transmitância térmica de 1,03W/m²K e absortância de 0,75 conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Recomendações da NBR-15575 (2021) e dados adotados no modelo simulado.

	ZB-8	**Modelo simulado**
U paredes (W/m²K)	Se $\alpha \leq 0,6$ / $U \leq 3,7$ Se $\alpha > 0,6$ / $U \leq 2,5$	U = 3,52 α = 0,45
U coberturas (W/m²K)	Se $\alpha \leq 0,4$ / $U \leq 2,3$.FT Se $\alpha > 0,4$ / $U \leq 1,5$.FT	U = 1,03 α = 0,75
CT par ext kJ/(m².K)	Não há	CTpar = 440 CTcob = 568
% área para ventilação	Se Nordeste ≥ 8,0 % (Apiso)	AV = 17%
% área envidraçada	Para APP < 20,00 m² / AE < 20% da área do piso	AE = 7,65%

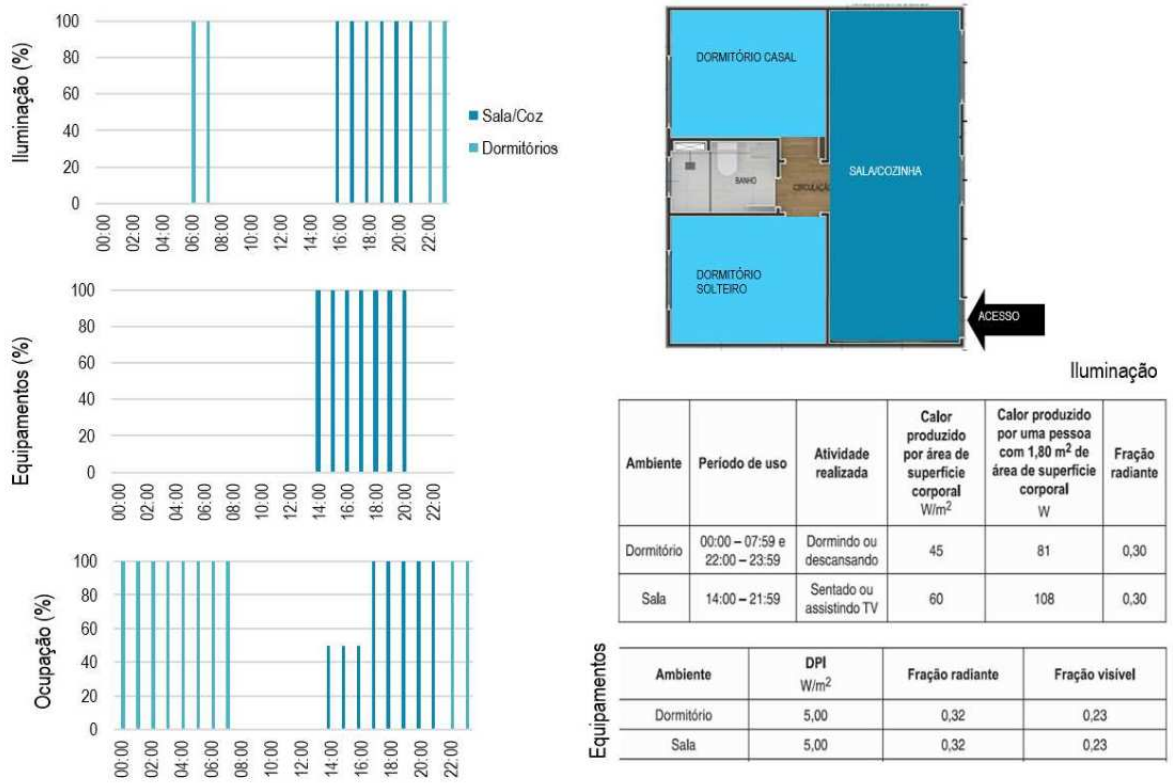
Fonte: Adaptado de (ABNT, 2021)

Embora a referida norma não cite valores mínimos ou máximos para a capacidade térmica, estes valores foram inseridos na tabela 1, além das porcentagens para área envidraçada e área para ventilação. As esquadrias foram dimensionadas de acordo com as recomendações para o modelo de referência da NBR-15575 (ABNT, 2021) que estabelece um percentual de área envidraçada de 17,0% e 7,65% para a abertura para ventilação, sendo esta porcentagem sempre em relação à área do piso do ambiente de permanência prolongada.

