

DESEMPENHO TÉRMICO DE RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR PMCMV EM DIFERENTES CIDADES ALAGOANAS

Mayna Lais Tenório de Araújo (1); Gabriele Lucas Barbosa (2); Juliana Oliveira Batista (3)

(1) Bacharel em Arquitetura e Urbanismo, mayna.araujo@fau.ufal.br

(2) Graduada de Arquitetura e Urbanismo, g.lucasbarbosa@gmail.com

(3) Doutora, Professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, FAU/UFAL, juliana.batista@fau.ufal.br
Universidade Federal de Alagoas, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Maceió-AL, 57072-900

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. Este trabalho avalia o desempenho térmico de uma unidade habitacional (UH) unifamiliar representativa do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) em diferentes períodos do dia. Para tal, foram realizadas simulações computacionais com o software EnergyPlus v8.2 de um modelo base para Maceió (litoral), Palmeira dos Índios (agreste) e Pão de Açúcar (sertão) em Alagoas, e um modelo adaptado para Pão de Açúcar, com o emprego da ventilação seletiva (modelo VENT). Foram analisados os parâmetros somatório de graus-hora de resfriamento (GHR), GHR médio e percentual de horas de desconforto em função dos limites de aceitabilidade térmica estabelecidos pela ASHRAE Standard 55. Como resultado, observou-se que no período da tarde a edificação apresenta o pior desempenho térmico nas três cidades, com temperaturas operativas atingindo os 33°C no modelo simulado para Pão de Açúcar, o que demonstrou o pior desempenho térmico ao longo do ano. O melhor desempenho foi observado durante a madrugada, quando as temperaturas externas estão mais baixas, obtendo-se um grau hora médio inferior a 2°Ch em todas as cidades. O modelo VENT apresentou uma redução de até 3% nos percentuais de desconforto nos períodos da noite e da madrugada, enquanto o grau-hora médio sofreu uma redução de até 18% na sala de estar. Com relação à variação horária das temperaturas em um dia típico de verão, o modelo VENT apresentou uma redução de até 6°C em relação ao modelo BASE. Portanto, mesmo com o emprego de componentes construtivos tradicionais (baixa inércia), o emprego da ventilação seletiva resultou na melhoria das condições térmicas internas em todos os ambientes na cidade de Pão de Açúcar, evidenciando o impacto da mudança de orientação das aberturas e do emprego da ventilação seletiva no desempenho térmico de um modelo de habitação popular recorrente no estado de Alagoas.

Palavras-chave: simulação computacional, desempenho térmico, habitação popular, Alagoas.

ABSTRACT

Brazilian social housing is characterized by poor architectural diversity, by the massive architectural production without climate adaptation, resulting in low thermal quality. This paper evaluates the thermal performance of a single detached house (UH) representative of “My House My Life Program” (PMCMV) at different schedules of the day. Thermal simulations were realized by EnergyPlus v8.2 software of a BASE model for Maceió (coastal), Palmeira dos Índios and Pão de Açúcar (westerly), located at Alagoas, and an alternative model was simulated for Pão de Açúcar, characterized by selective ventilation pattern, called VENT model. The thermal performance was analyzed according to three parameters: cooling degree hours (GHR), mean GHR and percentage of discomfort hours, according to the limits of thermal acceptability established by the ASHRAE Standard 55. The results indicated the worst thermal performance in the afternoon hours in the three cities, with internal operative temperatures reaching 33°C in Pão de Açúcar,

which reached the worst thermal performance during the year. The best performance was observed during the dawn, when the external temperatures are lower and the mean cooling degree was lower than 2°C in the three cities. The VENT model obtained a reduction up to 3% in the discomfort percentage during the night and dawn periods, while the average degree-hour obtained a reduction up to 18% in the living room. Regarding the hourly temperature variation on a typical summer day, the VENT model presented a reduction of up to 6 °C in relation to the BASE model. Therefore, even with the use of traditional construction components (low inertia), the use of selective ventilation resulted in the improvement of internal thermal conditions in all rooms in the city of Pão de Açúcar, evidencing the impact of changes in the orientation of openings and of selective ventilation in the thermal performance of a recurrent popular housing model in the state of Alagoas.

Keywords: computer simulation, thermal performance, low income housing, Alagoas.

1. INTRODUÇÃO

O Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB), estabelecido pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005) foi elaborado com o propósito de subdividir o território nacional em zonas relativamente homogêneas em relação ao clima, definindo para cada uma delas diretrizes construtivas e estratégias de condicionamento térmico passivo, aplicáveis a habitações de interesse social.

O Brasil está dividido em 8 zonas bioclimáticas e praticamente todo o estado de Alagoas está compreendido na zona 8, de clima quente e úmido. Porém, cidades como Delmiro Gouveia e Pão de Açúcar apresentam características de clima quente e seco, para o qual as diretrizes construtivas aplicáveis a zona 7 seriam recomendáveis: resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento, ventilação seletiva, vedações externas pesadas e aberturas pequenas e sombreadas (ABNT, 2005).

No âmbito da habitação popular, o emprego de estratégias de condicionamento passivo 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, que possuem renda bruta mensal de até R\$ 1.600,00.

