



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES POPULARES EM ALAGOAS: UMA APLICAÇÃO DA NBR 15575¹

**BARBOSA, Gabriele L. (1); ARAÚJO, Mayna L. T. de (2); SANTOS, Daniela N. (3);
BATISTA, Juliana O. (4)**

(1) FAU/UFAL, e-mail: g.lucasbarbosa@gmail.com; (2) FAU/UFAL, e-mail:
mayna.araujo@fau.ufal.br; (3) FAU/UFAL, e-mail: danielaanovaes@gmail.com; (4)
FAU/UFAL, e-mail: juliana.batista@fau.ufal.br

RESUMO

A habitação social brasileira caracteriza-se pela pouca diversidade arquitetônica e reprodução em série sem a devida adequação climática, resultando em baixa qualidade térmica. A norma NBR 15.575 estabelece requisitos para classificar o desempenho térmico destas edificações, visando à melhoria da qualidade arquitetônica. Este trabalho avalia o impacto da adequação às prescrições normativas sobre o desempenho térmico de uma unidade habitacional (UH) unifamiliar representativa do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Para tal, foram realizadas simulações com o software EnergyPlus v8.2 de um modelo base, desconforme à NBR 15575, e de um modelo adaptado, enquadrado nos parâmetros prescritivos da norma, para Maceió (litoral) e Pão de Açúcar (sertão), em Alagoas. Foram analisados os parâmetros somatório de graus-hora de resfriamento (GHR) e percentual de horas de desconforto em função dos limites de aceitabilidade térmica estabelecidos pela ASHRAE Standard 55. A aplicação da NBR 15575 beneficiou o desempenho térmico da edificação, com reduções superiores a 60% no GHR em Maceió e 16% em Pão de Açúcar. Porém verifica-se a necessidade de aperfeiçoamento da norma para contemplar adequadamente as particularidades dos climas locais.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Habitação popular. Simulação computacional.

ABSTRACT

Brazilian social housing is characterized by poor architectural diversity, by the massive production with no climate adaptation, resulting in low thermal quality. The NBR 15575 has established requirements to classify the thermal performance of these buildings, aiming to improve architectural quality. This paper evaluates the impact of the application of prescriptive requirements about thermal performance of a single-family detached house, representative of "My house My Life Program" (PMCMV). Computer simulations were realized by EnergyPlus v8.2 software of a BASE model, disregarding NBR 15575 criteria, and an adapted model, adjusted to the standard parameters, for Maceió (coastal) and Pão de Açúcar (westerly), located at Alagoas. The thermal performance was analyzed according to two parameters: cooling degree hours (CDH) and percentage of discomfort hours, according to the limits of thermal acceptability established by the ASHRAE Standard 55. The application of NBR 15575 standard benefited the thermal performance of the building, by reducing more than 60% in annual CDH in Maceió and 16% in Pão de Açúcar. However, it's

¹ BARBOSA, Gabriele et al. Desempenho térmico de habitações populares em Alagoas: uma aplicação da NBR 15575. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

seen the need of improvement of the standard, in order to contemplate properly the local climate particularities.

Keywords: Thermal performance. Social housing. Computer simulation.

1 INTRODUÇÃO

A construção de habitações de interesse social surge como uma alternativa para a redução do déficit habitacional no país, destacando-se o programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), criado pelo governo federal em 2009. Elaborado com o objetivo de facilitar as condições de financiamento para famílias com renda mensal de até 10 salários mínimos, o programa já beneficiou 9,4 milhões de famílias.

A Caixa Econômica Federal (CEF), financiadora do PMCMV, estabelece padrões construtivos básicos, através de uma cartilha com especificações técnicas, físicas e funcionais para a construção. Entretanto, observam-se construções em série projetadas sem a devida preocupação com adequações climáticas (FERREIRA, 2012). Esse descuido resulta em moradias com baixa qualidade térmica e ambientes desconfortáveis para os usuários.

Segundo o CBIC (2013, p.135), “O adequado desempenho térmico repercute no conforto das pessoas e em condições adequadas para o sono e atividades normais em uma habitação, contribuindo ainda para a economia de energia”. Em habitações de interesse social (HIS) o emprego de estratégias de condicionamento passivo, com destaque para a ventilação natural e o sombreamento das aberturas, representa a alternativa mais viável para obtenção de conforto térmico, pois os custos de aquisição e manutenção de sistemas de climatização artificial são incompatíveis com o padrão de renda dos usuários. Portanto, a orientação, o tamanho e disposição das aberturas e os materiais constituintes da envoltória devem ser criteriosamente especificados na fase de projeto.

No Brasil, são referências normativas para o projeto habitacional: o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB), estabelecido pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2005) e a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013), que estabelece níveis mínimos de desempenho, regulamentando requisitos e critérios que se aplicam às edificações habitacionais.