Ainda de acordo com a NBR-15575 (ABNT, 2021), os vidros das esquadrias foram inseridos com transmitância térmica de 5,70W/m²K e um fator solar de 0,87. Foram inseridos no modelo digital também os perfis das esquadrias, conforme especificação desta norma.

3.3. Descrição do processo de simulação computacional

Durante o processo de modelagem computacional utilizando o software *energyplus*, utilizaram-se os dados que a NBR-15575 determina como padrões de uso e ocupação, além das cargas térmicas por pessoa e equipamentos, estes valores foram inseridos conforme apresentado na figura 3, tornando possível a visualização dos padrões de *schedule* e dados utilizados na simulação.



Iluminação

Ambiente	Período de uso	Atividade realizada	Calor produzido por área de superfície corporal W/m²	Calor produzido por uma pessoa com 1,80 m² de área de superfície corporal W	Fração radiante
Dormitório	00:00 – 07:59 e 22:00 – 23:59	Dormindo ou descansando	45	81	0,30
Sala	14:00 – 21:59	Sentado ou assistindo TV	60	108	0,30

Equipamentos

Ambiente	DPI W/m²	Fração radiante	Fração visível
Dormitório	5,00	0,32	0,23
Sala	5,00	0,32	0,23

Figura 3 – Dados inseridos na simulação computacional e padrões de ocupação e uso de sistemas de iluminação e equipamentos. Adaptado de (ABNT, 2021)

Para o processo de ventilação natural, foi utilizado o módulo *AirflowNetwork* onde foram inseridas todas as aberturas do modelo digital e consideradas janelas com percentual de abertura de 45% e portas 100% abertas para promover ventilação cruzada nos ambientes internos, além de um coeficiente de descarga de 0,6 conforme os parâmetros apresentados na figura 4.

Field	Units	Obj1
Name		Equipment_Living/K
Zone or ZoneList or Space or SpaceList Name		Zone_Living/Kitche
Schedule Name		Schedule_Equipam
Design Level Calculation Method		EquipmentLevel
Design Level	W	120
Watts per Zone Floor Area	W/m2	
Watts per Person	W/person	
Fraction Latent		0
Fraction Radiant		0,3
Fraction Lost		0
End-Use Subcategory		General

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Window_Master	Window_Single
Air Mass Flow Coefficient When Opening is Closed	kg/s-m	0,00063	0,00063
Air Mass Flow Exponent When Opening is Closed	dimensionless	0,63	0,63
Type of Rectangular Large Vertical Opening (LVO)		NonPivoted	NonPivoted
Extra Crack Length or Height of Pivoting Axis	m		
Number of Sets of Opening Factor Data		2	2
Opening Factor 1	dimensionless	0	0
Discharge Coefficient for Opening Factor 1	dimensionless	0,001	0,001
Width Factor for Opening Factor 1	dimensionless	0	0
Height Factor for Opening Factor 1	dimensionless	1	1
Start Height Factor for Opening Factor 1	dimensionless	0	0
Opening Factor 2	dimensionless	1	1
Discharge Coefficient for Opening Factor 2	dimensionless	0,6	0,6
Width Factor for Opening Factor 2	dimensionless	0,45	0,45
Height Factor for Opening Factor 2	dimensionless	1	1

Figura 4 – Dados inseridos na simulação computacional com o auxílio do módulo *AirflowNetwork*. (ENERGYPLUS, 2022)

Como dados de saída foram obtidas as temperaturas internas e temperaturas operativas para cada zona térmica, além dos padrões de ocupação, sendo possível investigar apenas as horas ocupadas em cada zona térmica. Cada Unidade Habitacional é composta por três zonas térmicas analisadas, uma referente à sala e cozinha e duas referentes aos dormitórios (casal e solteiro).

Os critérios considerados na análise do desempenho destas UH foram: percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa ($PHFT_{APP}$) das áreas de permanência prolongada e das Unidades Habitacionais ($PHFT_{UH}$), além da temperatura operativa anual máxima (para a zona bioclimática 08, a

temperatura operativa anual mínima não é exigida) da UH (To_{maxUH}) que é a Temperatura operativa máxima dentre as APP desta UH.

O percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura e a temperatura operativa anual máxima da UH são calculados pelas equações 1 e 2, respectivamente.

$$PHFT_{UH} = \frac{\sum_{i=1}^{n} PHFT_{APP}}{n} \qquad \text{Equação 1}$$

$$Tomáx_{UH} = Máx\ (Tomáx_{APP}) \qquad \text{Equação 2}$$

Onde "n" é o número de ambientes de permanência prolongada da Unidade Habitacional.

4. RESULTADOS

Para análise dos resultados foram identificados os parâmetros estabelecidos na NBR-15575 (ABNT, 2021) que considera as temperaturas externas da localidade como um definidor para a realização deste processo. Neste caso, a cidade de Maceió encontra-se no intervalo 2 (TBS média entre 25ºC e 27ºC) por se tratar de uma avaliação no que se refere às mudanças climáticas, não foi avaliado o modelo de referência estabelecido pela norma e os modelos simulados neste trabalho serão comparados entre si de modo a permitir uma verificação da evolução do desempenho ao longo do período de ciclo de vida útil da habitação.

Considerou-se a faixa de temperatura de referência definida para o intervalo 2 da NBR-15575 valores inferiores a 28ºC e cada UH foi avaliada individualmente (12 UH no total) para cada cenário climático adotado neste estudo e comparadas com as UH de mesma orientação no edifício ao longo dos anos.

4.1. Avaliação para o cenário de 2020

Para o cenário atual, observa-se que as unidades habitacionais localizadas no térreo encontram-se quase na totalidade das horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa, chegando a 100% para os dormitórios da UH-04T e para o dormitório de solteiro da UH-03T. No entanto, ao avaliar a variação de pavimentos, observa-se uma queda de 56,82% destas horas em média quando se avaliam as UH dos pavimentos intermediários e 74,40% para as UH do pavimento da cobertura, sempre considerando o pavimento térreo como referência.

Este fato se dá pois o pavimento térreo sofre influência do solo e o pavimento da cobertura, da coberta da edificação que a depender da área de piso do ambiente pode afetar negativamente no desempenho térmico das áreas de permanência prolongada.

A figura 5 apresenta estes resultados de forma sistematizada onde é possível observar estes valores para $PHFT_{APP}$ de todas as zonas térmicas avaliadas e a $To_{máxAPP}$ que será utilizado para definir a $To_{máxUH}$ que está apresentado na forma de gráfico, bem como a $PHFT_{UH}$.



Figura 5 – Resumo dos resultados das simulações computacionais para PHFT e Tomáx das APP e UH no cenário climático de 2020.

Para as tipologias a oeste, com terminações 1 e 2, os dormitórios apresentaram maior temperatura operativa nos casos de estarem localizados no térreo ou no pavimento intermediário enquanto para as terminações 3 e 4 a sala/cozinha foi a zona térmica de maior temperatura nestes casos. Este fato ocorreu provavelmente em virtude da orientação das aberturas destes ambientes que estão para oeste, favorecendo o acúmulo de calor no interior destes espaços no período de maior ocupação, enquanto no período da manhã, com incidência da radiação solar pela fachada leste não há (ou há pouca) ocupação nas UH analisadas.

Já para as UH localizadas na cobertura, independente da orientação, a sala/cozinha foi a zona térmica com maior temperatura operativa por ser o ambiente de maior área de piso e consequentemente, maior área de coberta, que absorve radiação direta durante todo o dia e tornando-se a principal superfície de transmissão de calor para o interior destes ambientes.

4.2. Avaliação para o cenário de 2050

Para o ano de 2050, observa-se um comportamento similar ao ano de 2020, conforme apresentado na figura 6, no entanto com menor período dentro da faixa de temperatura operativa e com estas temperaturas mais elevadas.