De acordo com Bittencourt e Cândido (2008), a ventilação natural destaca-se como a estratégia de condicionamento térmico passivo mais eficaz para climas quentes e úmidos, pois além proporcionar o resfriamento da edificação, também permite o resfriamento fisiológico. Nas regiões norte e nordeste do Brasil ela apresenta potencial para alcançar condições de conforto térmico com velocidades do ar relativamente baixas (em torno de 1,0m/s). Para o melhor aproveitamento dessa estratégia, recomenda-se que o projeto arquitetônico possua janelas amplas e sombreadas. O uso de venezianas móveis é ideal nesses casos, pois permitem o controle da incidência de luz solar e de ventilação na edificação.

Entretanto, se torna cada vez mais comum a construção de habitações populares em série, onde um mesmo padrão construtivo é implantado em regiões diferentes, sem prévia análise do clima local. O resultado desse descuido com as adequações construtivas aos contextos climáticos são construções com baixa qualidade térmica e ambientes desconfortáveis para os usuários.

O primeiro passo para construir tendo como objetivo uma arquitetura bioclimática é examinar o clima da região, relacionando-o com as necessidades humanas, tirando partido dos pontos favoráveis e solucionando aqueles desfavoráveis (TORRES,2015).

Em sua dissertação, Passos (2009) destaca a importância do monitoramento das variáveis ambientais e da disponibilidade de dados tratados para os projetistas, a fim de proporcionar um melhor desempenho térmico das edificações que vem sendo construídas. O órgão responsável pela coleta e disponibilização dos dados meteorológicos é o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Roriz (2012) utilizou dados do INMET e de outros bancos de dados, compilando-os em arquivos climáticos destinados à simulação computacional termoenergética de edificações.

As simulações computacionais constituem-se em um método eficaz para análise prévia do desempenho térmico de edificações. Por meio de *softwares* como o EnergyPlus (DOE, 2016) torna-se possível representar diferentes cenários em que uma edificação pode ser inserida, a partir da inserção de dados climáticos e de diversos padrões de uso da edificação.

De posse dos resultados de simulações computacionais, pode-se adotar como parâmetros para a avaliação do desempenho térmico o graus-hora de resfriamento (GHR) e o percentual de horas de desconforto. O GHR representa a diferença entre a temperatura interna e a temperatura adotada como limite de conforto para o calor, a cada hora. Ou seja, quantos graus deveriam ser resfriados para retornar à condição de conforto térmico. Assim o somatório de graus-hora representa a quantidade de graus excedentes ao limite adotado, em determinados períodos do ano (SORGATO, 2009). Já o percentual de horas de desconforto

representa a quantidade de vezes em que a temperatura excede o limite de conforto, representando um indicador da frequência de ocorrência de graus-hora de resfriamento.

Nesse contexto, a pesquisa possui importância fundamental, pois possibilita avaliar diversos cenários em diferentes períodos do dia, capazes de representar diferentes condições ambientais e comportamentos do usuário. Além disso, auxilia na proposição de diretrizes construtivas que podem contribuir com a elaboração de futuros projetos de habitações populares de forma mais adequada e eficiente para cada região.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar o desempenho térmico de um modelo de habitação popular recorrente em Alagoas, representativo do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), inserido em diferentes contextos climáticos do estado, considerando seu comportamento em diferentes períodos do dia.

3. MÉTODO

A metodologia utilizada para a avaliação do desempenho térmico de habitações unifamiliares localizadas no Leste, Agreste e Sertão do estado de Alagoas, abrangeu as etapas apresentadas a seguir.

3.1. Escolha das cidades e caracterização climática

Em virtude da localização em realidades climáticas distintas e da disponibilidade de arquivos climáticos, os municípios escolhidos para estudo foram Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar, localizadas nas mesorregiões Leste, Agreste e Sertão alagoano, respectivamente (Figura 1). A caracterização climática utilizou dados climáticos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 1992) e dados obtidos através de revisão de literatura (PASSOS, 2009) (MAIA, 2016). Desse modo, obteve-se uma síntese do comportamento das variáveis climáticas (Quadro 1), assim como recomendações de estratégias bioclimáticas aplicáveis a cada município estudado, obtidas com o auxílio do *software* Analysis Bio (LABEEE, 2016).