O ZBB propõe diretrizes construtivas e estratégias de condicionamento térmico passivo aplicáveis às habitações de interesse social, de acordo com cada contexto climático. Já a NBR 15575 estabelece requisitos para classificar o desempenho térmico das edificações, visando à melhoria da qualidade arquitetônica no setor habitacional, conforme a zona bioclimática definida. O desempenho térmico é estabelecido como uma das exigências do usuário relativas à habitabilidade, assim como o desempenho acústico e lumínico, a funcionalidade e a acessibilidade, entre outros. A norma foi organizada por sistemas da construção (estruturais, pisos, vedações, coberturas e hidrossanitários), apresentando requisitos e critérios de desempenho e métodos de avaliação para cada sistema. São

estabelecidos patamares de desempenho: mínimo, que deve ser obrigatoriamente atingido, intermediário e superior (CBIC, 2013).

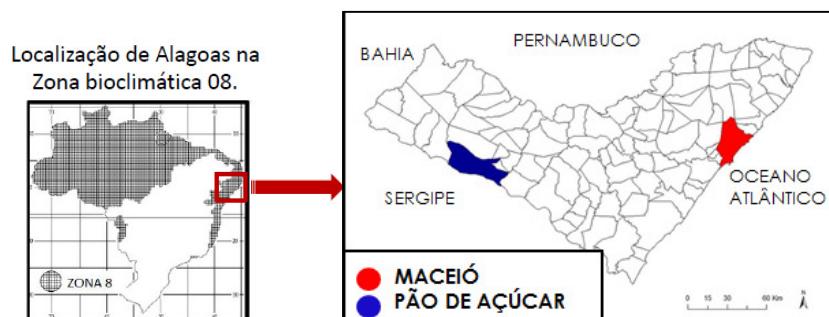
Com relação ao desempenho térmico, a NBR 15575 estabelece procedimentos normativos, baseados em prescrições para as propriedades térmicas das vedações ou simulações computacionais, e o procedimento informativo, baseado em medições *in loco*. Caso a aplicação do procedimento informativo prescritivo resulte em desempenho térmico insatisfatório, deve-se avaliar a unidade habitacional (UH) através de simulação computacional, recomendando-se utilizar o programa EnergyPlus.

De acordo com Sorgato (2009), as simulações computacionais constituem um método eficaz para análise do desempenho térmico de edificações. Com base nas características arquitetônicas (materiais constituintes da envoltória, sistemas de iluminação, condicionamento ambiental e padrões de uso) torna-se possível verificar o desempenho térmico de edificações antes mesmo de serem construídas, visto que a simulação possibilita a estimativa das temperaturas internas dos ambientes e o consumo de energia sob diferentes cenários, com a vantagem do baixo custo.

O presente artigo objetiva avaliar, em diferentes contextos climáticos do estado de Alagoas, o impacto da adequação às prescrições normativas sobre o desempenho térmico de uma UH unifamiliar representativa do PMCMV.

As cidades estudadas são Maceió e Pão de Açúcar. Maceió, capital do estado, encontra-se na mesorregião do leste alagoano com latitude 9,67°S e altitude 64m. Com população estimada de 1.013.773 habitantes em 2015 (IBGE, 2016), possui clima quente e úmido e apresenta temperatura média anual de 24,8°C, variando de 21,6°C a 28,9°C e precipitação anual de 2125 mm (INMET, 1992; RORIZ, 2012). Já Pão de Açúcar localiza-se no Sertão alagoano, com latitude 9,75°S e altitude 19m. Distante da capital 186,69 km, apresenta clima semiárido com temperatura média anual de 27,3°C e precipitação anual de 638 mm (IBGE, 2010; RORIZ, 2012).

Figura 1 – Localização das cidades Maceió e Pão de Açúcar em Alagoas.



Fonte: ABNT, 2005. (Adaptado pelas autoras).

De acordo com o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB), a maior parte do estado de Alagoas está inserida na zona bioclimática 8 (ZB8), com predominância de clima quente úmido em seus 102 municípios. Entretanto,

mesmo inseridos na ZB8, alguns municípios do sertão, como Pão de Açúcar, apresentam clima semiárido, para o qual a principal estratégia recomendada para esta zona, a ventilação cruzada permanente, não se aplica: a cidade apresenta temperaturas médias externas superiores a 32°C (PASSOS, 2009).

Nesse contexto, busca-se avaliar o desempenho de uma UH sob cenários climáticos distintos de um mesmo estado, considerando a influência do comportamento do usuário e as necessidades deste quanto ao conforto térmico. Observa-se que tais aspectos são abordados superficialmente pela NBR 15575, visto que a presença de ocupantes é desconsiderada no procedimento de simulação descrito na norma e que o limite de temperatura interna estabelecido para classificação com nível mínimo de desempenho térmico equivale à temperatura máxima externa do local no dia típico de verão. Trata-se da apresentação de resultados parciais de uma pesquisa de iniciação científica desenvolvida pelo Grupo de Estudos em Conforto Ambiental (GECA) da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFAL (FAU/UFAL), a qual pretende auxiliar na proposição de diretrizes construtivas que possam contribuir com a elaboração de futuros projetos de habitações populares de forma mais adequada e eficiente para cada região.

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a avaliação de desempenho térmico da edificação utiliza o procedimento simplificado estabelecido pela NBR 15575 (ABNT, 2013) e os limites de aceitabilidade para a temperatura operativa de ambientes naturalmente ventilados estabelecidos pela STANDARD 55 (ASHRAE, 2010), aplicados aos resultados de simulações computacionais.