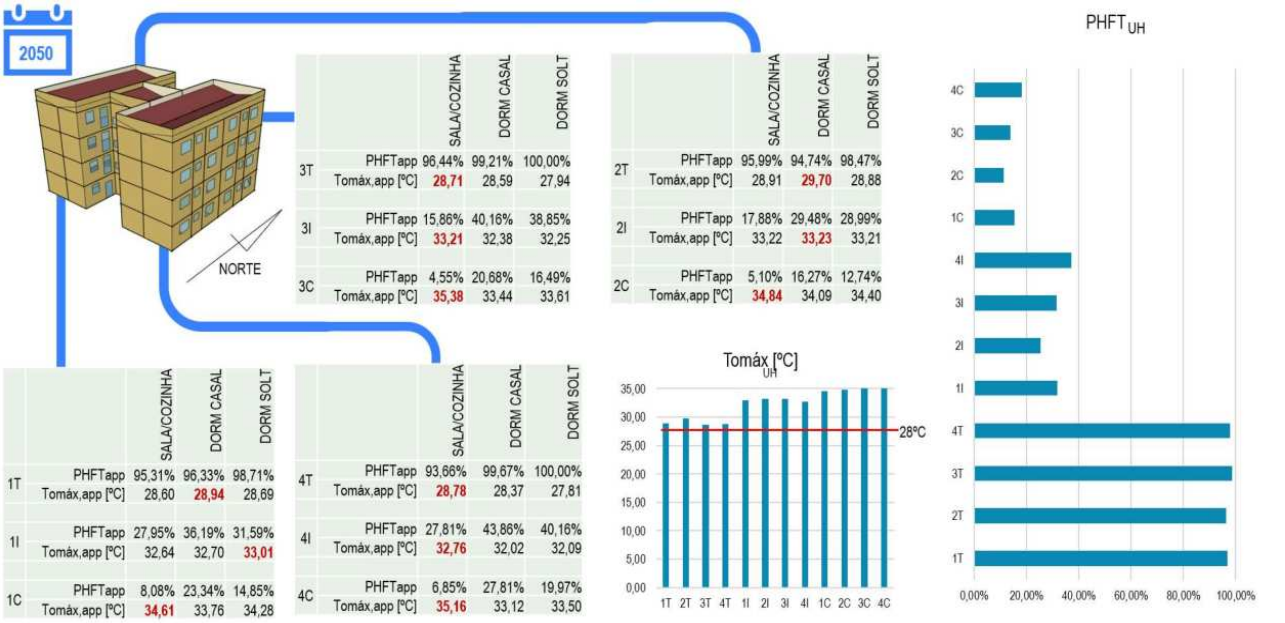


Figura 6 – Resumo dos resultados das simulações computacionais para PHFT e Tomáx das APP e UH no cenário climático de 2050.

É possível observar que para as UH do pavimento térreo com janelas orientadas para o leste, o dormitório de solteiro obteve 100% do período ocupado dentro da faixa de temperatura operativa e os demais ambientes alcançaram percentuais acima de 90% para esta variável, o que demonstra um bom desempenho térmico quando ocorre trocas térmicas entre a edificação e o solo.

No entanto, estes valores não foram observados nas demais unidades onde o melhor resultado foi o dormitório de casal da terminação 04 no pavimento intermediário, ainda assim abaixo de 50%, indicando uma redução média de 67,60% para o pavimento intermediário e 84,88% para o pavimento da cobertura, quando comparados com o pavimento térreo para as horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa.

Para as terminações 1 e 2 (com aberturas voltadas para oeste) tanto para o pavimento térreo quanto para o pavimento intermediário, os dormitórios apresentaram maior temperatura operativa, enquanto para as terminações 3 e 4 a sala/cozinha que possui aberturas para oeste apresentou maior valor para esta variável ao considerar apenas as horas ocupadas.

Já para o pavimento da cobertura, em todas as unidades deste pavimento, a sala/cozinha apresentou maior temperatura operativa sendo a laje da coberta a principal responsável por irradiar calor para o ambiente interno.

4.3. Avaliação para o cenário de 2080

Para o cenário de 2080, em relação à $PHFT_{UH}$, é possível observar que as unidades do pavimento térreo apresentam valores acima de 80% para as horas ocupadas, enquanto as unidades do pavimento cobertura não atingem o valor de 5%, tornando estes ambientes desfavoráveis do ponto de vista térmico.

Observa-se que para as UH localizadas no térreo e no pavimento intermediário, os ambientes com aberturas voltadas para o oeste representam as zonas térmicas com maior temperatura operativa (dormitórios, para as terminações 1 e 2, sendo o dormitório de solteiro para a UH-1I e o dormitório de casal para as demais e para as terminações 3 e 4, a sala/cozinha). Já para o pavimento da cobertura, assim como nos cenários anteriores, a sala/cozinha representaram a zona térmica com maior temperatura operativa, evidenciando o acúmulo de calor pela coberta.

Estes dados estão melhor apresentados na figura 7 que ilustra também as condições para estas variáveis por área de permanência prolongada.

