XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

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

SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO TÉRMICO DE MORADIAS DO PMCMV EM DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS QUANTO AOS ASPECTOS DE IMPLANTAÇÃO, MATERIALIDADE E SOMBREAMENTO DE ABERTURAS[1]

DÖRFLER, Marianna (1); KRÜGER, Eduardo (2)

(1) TU Kaiserslautern, e-mail: mariannadoerfler@gmx.net; (2) UTFPR, e-mail: ekruger@utfpr.edu.br

RESUMO

O artigo analisa por meio de simulações termoenergéticas potenciais de melhoria no desempenho térmico de um projeto-base (tipologia habitacional térrea, construída conforme a planta padrão divulgada pela Caixa Econômica Federal) do PMCMV. São simuladas no programa EnergyPlus variações de implantação/orientação solar, materialidade e sombreamento de aberturas do projeto-base supondo quatro das oito zonas bioclimáticas brasileiras (ZB1, ZB3, ZB7, ZB8), analisando-se os resultados em termos de demanda energética estimada em climatização artificial (resfriamento e/ou aquecimento). Excluíram-se deliberadamente simulações de ventilação natural da pesquisa, uma vez que uma inadequada implantação do conjunto habitacional poderia gerar impacto significativo na disponibilidade de movimentos de ar para a ventilação interna. No total, testaram-se: oito variações de orientação solar da moradia, com ou sem o reposicionamento do telhado de duas águas; reposicionamento das janelas de três ambientes internos; duas variações de espessura de paredes e piso, com e sem aumento da espessura do emboço externo; e três variações da extensão dos elementos de sombreamento das janelas. Os resultados mostraram as alterações mais promissoras nas variáveis estudadas para cada ZB.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Habitação popular. Simulação termo-energética.

ABSTRACT

The article evaluates by means of thermal-energy simulations potential improvements of the thermal performance of a base-project (single-storey housing typology, built according to the standard plan from Caixa Econômica Federal) of the Brazilian PMCMV. Simulations in EnergyPlus encompassed variations in solar orientation, building materials and shading design in four of the eight Brazilian bioclimatic zones (ZB1, ZB3, ZB7, ZB8). Results are assessed in terms of estimated energy demand for artificial air conditioning (annual cooling and / or heating loads). We have deliberately excluded natural ventilation simulations in this study, since inadequate site planning would potentially generate significant impacts on the availability of air flow within buildings for cross ventilation to be made possible. In total, eight configurations of solar orientation were tested, with or without the roof (overhang) repositioning; repositioning of three windows; two configurations of wall and floor thicknesses, thickness of the external plaster; and three different configurations of the window shading elements. Results showed the most promising strategies for each ZB evaluated.

---

[1] DÖRFLER, Marianna; KRÜGER, Eduardo. Simulações de desempenho térmico de moradias do PMCMV em diferentes zonas bioclimáticas quanto aos aspectos de implantação, materialidade e sombreamento de aberturas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Thermal performance. Social housing. Thermal-energy simulations.*

1 INTRODUÇÃO

Segundo a concepção de desenvolvimento através da liberdade elaborada por Amartya Sen (SEN, 2011), o acesso à moradia é visto como condição para a promoção das liberdades dos indivíduos e, consequentemente, para o desenvolvimento do país.

Em julho de 2009 com a Lei nº 11.977 (Brasil, 2009), implantou-se o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV), cujo objetivo principal é facilitar a aquisição da casa própria pelas famílias com renda mensal entre zero e dez salários mínimos, sobretudo por aquelas localizadas nas periferias das grandes cidades. Para isso, o governo federal delegou à Caixa Econômica Federal (CEF) a gestão operacional do programa e dos seus recursos (D´AMICO, 2011).

A formulação de metodologias de avaliação de sistemas construtivos para a habitação social tem como objetivo a busca de soluções eficientes para esse tipo de habitação. O PMCMV, como em diversas experiências anteriores com programas extensivos de habitação de interesse social, vem sendo implementado em todo o território nacional de forma padronizada, sem haver uma preocupação com especificidades regionais. Assim, uma mesma tipologia de projeto e o mesmo sistema construtivo são adotados em cidades com características climáticas muito distintas, sendo desconsiderada a grande diversidade sócio-econômica, cultural, climática e tecnológica entre as diferentes regiões do Brasil, o que resulta em construções de baixa qualidade construtiva que não atendem às necessidades de seus usuários. Neste quadro, a avaliação do desempenho térmico das construções assume grande importância. Embora normas brasileiras como a NBR 15220 (ABNT, 2005) e a NBR 15575 (ABNT, 2013) proponham, por exemplo, a consideração de valores limite para propriedades termofísicas da envoltória, a avaliação pormenorizada de fatores de projeto e de estratégias de condicionamento passivo da edificação por meio de otimização da envoltória não é, em geral, aplicada no projeto e construção de moradias populares.