2.1 Caracterização dos modelos computacionais

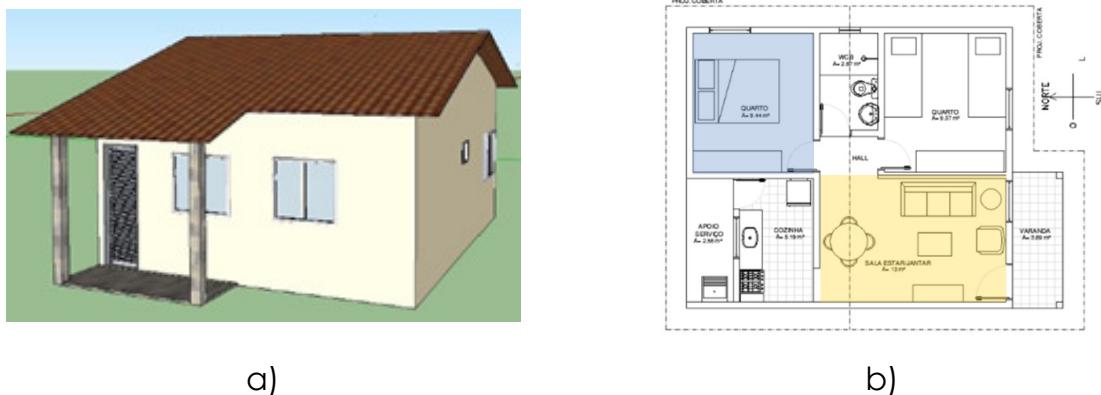
As simulações computacionais foram efetuadas com o software EnergyPlus v.8.2 (DOE, 2014), destinado à análise energética e simulação térmica de edificações. Para tal, utiliza arquivos climáticos para caracterizar as variáveis ambientais do local de estudo². A modelagem geométrica das unidades habitacionais foi realizada no software Sketchup, com o auxílio do plugin Open Studio.

Para esse estudo, foram simuladas duas UHs para cada cidade: um modelo base, em desconformidade à NBR 15.575, e um modelo adaptado, que sofreu modificações na absorção da cobertura e na tipologia das esquadrias, adequando-se as áreas de abertura para ventilação, conforme o procedimento simplificado para avaliação do desempenho térmico (ABNT, 2013).

² Arquivos EPW, compilados por Roriz (2012), corrigidos em 2015 e disponibilizados no site do LABEEE (<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2015>).

O modelo estudado consiste em uma residência unifamiliar, ocupada por quatro pessoas, cujo programa inclui uma sala de estar e jantar, dois quartos, cozinha, área de serviço (externa), circulação, varanda e um banheiro (Figura 2). Este modelo apresenta características construtivas recorrentes em habitações populares no estado, apresentadas no Quadro 1. As mudanças no modelo adaptado ocorreram para satisfazer as exigências da NBR 15.575 (Quadro 2).

Figura 2 - a) Modelo tridimensional do modelo BASE. b) Planta baixa, com destaque para os ambientes avaliados.



Fonte: Adaptado de Torres, 2015.

Quadro 1 - Composição dos modelos.

Estrutura	BASE	Adaptado
Parede	Tijolos 6 furos, massa única rebocada para pintura na cor branca.	
Piso	Cerâmica esmaltada em toda a unidade, com rodapé e desnível máximo de 15 mm.	
Cobertura	Em duas águas com telha cerâmica não esmaltada, com estrutura de madeira.	Em duas águas com telha cerâmica pintada de branco, com estrutura de madeira.
Esquadrias	Janelas de correr. Áreas dos vãos < 8% da área de piso.	Janelas de giro (180º) com venezianas. Área dos vãos > 8% da área de piso.
Forro	Forro de PVC	

Fonte: As autoras.

Quadro 2 - Características da envoltória e recomendações da NBR 15575 para sistemas de paredes e cobertura

Estrutura	BASE	Adaptado	NBR 15.575	
			Zona 8	
Parede	$\alpha = 0,3 - U = 2,59$		Se $\alpha \leq 0,6$, $U \leq 3,7$. Se $\alpha > 0,6$, $U \leq 2,5$.	
	CT = 145		Sem exigência	
Piso	Sem requisitos			
Cobertura	$\alpha = 0,75 - U = 1,75$	$\alpha = 0,3 - U = 1,75$	Se $\alpha \leq 0,4$, $U \leq 2,3$. Se $\alpha > 0,4$, $U \leq 1,5$.	
Esquadrias	$A_{sala} = 3,77\%$ da área de piso $A_{casal} = 5,2\%$ da área de piso	$A_{sala} = 8\%$ da área de piso $A_{casal} = 10,4\%$ da área de piso	$A \geq 8\%$ da área de piso	
α - absorância à radiação solar da superfície externa da estrutura. U - transmitância térmica (W/m^2K). CT - capacidade térmica da estrutura ($kJ/m^2.K$). A - é área mínima de ventilação.				