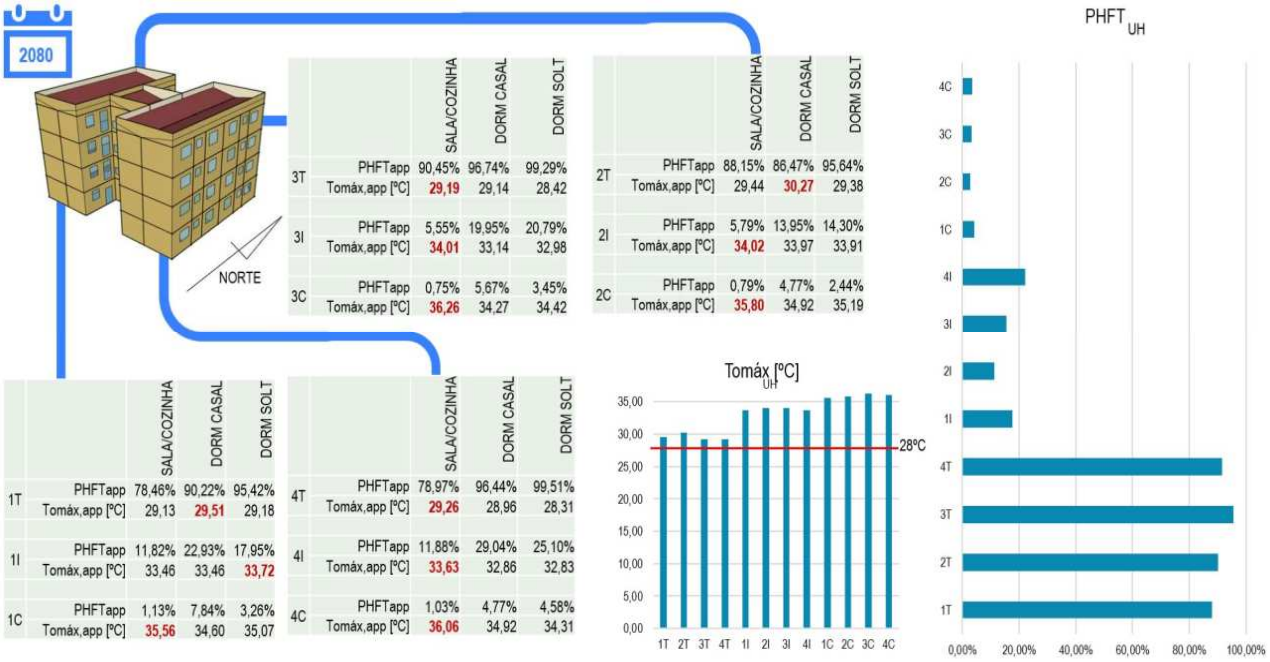


Figura 7 – Resumo dos resultados das simulações computacionais para PHFT e Tomáx das APP e UH no cenário climático de 2080.

Ao analisar as áreas de permanência prolongada individualmente, é possível observar que para as UH do pavimento térreo, o ΔT entre a $Tomáx_{APP}$ e o limite da faixa estabelecida pela NBR-15575 chega a no máximo 2,27ºC o que indica um aquecimento pouco significativo, enquanto que para as unidades do pavimento intermediário este delta varia entre 4,83ºC e 6,02ºC e para as unidades do pavimento da cobertura este superaquecimento se torna mais evidente por encontrar estes valores entre 6,27ºC e 8,23ºC.

4.4. Avaliação considerando as mudanças climáticas e cenários futuros

Considerando o ciclo de vida útil da edificação, os três cenários encontram-se dentro deste período e assim faz-se necessário compreender o comportamento térmico da edificação e, consequentemente, das UH garantindo assim uma melhor habitabilidade nestes espaços.

Para os três cenários climáticos analisados, a UH-02 apresentou-se como a unidade que obteve menor $PHFT_{UH}$ com exceção da UH-02T para o cenário de 2080 que apresenta um percentual maior que a UH-01T. este fato ocorre em virtude da radiação solar incidente nesta orientação (norte-oeste) conforme é possível observar na figura 8 que para esta orientação, em virtude das horas ocupadas, torna-se o posicionamento mais desfavorável para a UH.