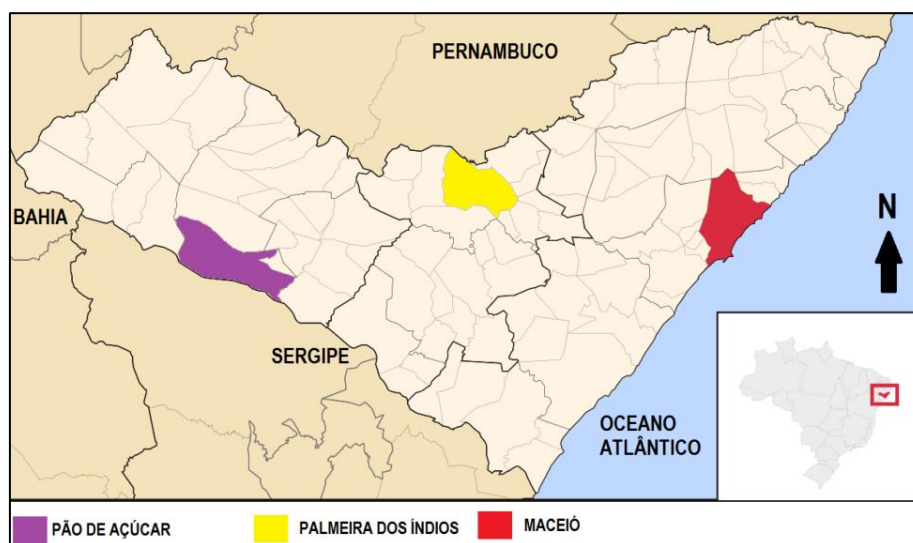


Figura 1 – Localização das cidades selecionadas. Fonte: As autoras.

Quadro 1 – Variáveis climáticas tratadas estatisticamente (série histórica: 1996 – 2007). Fonte: Passos (2009).

| VARIÁVEIS CLIMÁTICAS | CIDADES | | |
|---------------------------------------|--------------|---------------------|---------------|
| | Maceió | Palmeira dos Índios | Pão de Açúcar |
| Temperatura do ar (°C) | 22,9 a 27,9 | 22,1 a 29,0 | 23,6 a 32,6 |
| Amplitude Térmica Máxima Sazonal (°C) | 3,8 | 6,1 | 8,1 |
| Amplitude Térmica Máxima Diária (°C) | 10,2 | 13 | 13,4 |
| Precipitação (mm) | 14,9 a 312,5 | 7,2 a 150 | 13 a 100 |
| Umidade Relativa do ar (%) | 72,7 a 83,1 | 66,6 a 87,6 | 53,6 a 85 |
| Velocidade dos ventos (m/s) | 2,2 a 4,0 | 2,3 a 4,4 | 1,7 a 2,9 |

Maceió, capital de Alagoas, localizada na mesorregião Leste do Estado, se encontra na Zona Bioclimática 8 segundo a NBR 15220-3 (ABNT, 2005). Apresenta clima quente e úmido, com radiação solar intensa e pequenas variações diárias de temperatura. Possui temperatura média anual de 24,8°C, porém pode apresentar temperatura absoluta máxima de até 38°C (INMET, 1992; PASSOS, 2009). Em relação à incidência dos ventos, o vento Leste é predominante na maior parte do ano, conforme as normais climatológicas (INMET, 1992). As maiores velocidades de vento estão associadas à direção Sudeste (4,5 m/s) e Leste (3,93 m/s) (MAIA, 2016). Com relação às estratégias bioclimáticas recomendáveis para Maceió, a ventilação cruzada permanente é uma diretriz indicada pela NBR 15220-3 para o verão. Esta estratégia é adequada para 78,6% das horas do ano, segundo análise realizada como software AnalysisBio.

A cidade de Palmeira dos Índios localiza-se na mesorregião do agreste alagoano e também está inserida na zona bioclimática 8 (ABNT, 2005), apresentando médias anuais de temperatura do ar (25,6 °C) e umidade relativa do ar (77,1%) semelhantes a Maceió, porém com maior amplitude sazonal, com temperaturas mais baixas entre os meses de abril a agosto e mais altas entre setembro a março. A precipitação média é inferior a de Maceió, com maior ocorrência de chuvas no mês de junho. A direção predominante dos ventos também é a leste, com velocidade dos ventos variando entre 2,3 e 4,4 m/s (PASSOS, 2009). As estratégias bioclimáticas aplicáveis nessa região são: ventilação natural, massa térmica e resfriamento evaporativo. Destaca-se a ventilação natural, com 57,2% de aplicabilidade (TORRES, 2015).

Por fim, Pão de Açúcar está localizada na mesorregião do sertão alagoano e apresenta características que enquadram a cidade na zona bioclimática 7. Com clima semiárido, a cidade apresenta a maior amplitude térmica dentre as três cidades estudadas, com temperatura média anual correspondente a 28,1°C e umidades relativas variando entre 53,6% e 85%. Os meses de junho e julho apresentam as menores temperaturas e os meses de novembro a março as temperaturas mais elevadas. A precipitação média varia entre 13 e 100 mm, e apresenta maior ocorrência de chuvas no mês de maio. Em Pão de Açúcar, a direção predominante dos ventos é a sudeste, com velocidades variando entre 1,7 a 2,9m/s (PASSOS, 2009). Embora a ventilação natural seja a principal estratégia bioclimática recomendada para a cidade, com 60,8% de aplicabilidade, deve ser empregada de forma seletiva, de modo a evitar o ganho de calor interno nos períodos do dia em que a temperatura externa exceda os 32°C.

De acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), a ventilação natural é a principal estratégia de condicionamento passivo recomendável para as três cidades. Passos (2009) aprofundou o estudo do clima e obteve recomendações distintas com relação ao emprego da ventilação, recomendando a ventilação diurna entre abril e agosto para ambas as cidades, excluindo-se os meses mais quentes do ano. Já para Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar recomendou a ventilação noturna entre outubro e março, associada ao emprego da massa térmica nos ambientes de uso diurno. No caso de Pão de açúcar, que além de temperaturas mais elevadas apresenta clima semiárido, recomenda-se utilizar aberturas pequenas e sombreadas que diminuam a captação de ventos quentes para o interior das edificações, com a utilização de esquadrias pivotantes e venezianas móveis, a fim de controlar a entrada da ventilação e radiação solar nos ambientes. O uso do resfriamento artificial, apontado para 17,5% das horas anuais segundo análise realizada com o AnalysisBio, se torna inviável para Pão de Açúcar, devido ao custo da energia e da aquisição de condicionadores de ar em habitações de interesse social.

3.2. Modelo de habitação popular unifamiliar – Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV)

O modelo utilizado nas simulações foi adaptado a partir de Torres (2015) com base em uma configuração arquitetônica recorrente do PMCMV representativo de uma residência unifamiliar (Figuras 2 a 4). Com área construída de 51 m², o modelo foi simulado com ocupação por quatro pessoas. As propriedades térmicas dos componentes construtivos encontram-se descritas na Tabela 2. O desempenho térmico da edificação foi analisado considerando a mesma implantação nas 3 cidades, com os quartos posicionados a leste (Figura 3). Desse modo, buscou-se evitar a incidência da radiação solar direta durante o período vespertino nos quartos, minimizando os ganhos de calor para manter o ambiente mais refrescado no período noturno e na madrugada, quando os quartos são ocupados.



Figura 2 – Modelo tridimensional da habitação estudada.

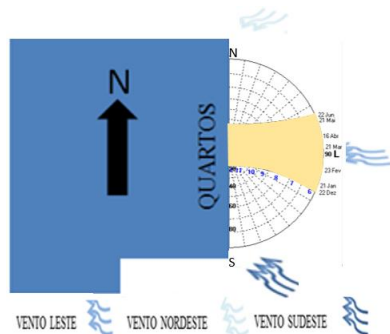


Figura 3 – Implantação simulada para as três cidades.

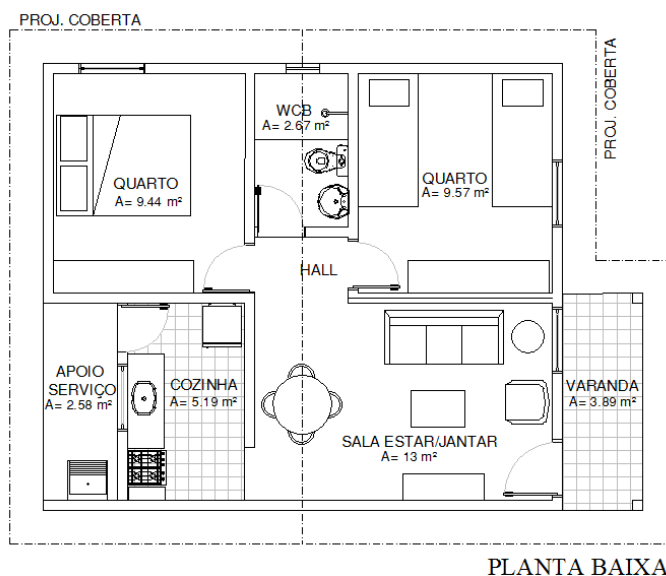


Figura 4 – Planta baixa do modelo estudado.

Fonte: Adaptado de Torres (2015)

Tabela 2 – Padrão construtivo do modelo estudado. Fonte: ABNT, 2005.

| | CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS | PROPRIEDADES TÉRMICAS |
|-------------------|---|---|
| Parede | Tijolo 6 furos, Massa única rebocada para pintura na cor branca | $U = 2,48 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $Ct = 159 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$ $\alpha = 0,3$ $\phi = 3,3 \text{ horas}$ |
| Cobertura | Telha cerâmica não esmaltada, com estrutura de madeira | $U = 1,75 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $Ct = 21 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$ $\alpha = 0,75$ |
| | Forro de PVC | |
| Esquadrias | Janelas de correr em vidro 3 mm | Fator Solar do vidro = 0,8 |
| | Portas de Alumínio e vidro 3 mm | |

3.3. Simulação computacional

O desempenho térmico do modelo de habitação foi avaliado para as três cidades com base em resultados de simulações computacionais efetuadas com o *software* EnergyPlus v.8.2 (DOE, 2014), que utiliza arquivos climáticos¹ para caracterizar as variáveis ambientais do local de estudo. A modelagem geométrica das unidades habitacionais foi realizada no *software* Sketchup, com o auxílio do *plugin* Open Studio.