Fonte: As autoras

2.4 Avaliação de desempenho térmico

Para a ZB8, a NBR 15575 estabelece como requisito de desempenho que as condições térmicas (temperaturas internas) sejam melhores ou iguais às do exterior, à sombra, no dia típico de verão. A norma adota 32,2°C para Maceió e, para Pão de Açúcar, deve-se adotar a temperatura indicada para a cidade mais próxima, com latitude e altitude da mesma ordem de grandeza. Verifica-se que tal abordagem, simplificada, estabelece condições mínimas, insuficientes para assegurar as condições ideais de conforto térmico.

Neste artigo, foram estabelecidos parâmetros de desempenho térmico diferentes do proposto pela norma: o somatório de graus-hora de resfriamento (GHR), que representa a diferença entre a temperatura interna e a temperatura adotada como limite de conforto para o calor, a cada hora, e o percentual de horas de desconforto (SORGATO et al., 2012). Para essa avaliação, foram selecionados dois ambientes de permanência prolongada: a sala de estar/jantar e o quarto de casal.

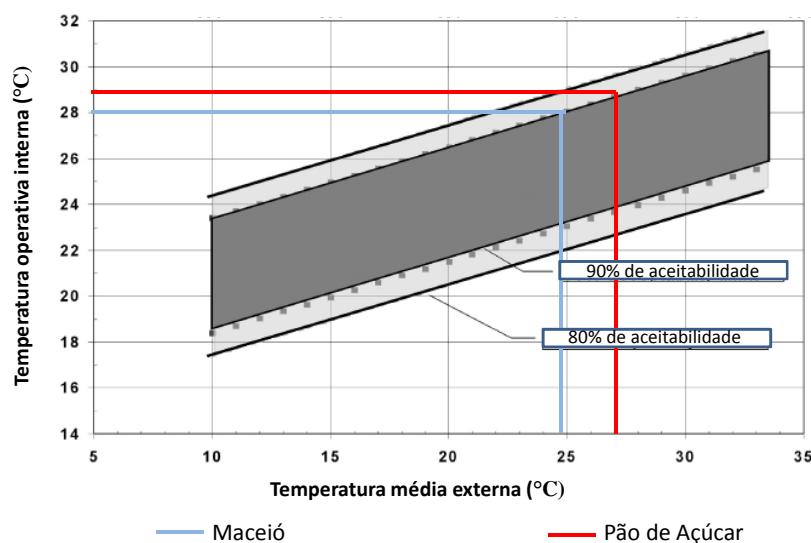
Foi adotada a abordagem adaptativa para estipular as condições de conforto nos ambientes internos. Esta abordagem considera o homem como um agente ativo que interage com o ambiente. Segundo Humphreys (1979, apud LAMBERTS, 2014, p. 10), “(...) A temperatura de conforto não é uma constante, e sim varia de acordo com a estação e temperatura a que as pessoas estão acostumadas.” Não só fatores físicos, mas também fisiológicos e psicológicos são determinantes para a satisfação do conforto térmico do indivíduo.

A norma ASHRAE Standard 55 (2010) apresenta limites de aceitabilidade para a temperatura operativa³ de ambientes naturalmente ventilados,

³ A temperatura operativa representa a temperatura uniforme de um compartimento preto imaginário e o ar no seu interior, em que um ocupante trocaria a mesma quantidade de calor por radiação e

considerando a temperatura média externa local ($T_{ext\text{-média}}$). Adotou-se a temperatura média anual como referência para estabelecer o limite superior da zona de conforto, para um percentual de 90% de aceitabilidade, conforme ilustrado no gráfico 1. O valor da $T_{ext\text{-média}}$ de Maceió foi obtido através da média anual das normais climatológicas de 1961 a 1990 (INMET, 1992): 24,8°C. Já em Pão de Açúcar, utilizou-se a temperatura média compensada, determinada por Passos (2009) para uma série histórica de 10 anos (1997 – 2007): 27,3°C. Assim, os limites de aceitabilidade para o calor em Maceió e Pão de Açúcar foram, respectivamente, 28°C e 28,8°C⁴. Em função desses limites, foram calculados os percentuais de horas de desconforto e os somatórios de GHR de cada cidade, mensais e anuais, para o modelo base e para o modelo adaptado, buscando-se identificar o impacto da adequação às prescrições normativas da NBR 15.575 sobre o desempenho térmico das unidades habitacionais avaliadas.

Gráfico 1 – Limites de aceitabilidade segundo a ASHRAE 55.



Fonte: Adaptado da ASHRAE Standard 55(2010)

convecção como em um ambiente real não uniforme. Matematicamente, é determinada em função da temperatura média do ar e da temperatura radiante média, sendo influenciada também pela velocidade do ar.

⁴ A ASHRAE Standard 55-2013 utiliza a “prevailing mean outdoor temperature” ($T_{ext\text{-média}}$ predominante) como dado de entrada para determinar o limite de conforto para a temperatura operativa interna. Esta temperatura é calculada com base na média diária da temperatura externa para uma sequência de dias, considerando-se um período mínimo de 7 dias e no máximo 30 dias. Neste artigo optou-se por realizar uma avaliação simplificada, utilizando a temperatura média anual de cada cidade, devido à indisponibilidade de séries históricas de dados meteorológicos em base horária para Pão de Açúcar.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são apresentados de forma comparativa entre os modelos adaptados e BASE de cada cidade, destacando o impacto das alterações no desempenho térmico dos ambientes estudados.