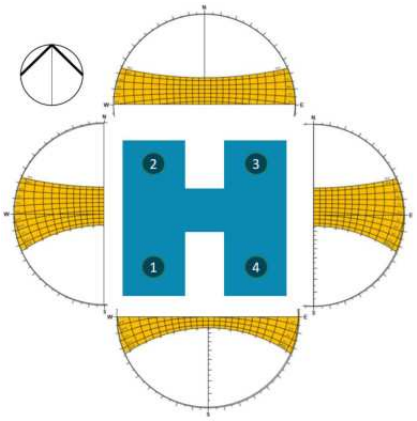


Figura 8 – Período de incidência de radiação solar direta nas fachadas da edificação analisada (adaptado de CAVALCANTI, 2022).

A figura 9 apresenta o comportamento das UH ao longo dos anos, sendo possível observar a variação do $PHFT_{UH}$ e da $Tomáx_{UH}$ e identificar que a primeira variável analisada tem maior influência a partir da inserção de cenários futuros, principalmente para os níveis intermediário e superior. Para o pavimento térreo, esta influência não representou um impacto significativo provavelmente em virtude das trocas térmicas entre

a edificação e o solo, embora considerado o *GroundDommain* dentro do software simulado, esta variável não sofreu grande impacto a partir das mudanças climáticas.

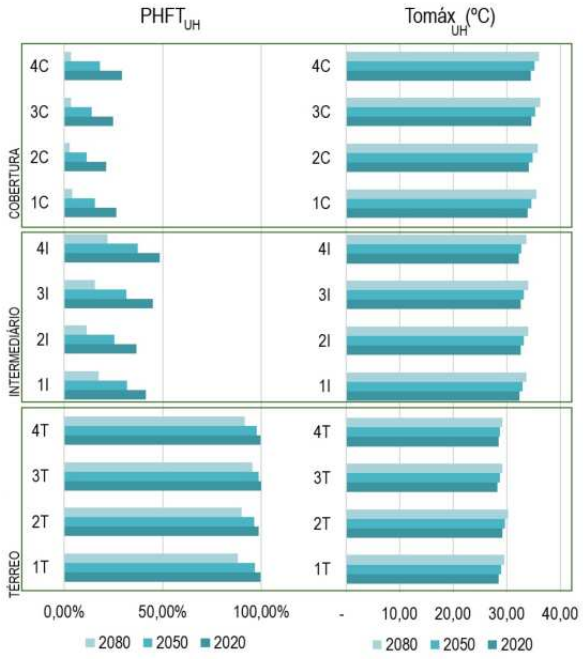


Figura 9 –Evolução das variáveis analisadas ao longo dos anos.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou o desempenho térmico de uma edificação multifamiliar padrão e discutiu o impacto frente às mudanças climáticas para a cidade de Maceió-AL. Após as análises, é possível afirmar que a variação do clima considerando os cenários de 2050 e 2080 promoveram um aquecimento dos ambientes internos com o passar dos anos, aumentando a temperatura operativa e reduzindo o percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa estabelecida pela NBR-15575 (ABNT, 2021).

Vale ressaltar que considerando o ciclo de vida útil de uma edificação entre 50 e 75 anos, as edificações produzidas em 2023 devem manter um bom desempenho até o ano de 2098, quando completa 75 anos ou mesmo 2073 (50 anos) e é possível afirmar que frente às mudanças climáticas as edificações não manterão o mesmo desempenho térmico chegando a tornarem-se desconfortáveis para o uso nas horas estabelecidas como ocupadas, principalmente para as unidades habitacionais localizadas no pavimento da cobertura que encontram-se em 2080 com quase 100% deste período fora da faixa estabelecida pela NBR-15575 (ABNT, 2021).

Produzir projetos arquitetônicos responsáveis e adaptados às mudanças climáticas que o planeta vive é uma função dos arquitetos e profissionais de projeto em geral, cada dia mais comprometidos com a qualidade dos espaços e a satisfação dos usuários, diante disto, são necessários contínuos estudos para estabelecer recomendações projetuais frente a estes cenários que são uma realidade na sociedade atual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220–03**: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho: Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2021.

ALVES, C.A; DUARTE, D.H.S; GONÇALVES, F.L.T; Resiliência das edificaÇões às mudanÇas climáticas na região metropolitana de São Paulo. Parte 2: Estudo de caso—Desempenho térmico de edifícios residenciais de idosos, In XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construido. Campinas, **Anais**. 2015.