Buscou-se identificar o impacto do aproveitamento da ventilação natural no desempenho térmico da habitação nos quartos e na sala de estar/jantar. Inicialmente, foi simulado o mesmo padrão de ventilação nas 3 cidades, mantendo-se as janelas dos quartos abertas no intervalo das 7h às 21h durante a semana e entre 9h e 22h no fim de semana. Esses horários foram definidos considerando-se o perfil de ocupação por uma família com 4 integrantes. Dada a recomendação para a restrição da ventilação no período quente, com destaque para Pão de Açúcar, foi simulado também um modelo cujos quartos foram orientados a sudeste, que corresponde à incidência predominante dos ventos na referida cidade. Neste caso, o padrão de uso da

¹ Arquivo EPW, compilados por Roriz (2012), corrigidos em 2015 e disponibilizados no site do LABEEE (<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2015>).

ventilação foi alterado, mantendo-se as janelas fechadas durante o período diurno (até as 16h) entre setembro e março e empregando-se a ventilação noturna (entre 19h e 24h) durante o ano inteiro. Entre os meses de maio e agosto, caracterizados por temperaturas mais amenas, a ventilação foi empregada a partir das 8h.

Os resultados das simulações foram agrupados em função de quatro períodos: manhã (7h às 12h), tarde (13h às 18h), noite (19h às 24h) e madrugada (1h às 6h), a fim de correlacionar o desempenho térmico com os períodos de ocupação dos ambientes. Foram calculados os somatórios de GHR, a média de GHR e os percentuais de horas de desconforto para cada período ao longo do ano. Para definição do limite de conforto, adotou-se como referência o estudo de Torres (2015), que calculou as temperaturas neutras das três cidades e considerou o limite de aceitabilidade de 90% de acordo com a ASHRAE Standard 55 (2010). A autora obteve os seguintes resultados: 28,2°C (Maceió), 28,1°C (Palmeira dos Índios) e 28,8°C (Pão de Açúcar), tendo optado por 28°C como limite de conforto único para as três cidades.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados obtidos nesta pesquisa, referentes aos valores de GHR médio, percentual de horas de desconforto e somatório de GHR, inicialmente para o modelo BASE (quartos orientados a leste) e, na sequência, para o modelo VENT, evidenciando o efeito da ventilação seletiva para a cidade de Pão de Açúcar, caracterizada pelo clima semiárido.

4.1. Modelo Base – Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar

Os resultados das simulações para Maceió encontram-se ilustrados nas figuras 5 e 6. Observa-se que a maior proporção das horas em desconforto está concentrada no período da tarde (até 76% do ano), enquanto menos de 3% destas ocorreram no período da madrugada (Figura 5). Com relação aos graus-horas de calor, destaca-se também o período da tarde como o de maior desconforto, principalmente no quarto de solteiro, cuja janela não está orientada para a incidência predominante da ventilação (Leste). Este ambiente também apresentou maior desconforto durante a noite e a madrugada. No entanto, nesses períodos o grau-hora médio de desconforto por calor foi inferior a 1 °C.

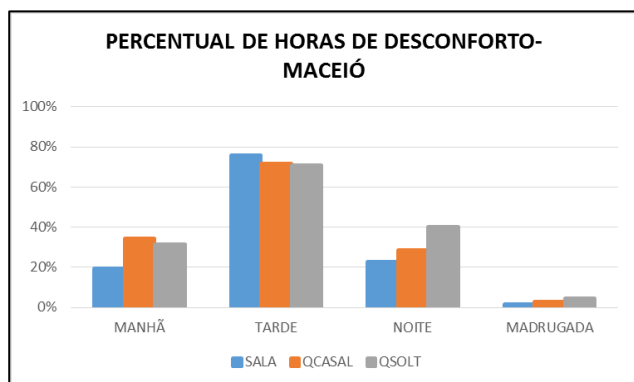


Figura 5 – Percentual de horas de desconforto em Maceió.

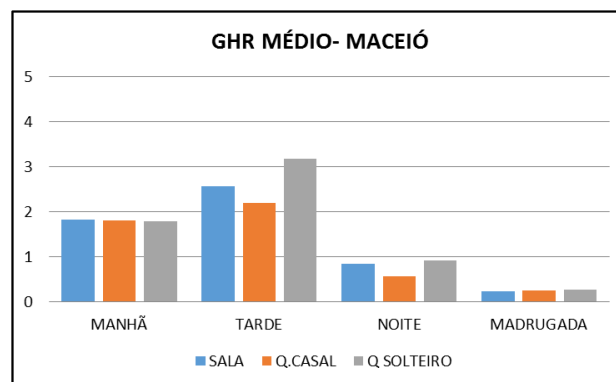


Figura 6 – GHR médio em Maceió.

Fonte: As autoras.

Em Palmeira dos Índios, a habitação simulada apresentou-se ainda mais desconfortável do que em Maceió, também com os maiores percentuais de desconforto verificados no período da tarde (Figura 7), excedendo em mais de 3°C_h o limite de conforto nos 3 ambientes (Figura 8). Novamente o quarto de casal apresentou melhor desempenho, principalmente durante a noite, refletindo a condição mais favorável de exposição à ventilação devido à orientação leste da janela.