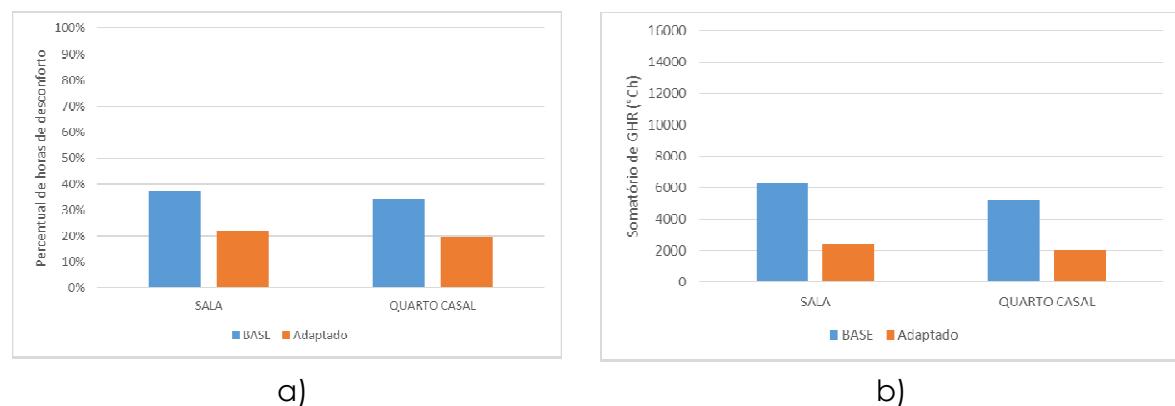
3.1 Maceió

De acordo com o arquivo climático utilizado nas simulações, Maceió apresenta temperaturas médias que variam entre 23,8°C e 26,8°C e umidades relativas do ar variando entre 72,8% e 86,5%. A ventilação predominante no município é a leste, com maior frequência nos meses de setembro e novembro a abril.

Com a adequação à NBR 15.575, tanto a sala quanto o quarto de casal apresentaram reduções no percentual de horas de desconforto e no somatório de GHR em relação ao modelo BASE.

Primeiramente, foi analisado o percentual de horas de desconforto anual em ambos os modelos. No modelo BASE, a sala e o quarto de casal apresentaram percentuais de horas de desconforto de 37,4% e 34,4%, respectivamente; já no modelo adaptado, esses percentuais foram reduzidos para 22% e 19,5% (Gráfico 2a). Quanto aos somatórios de GHR, os dois ambientes apresentaram uma redução superior a 60% no modelo adaptado em relação ao modelo BASE (Gráfico 2b).

Gráfico 2 – a) Percentuais de horas de desconforto e b) somatórios de graus-hora de resfriamento anuais em Maceió.



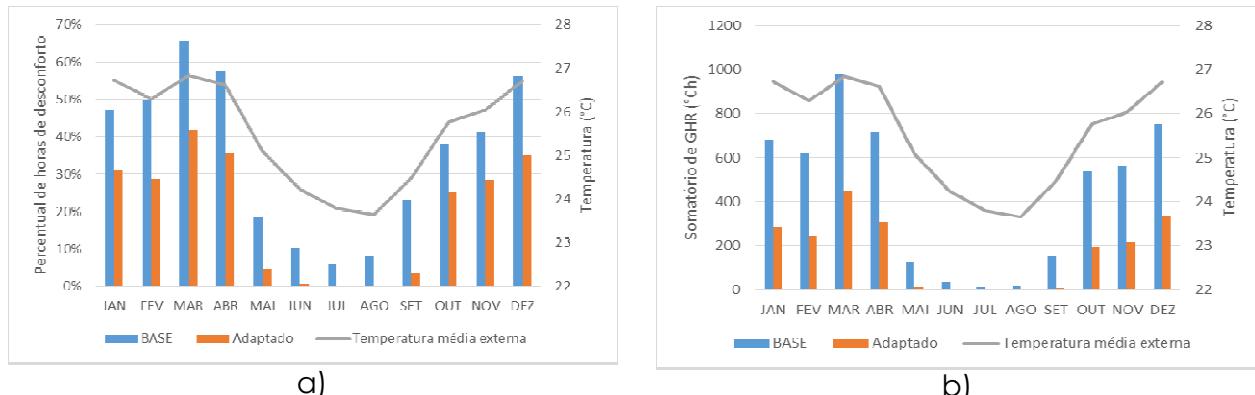
Fonte: As autoras

Os resultados mensais relativos aos somatórios de GHR e percentuais de horas de desconforto variaram proporcionalmente à temperatura média mensal, conforme ilustrado nos gráficos 4 e 5.