Moradias do PMCMV avaliadas por diversos autores mostram inadequação térmica e padronização de soluções, com atendimento sofrível às normas existentes (BORGES, 2013; MORENO, 2013; DANTAS; BARBIRATO, 2015), independentemente da localidade onde se procederam às avaliações. Aponta-se recorrentemente para a necessidade de se avaliar a propor soluções de melhoria para a habitação social, especificamente aquelas advindas do PMCMV. Pesquisa anterior dos autores teve como enfoque o papel da implantação de uma moradia no lote nos níveis de conforto, expressos como demanda de energia por aquecimento para a Zona Bioclimática 1, caso Curitiba (DÖRFLER; KRÜGER, 2014).

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar potenciais de melhoria no desempenho térmico de um projeto-base (tipologia habitacional térrea de um pavimento, construída conforme a planta padrão divulgada pela Caixa Econômica Federal) do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV).

3 MÉTODO

O estudo trata de uma análise sobre as estratégias passivas e energéticas para a otimização do conforto ambiental e gasto energético da arquitetura residencial do Brasil. Foram realizadas simulações termo-energéticas com o software EnergyPlus a partir de arquivos formato EPW - EnergyPlus Weather File (U.S., 2011). Como resultados, o obtiveram-se dados de saída relativos a temperatura interna em cada zona térmica pré-definida pelo usuário, assim como as necessidades de energia para aquecimento e resfriamento em função de setpoints pré-definidos, e as trocas de calor relevantes pelos elementos da envoltória. Os dados de temperatura do solo, necessários para as simulações, foram obtidos do programa TRNSYS no formato climático EPW.

Por meio do EnergyPlus, analisaram-se variações de implantação/orientação solar, materialidade e sombreamento de aberturas do projeto-base do PMCMV supondo quatro das oito zonas bioclimáticas brasileiras (ZB1, ZB3, ZB7, ZB8). O projeto-base considerado baseia-se no catálogo descritivo da CEF, com 21 variações construtivas possíveis e aprovadas pelo SINAT (Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores) para a moradia popular, tendo-se adotado a variante 'construção cerâmica'. A edificação consiste de paredes com tijolos cerâmicos de seis furos, assentados na menor dimensão, com reboco interno e externo, cobertura de telhas cerâmicas sem forro; as janelas são de alumínio com vidro simples de 3mm e as portas externas são metálicas. O caso-base possui baixa absortância solar para cobertura e paredes: 0,3 e 0,2, respectivamente.

Os resultados foram analisados em termos de demanda energética estimada de climatização artificial (resfriamento e/ou aquecimento). Excluíram-se deliberadamente simulações de ventilação natural da pesquisa, uma vez que uma inadequada implantação do conjunto habitacional poderia gerar impacto significativo na disponibilidade de movimentos de ar para a ventilação interna.

O sistema utilizado foi o "*Purchased Air*", um sistema virtual simplificado (sendo 100% eficiente, sem consumo de energia), o qual proporciona a carga térmica necessária para se atingir a temperatura de controle/setpoint a cada hora, adicionando (aquecimento) ou retirando (resfriamento) carga térmica do ambiente. Assumiu-se uma ocupação de uma família de quatro pessoas, com utilização de equipamentos, informados como carga térmica (valores em Watts) (BARBOSA, 1997).

As cidades analisadas pertencem a quatro zonas bioclimáticas, conforme definidas no Zoneamento Bioclimático brasileiro. A escolha das cidades foi

baseada em critérios envolvendo o déficit habitacional existente (www.fjp.mg.gov.br/), a densidade construtiva característica e a representatividade de cada Zona Bioclimática (ZB) no território segundo a norma NBR 15220 (ABNT 2005). As 4 ZBs representam de uma forma geral as distinções existentes no Brasil de climas quente-seco, quente-úmido, temperado e temperado com inverno frio. As cidades analisadas são apresentadas na Tabela 1.