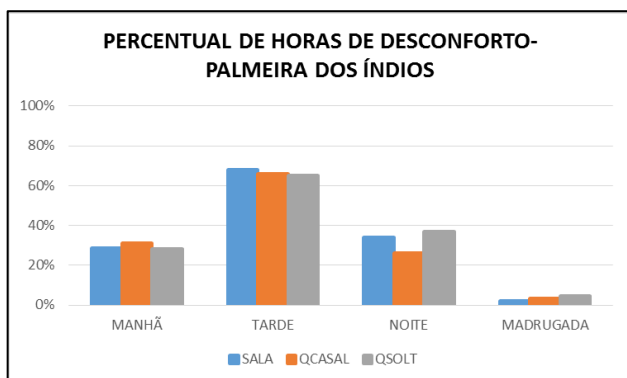


Figura 7 – Percentual de horas de desconforto em Palmeira dos Índios.

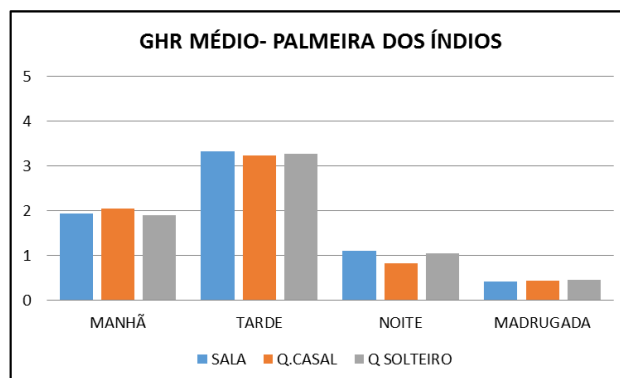


Figura 8 – GHR médio em Palmeira dos Índios.

Fonte: As autoras.

A habitação simulada para Pão de açúcar obteve o pior desempenho térmico, demonstrando a maior inadequação ao clima local. O período da tarde, em quase sua totalidade, apresentou desconforto por calor (Figura 9), alcançando um grau médio de desconforto próximo a 5°C_h nos três ambientes simulados (Figura 10). Mesmo durante a madrugada, quando foram obtidos os menores percentuais de desconforto, o grau-hora médio correspondeu ao dobro daquele obtido nas outras cidades, sendo que em todos os períodos foi verificado desconforto em mais da metade das horas do ano. Verificou-se pouca diferença entre o desempenho dos ambientes em todos os intervalos simulados, independente da orientação das aberturas.

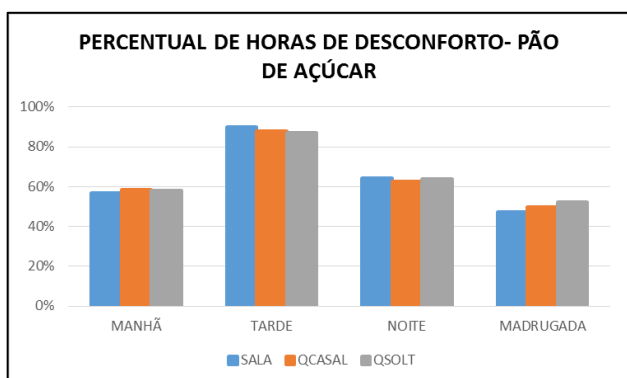


Figura 9 – Percentual de horas de desconforto em Pão de Açúcar.

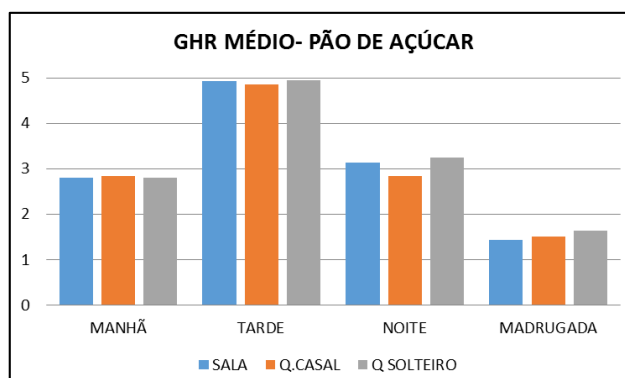


Figura 10 – GHR médio em Pão de Açúcar.

Fonte: As autoras.

Os resultados obtidos pelo modelo BASE evidenciam a necessidade de melhorias no desempenho térmico no modelo de habitação estudado, principalmente em Pão de Açúcar. Visto que nesta cidade o desempenho térmico da habitação foi bastante inferior em comparação com Maceió e Palmeira dos Índios, foi simulado um modelo de habitação cuja orientação foi alterada para captar os ventos predominantes locais (sudeste). Considerando-se que esta cidade possui a maior amplitude térmica e a menor umidade relativa, com a ocorrência de ventos quentes durante o dia, observa-se que a restrição da ventilação no período diurno contribuiria com a redução da temperatura, recomendando-se, porém, o emprego da ventilação noturna, quando a temperatura externa alcança valores mais baixos, favorecendo o conforto dos usuários. O emprego da massa térmica para resfriamento também representa uma alternativa adequada para o clima local, porém optou-se por investigar neste artigo apenas o efeito da ventilação seletiva, pelo fato de ser uma medida que não acarreta no acréscimo de custos para a construção, ao contrário do uso de paredes duplas para obter maior inércia construtiva. Os resultados referentes a este modelo alternativo são apresentados a seguir.