Os percentuais de horas de desconforto reduziram-se em até 23,9% no quarto de casal (Gráfico 4a) em março e 21,4% na sala em setembro (Gráfico 5a). Em relação aos somatórios de GHR, no mês mais quente,

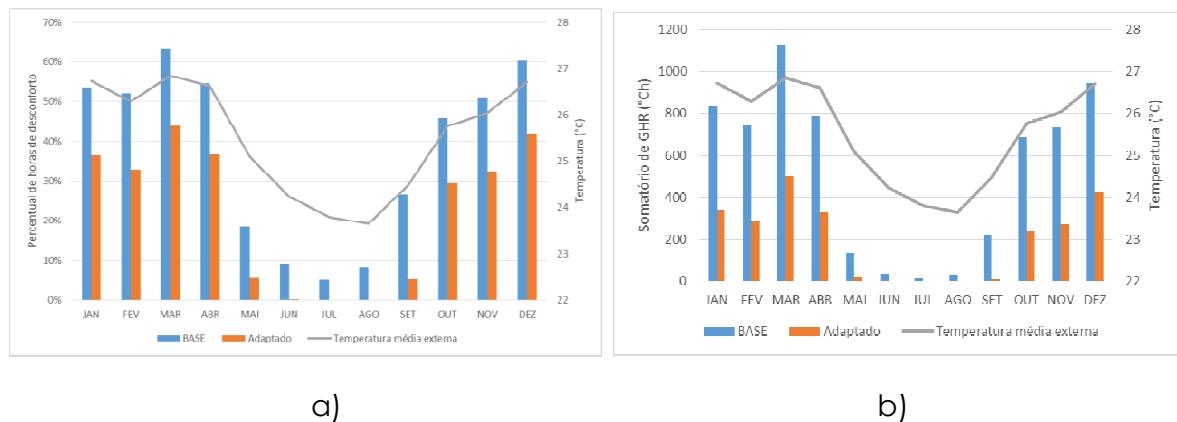
março, observou-se que foram reduzidos em mais da metade no modelo adaptado, tanto na sala (Gráfico 4b) quanto no quarto (Gráfico 5b). Os meses de junho a agosto não apresentaram graus-hora de desconforto nos dois ambientes.

Gráfico 4 – a) Percentuais de horas de desconforto mensais; b) Somatórios de GHR mensais no quarto de casal em Maceió.



Fonte: As autoras

Gráfico 5 – a) Percentuais de horas de desconforto mensais; b) Somatórios de GHR mensais na sala em Maceió.



Fonte: As autoras

Observou-se que as adaptações beneficiaram todos os ambientes, de forma que anulou o desconforto dos usuários nos meses mais frios, reduzindo-o significativamente nos demais meses.

Pode-se observar resultados similares nos dois ambientes. A mudança do tipo de esquadria foi um grande diferencial, pois permitiu a abertura de 100% do vão da janela, favorecendo o aproveitamento da ventilação, principalmente nos meses de maio a agosto, quando ambos os ambientes estão expostos à ventilação sudeste, predominante nesses meses. Na sala, o sombreamento das aberturas, apontada pela NBR 15220-3 como diretriz construtiva para a ZB8, reduz a incidência solar direta. Já a janela do quarto de casal está voltada para leste, que coincide com a incidência predominante dos ventos nos demais meses do ano. Porém, o fato de não

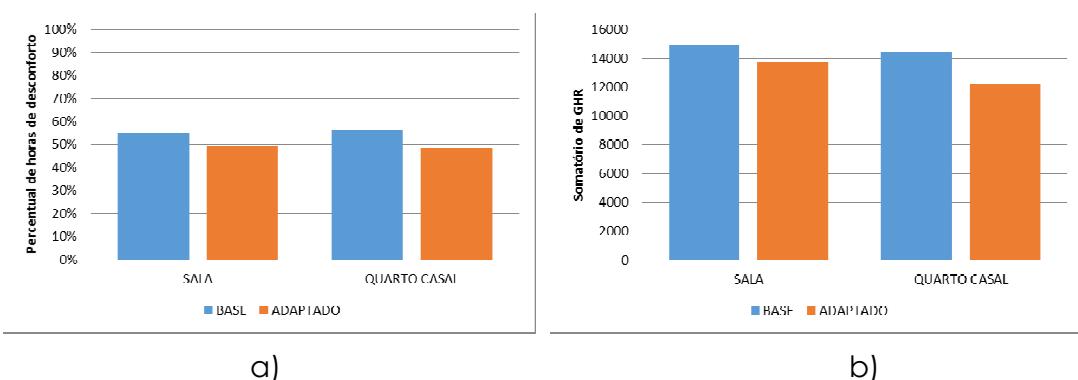
possuir sombreamento adicional além das venezianas representa um maior aporte de calor no período da manhã, desfavorecendo o conforto térmico dos usuários. Deve-se destacar também o impacto do emprego da cor branca na cobertura, pois reduz a absorção da radiação solar, minimizando o ganho de calor e as temperaturas internas da edificação.

3.2 Pão de Açúcar

Após a análise dos dados do arquivo climático utilizado nas simulações, observou-se que Pão de Açúcar apresenta temperaturas que variam entre 24,1°C e 30,0°C e umidades relativas do ar variando entre 55,9% e 83,2%. Tais fatores, somados aos baixos índices de precipitação ao longo do ano, aumentam a sensação de desconforto por calor na cidade. A direção predominante dos ventos é sudeste, que ocorre com maior frequência nos meses de julho a novembro, período com maiores índices de precipitação no município.