BHAMARE, D. K.; RATHOD, M. K.; BANERJEE, J. Evaluation of cooling potential of passive strategies using bioclimatic approach for different Indian climatic zones. **Journal of Building Engineering**, v. 31, Sept. 2020.

BRASIL**. Lei n. 12.424**, de 7 de julho de 2009, dispõe sobre o Programa Minha Casa Minha Vida - PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas. Diário Oficial da União, Brasília, 8 de julho de 2009.

BRASIL. **Lei nº 14.118**, de 12 de janeiro de 2021, Institui o Programa Casa Verde e Amarela. Diário Oficial da União, Brasília, 12 de janeiro de 2021.

BRASIL. **Medida provisória nº 1.162**, de 14 de fevereiro de 2023. Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida. Diário Oficial da União, Brasília14 de fevereiro de 2023.

CASAGRENSE, B.G; **Cenários climáticos futuros: diagnóstico prospectivo do desempenho termoenergético**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

CAVALCANTI, F. S.; ARQSOLAR: Uma ferramenta Android para o ensino-aprendizagem das cartas solares. **Rev. Sítio Novo**. Palmas, v. 6 n. Edição Especial p. 47-57 mar. 2022.

CHAN, H. Y., RIFFAT, S. B., & ZHU, J. Review of passive solar heating and cooling technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews,** 14(2), 2010, p781-789.

CHEVALIER, J. L.; HANS, J. **Performance Based Approach French State of Art**. Paris, 2003. 343 p.

FRANCO, L. C.; MENDES, J. C. COSTA, L. C. B.; PIRA, R. R.; PEIXOTO, R. A. F. Design and thermal evaluation of a social housing model conceived with bioclimatic principles and recycled aggregates**. Sustainable Cities and Society**, v. 51, Nov. 2019.

FRANK, Th. Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland. **Energy and Buildings** 37 (2005) pp 1175-1185

HU, Z., HE, W., JI, J., & ZHANG, S. A review on the application of trombe wall system in buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews,** 70, 2017, p976-987.

IPCC, 2018: **Summary for Policymakers**. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-24, doi:10.1017/9781009157940.001. Acesso em 13 Ago 2022.

JENTSCH, M. F. **Climate Change Weather File Generators**. Technical reference manual for the CCWeatherGen and CCWorldWeatherGen tools. 2010.

MACHADO, J. M.; SIRTULI, B. P.; NICO-RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E. Sustentabilidade e desempenho térmico em habitação de interesse social: aplicação da ferramenta ISMAS em Vitória – ES para vedações verticais. **Paranoá**, n. 27, p. 95-112, jan;/ jun. 2020.

MORAIS, J. M. S. C.; LABAKI, L. C. CFD como ferramenta para simular ventilação natural interna por ação dos ventos: estudos de caso em tipologias verticais do "Programa Minha Casa, Minha Vida". **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 223-244, jan./mar. 2017.

REN, Z; CHEN, Z; WANG, X; Climate change adaptation pathways for Australian residential buildings, **Build. Environ**. 46 (November (11)) p. 2398–2412. 2011.

SILVA, J. N. F. **Panorama de uma construtora do município de Russas-CE acerca da implementação da norma de desemprenho – NBR 15575**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Campus Russas, Russas, 2019.

TORRESIN, S; PERNIGOTTO, G; CAPPALLETTI, F; GASPARELLA, A. Combined effects of environmental factors on human perception and objective performance: A review of experimental laboratory works. In: Indoor Air: **Internacional Journal of indoor Environment and Health**. Volume28, Issue4, Pages 525-538, 2018.

TRZCINSKI, C.; AMARAL, A. J. Política de Habitação de Interesse Social no recorte da segregação socioespacial e os efeitos da violência social. **Colóquio - Revista do Desenvolvimento Regional**, Taquara, v. 16, n. 2., p. 27-49, Edição Especial II SNDR, jan. 2019.

WAN, K. K., LI, D. H., LIU, D., & LAM, J. C. Future trends of building heating and cooling loads and energy consumption in different climates. **Building and Environment**, 46(1), 2011, p223-234.

XAVIER, A. C. A.; LUKIANTCHUKI, M. A. Análise da ventilação natural em uma habitação de interesse social, com diferentes configurações de muro, através de simulações CFD. **Risco Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo** (Online), v. 19, p. 1-19, jun. 2021.