4.2. Modelo com ventilação seletiva – Pão de Açúcar

Aqui é discutido o efeito do emprego da ventilação seletiva na habitação simulada em Pão de açúcar, que teve a orientação dos quartos alterada para receber a ventilação sudeste, predominante no local, a fim de

potencializar o desempenho térmico dos ambientes, com destaque para os quartos. As figuras 12 e 13 apresentam os resultados obtidos para o percentual de horas de desconforto e grau-hora médio de desconforto por calor, respectivamente, comparando-se o modelo BASE e o modelo com ventilação seletiva (VENT).

Observando-se os resultados anuais, verifica-se que houve redução nos percentuais de horas de desconforto (Figura 12) e nos graus-hora médios (Figura 13), com destaque para os quartos. Com o emprego da ventilação noturna, os percentuais de horas de desconforto sofreram uma redução de até 3% nos períodos da noite e da madrugada, enquanto o grau-hora médio sofreu uma redução de até 18% na sala de estar.

Verifica-se que há necessidade de incorporar maior inércia construtiva, pois mesmo com a restrição à ventilação durante o período diurno os percentuais de desconforto alcançados durante a manhã e a tarde continuaram elevados. Entretanto, analisando-se a variação horária das temperaturas internas nos dois modelos simulados em Pão de Açúcar durante o verão, evidencia-se o impacto do emprego da ventilação seletiva.

A Figura 14 ilustra a variação das temperaturas ocorrida no dia 15/03, um dia típico de verão, cuja temperatura externa variou entre 24,4°C e 32°C. Tanto o modelo BASE quanto o modelo VENT apresentaram temperaturas superiores ao limite de conforto de 28°C, porém o modelo VENT apresentou desempenho satisfatório durante o período de emprego da ventilação noturna, já a partir das 19h, assim como no período da manhã, quando as janelas foram mantidas fechadas. Além disso, a temperatura máxima alcançada no modelo VENT apresentou uma redução de 6°C em relação ao modelo BASE.

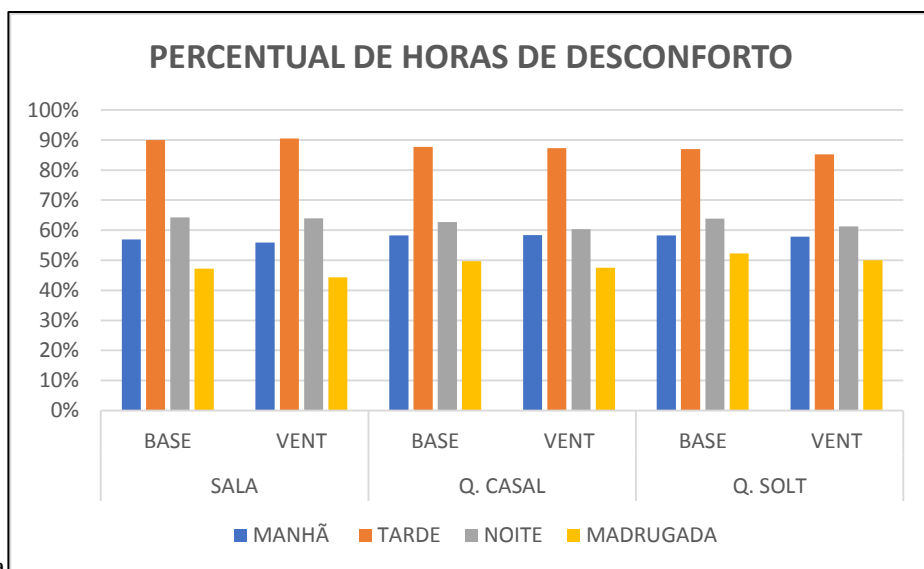


Figura 12 – Percentual de horas de desconforto dos modelos BASE e VENT em Pão de Açúcar. Fonte: As autoras.

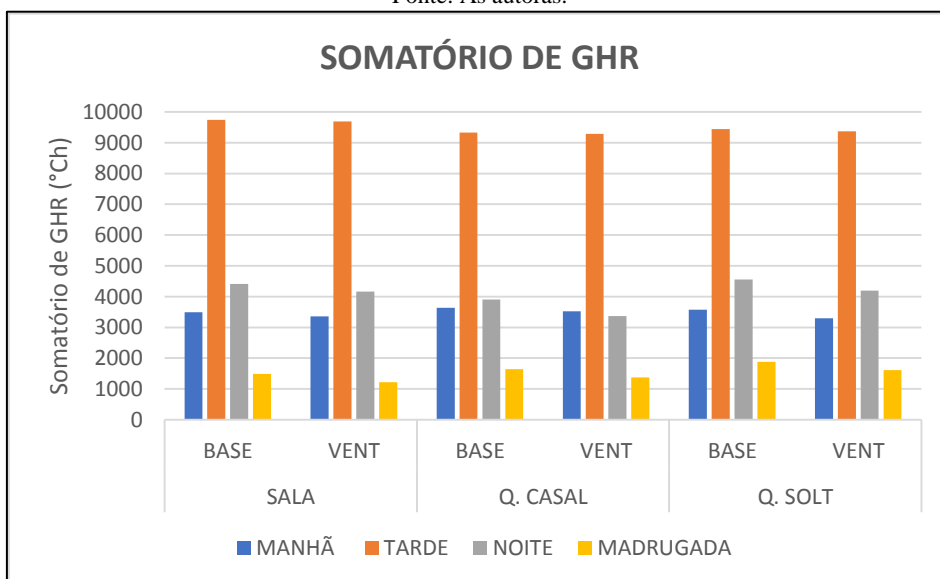


Figura 13 – Somatório de GHR dos modelos BASE e VENT em Pão de Açúcar.