O modelo adaptado apresentou melhorias em seu desempenho térmico após a adequação à NBR 15.575. Tanto a sala quanto o quarto de casal apresentaram reduções no percentual de desconforto e no somatório de GHR em relação ao modelo BASE (Gráfico 6).

Gráfico 6 – a) Percentual anual de horas de desconforto; b) Somatório de GHR anuais na cidade de Pão de Açúcar.



O quarto de casal apresentou uma redução de 8% no percentual de horas de desconforto e de 2.300,4 °Ch no somatório de GHR, equivalente a 16%, em relação ao modelo BASE. Como a abertura está voltada para a orientação leste, esse ambiente recebe durante todo o ano a ventilação predominante (sudeste), além de captar os ventos leste e nordeste, que ocorrem com menor frequência na região. Observou-se que após a inserção de esquadrias com venezianas móveis no modelo adaptado, tornou-se possível promover a ventilação seletiva nos períodos do dia em que a temperatura externa fosse inferior a 32°C. Tais fatos associados à mudança na cor da cobertura evidenciam uma redução nos ganhos de calor neste ambiente.

A sala também apresentou melhorias em seu desempenho térmico, porém,

inferiores às reduções de desconforto observadas no quarto de casal. Por possuir uma de suas fachadas orientada a oeste, a sala teve seu desempenho prejudicado pela incidência direta de calor em sua envoltória. Desse modo, apresentou redução de 5% no percentual de desconforto e 1.243,46°Ch, equivalente a 8%, no somatório de GHR (ver gráficos 6a e 6b).

Analizando o desempenho mensal da edificação, constata-se que a sala e o quarto de casal apresentam melhores condições térmicas entre os meses de maio e setembro, por tratar-se de período com os maiores índices de precipitação e menores temperaturas externas, que variam entre 24,1°C e 26°C. Verifica-se o pior desempenho entre os meses de outubro e abril, quando a $T_{ext-média}$ atinge 30,0°C (ver gráficos 7a e 7b).

Percebe-se que as maiores reduções do percentual de horas de desconforto em relação ao modelo BASE ocorreram nos meses de verão: para o quarto de casal, de 13,71%, em dezembro, e para a sala, de 8,74%, em janeiro (gráficos 7a e 8a). As menores reduções ocorreram no mês de junho, durante o período mais frio: para o quarto de casal, 3,47%, e para a sala, 1,11%.

Os valores relacionados ao somatório de GHR reduziram em até 382,91°Ch, equivalente a uma redução de 15% em relação ao modelo base, para o quarto de casal, e em até 217,77°Ch, redução de 8%, para a sala, ambas no mês de março. As menores reduções foram de 25,65°Ch (46%) para o quarto de casal e de 8,08°Ch (21%), para a sala – ambas verificadas no mês de julho (gráficos 7b e 8b). Dessa forma, percebe-se uma maior redução dos valores do somatório de GHR durante o período mais quente do ano e menores reduções no período mais frio.

Gráfico 7- a) percentuais de horas de desconforto mensais; b) somatórios de GHR mensais no quarto de casal em Pão de Açúcar.

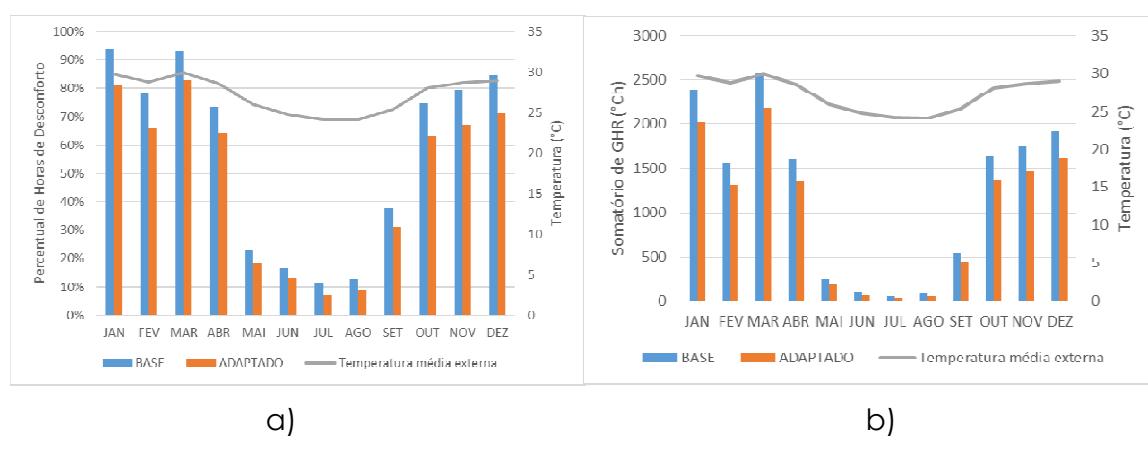
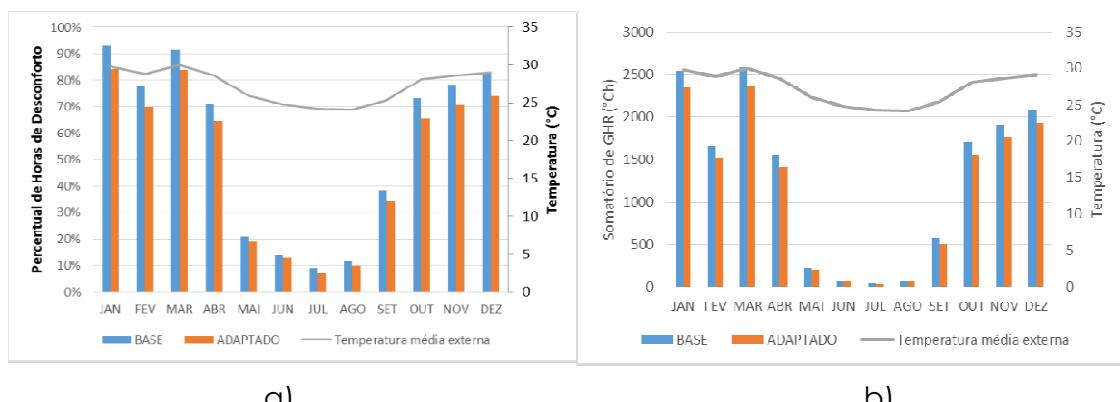