Fonte: As autoras.

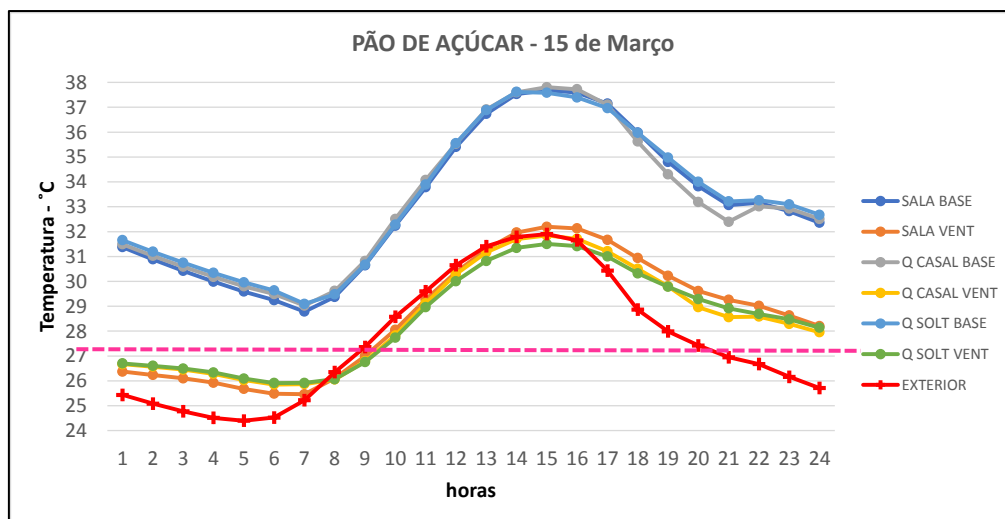


Figura 14 – Variação das temperaturas internas no dia 15/03 (verão), modelos BASE e VENT em Pão de Açúcar.
Fonte: As autoras.

5. CONCLUSÕES

Após análises feitas acerca do desempenho térmico da edificação estudada, pôde-se constatar o impacto da mudança de orientação das aberturas e do emprego da ventilação seletiva no desempenho térmico de um modelo de habitação popular recorrente no estado de Alagoas.

O melhor desempenho térmico da habitação avaliada foi observado nas cidades com temperaturas mais baixas e umidades relativas mais altas, nesse caso, Maceió e Palmeira dos Índios. Já o pior desempenho térmico foi observado em Pão de Açúcar, tendo sido verificado desconforto térmico praticamente em todas as horas do ano correspondentes ao intervalo da tarde (13h às 18h). Observou-se que para esta cidade o modelo de habitação deve incorporar maior inércia térmica nos ambientes de uso diurno, a fim de potencializar o atraso e o amortecimento térmico, com restrição à ventilação durante a manhã e a tarde e com incremento na ventilação noturna. No entanto, mesmo com o emprego de componentes construtivos tradicionais (baixa inércia), observou-se que o emprego da ventilação seletiva resultou na melhoria das condições térmicas internas em todos os ambientes, alcançando-se reduções de 3°C a 6°C ao longo de um dia de verão no modelo VENT em relação ao modelo BASE.

Desse modo, esta pesquisa contribui para futuros projetos de habitações populares no estado de Alagoas, pois por meio da observação do comportamento térmico da edificação ao longo do dia, em diferentes cidades, se possibilita a adoção das estratégias de condicionamento passivo aplicáveis a cada situação, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida dos usuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- ASHRAE STANDARD 55-2010. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, Georgia: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2010.
- BITTENCOURT, Leonardo S.; CÂNDIDO, Christhina. **Introdução à Ventilação Natural**. Maceió: EDUFAL, 2008. 3ed.
- DOE – U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. EnergyPlus: version 8.2. Disponível em: <<http://www.energyplus.gov/>> Acesso em: 25 nov. 2014
- 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
- MAIA, Ruany Gomes Xavier. **Padrões de escoamento do vento na região metropolitana de Maceió**. 2016. 173f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia: Programa de Pós-Graduação em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 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/fornat-epw>>. Acesso em: 25 nov. 2014
- SORGATO, M. J. **Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares Ventiladas Naturalmente**. Florianópolis, SC. 2009. 216 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- TORRES, Daniela de A. **Desempenho térmico de habitações populares em Alagoas**: alternativas para adequação climática. Maceió, AL. 2015. 145 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2015.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao CNPq, UFAL e FAPEAL pela bolsa de iniciação científica concedida ao projeto de pesquisa.