Gráfico 8- a) percentuais de horas de desconforto mensais; b) somatórios de GHR mensais na sala em Pão de Açúcar.



a)

b)

CONCLUSÕES

No âmbito das habitações populares, pode-se observar que o desempenho térmico depende das soluções arquitetônicas adotadas e do comportamento climático da cidade.

Em busca de avaliar o impacto da adequação à NBR 15575 sobre o desempenho térmico, em diferentes contextos climáticos do estado de Alagoas, analisou-se uma unidade habitacional unifamiliar representativa do PMCMV. A norma de desempenho desconsidera a presença de ocupantes e estabelece como critério de classificação para o desempenho mínimo a temperatura máxima do ar exterior no dia típico de verão. Este requisito se mostra insuficiente, pois tal limite não assegura condições de conforto térmico ao usuário, como apresentado no caso de Maceió, em que o limite é de 32,2°C para a temperatura de bulbo seco. Com base em outras abordagens que consideram o princípio adaptativo e as variações do clima ao longo do ano, diferentes limites são adotados para caracterizar a zona de conforto com base na temperatura operativa, alcançando-se valores inferiores a 30°C, segundo ASHRAE 55 (2010). Ao analisar os resultados das simulações com base em critérios fundamentados na abordagem adaptativa de conforto, verificaram-se melhorias no desempenho térmico das UHs em ambas as cidades.

A mudança da tipologia das esquadrias e da absorção da cobertura contribuíram para esse resultado. A associação de estratégias se mostrou eficaz, com destaque para Maceió. Já em Pão de Açúcar, considerando o fato de que a cidade apresenta temperaturas externas que ultrapassam 32°C, faz-se necessário o uso de outras estratégias passivas, como a massa térmica ou resfriamento evaporativo. Apesar de ambas as cidades estarem inseridas na Zona Bioclimática 8, elas possuem características climáticas distintas, necessitando de uma adaptação tanto da norma à realidade climática de cada local, quanto da NBR 15220-3 que definiu o zoneamento bioclimático brasileiro. Verifica-se a necessidade de aperfeiçoamento da NBR 15575, a fim de contemplar adequadamente as particularidades climáticas de cada cidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPQ, UFAL e FAPEAL pela bolsa de iniciação científica concedida ao projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASHRAE STANDARD 55—2010. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, Georgia: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

_____. **NBR 15575**: Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNR NBR 15576/2013**. CBIC. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. 2ed. 308 p.

DEPARTMENT OF ENERGY – DOE. **EnergyPlus**: version 8.2. Disponível em: <<http://www.energyplus.gov/>> Acesso em: 25 nov. 2014

FERREIRA, J. S. W. **Producir casas ou construir cidades? Desafios para um novo Brasil urbano**. São Paulo: FUPAM, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades: Maceió, Alagoas - AL**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=270430>>. Acesso em: 24 fev. 2016

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. 1992. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 24 fev. 2016

PASSOS, Isabela C. da S. **Clima e arquitetura habitacional em Alagoas: estratégias bioclimáticas para Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar**. 2009. 173f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2009.

RORIZ, Maurício. Laboratório em Eficiência Energética em Edificações. **Arquivos climáticos em formato EPW**. Florianópolis, 2012. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/format-epw>>. Acesso em: 25 nov. 2014

SORGATO, Marcio José. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).

Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Florianópolis, SC, 2009. 216 p.

SORGATO, Marcio José; MARINOSKI, Deivis Luis; MELO, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto. **Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública.** Florianópolis: LABEEE, 2012. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/notas_tecnicas/NT_15575_FINAL.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2016.

TORRES, Daniela de A. **Desempenho térmico de habitações populares em Alagoas: alternativas para adequação climática.** 2015. 145f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2015.