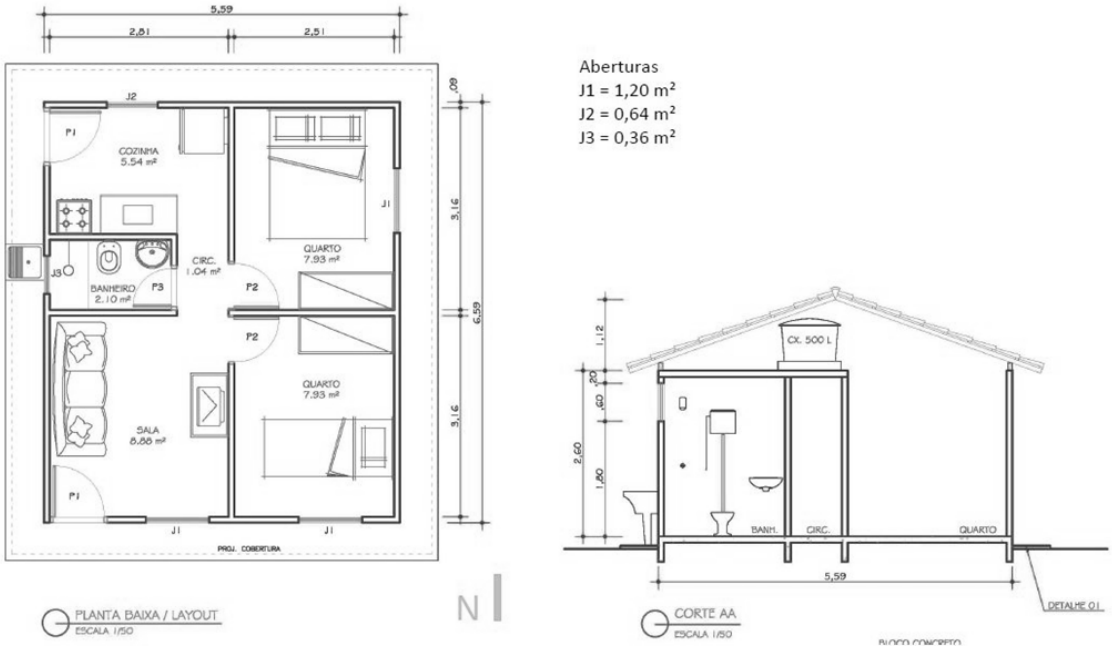
Tabela 1: Cidades e ZBs analisadas

Cidade/ZB	Localização geográfica	Condições climáticas	Tipo climático (Koeppen)
Curitiba PR/ZB1	Latitude: 25º 25' 40" S Longitude: 49º 16' 23" W Altitude: 934m	temperado com inverno frio	Cfb
São Paulo SP/ZB3	Latitude: 23º 32' 51" S Longitude: 46º 38' 10" W Altitude: 760m	temperado	Cfb
Picos PI/ZB7	Latitude: 07º 04' 37" S Longitude: 41º 28' 01" W Altitude: 206m	quente seco	Aw
Recife PE/ZB8	Latitude: 08º 03' 14" S Longitude: 34º 52' 52" W Altitude: 4m	quente úmido	As

Para as 4 ZBs definidas para análise, segundo a NBR15220 (ABNT 2005), e em termos de transmitância térmica, a parede empregada só não se adequa à zona 7 e a cobertura não adequa à nenhuma zona bioclimática. O atraso térmico obtido é adequado, tanto das paredes quanto da cobertura, às zonas ZB1, ZB3 e ZB8 e o fator solar para elementos opacos é adequado a todas as ZBs para ambos os elementos da edificação.

A edificação analisada tem como planta padrão de acordo com as diretrizes dadas pela CAIXA (CEF, 2006). Possui área total construída de 38,4 m² contendo sala de estar, dormitório para casal e dormitório para duas pessoas, cozinha, área de serviço (externa), área de circulação e banheiro, como se observa na Figura 1.

Figura 1: Planta Padrão Casa Popular da CAIXA



Fonte: CEF (2006)

O enfoque metodológico adotado neste trabalho compreendeu simulações termo-energéticas da edificação para as seguintes configurações:

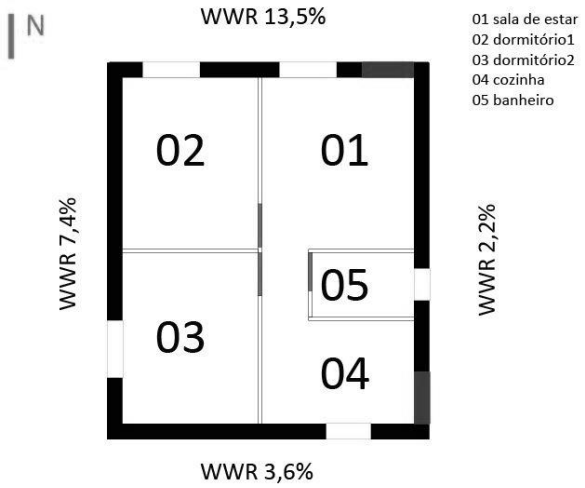
1) Rotações consecutivas da edificação para cada variação de 45°, analisando-se a influência da implantação da edificação;
2) Reposicionamento do telhado em 90°, para as 8 orientações possíveis da edificação, conforme o item 1;
3) Reposicionamento/realocação das aberturas em 3 ambientes da planta-base, para as 8 orientações possíveis da edificação;
4) Variações da espessura das paredes externas e da laje de piso (15cm e 20cm), para as 8 orientações possíveis da edificação;
5) Variações do elemento de sombreamento (beiral) das aberturas (25cm, 50cm, 100cm), para as 8 orientações possíveis da edificação;
6) Variações da espessura do revestimento externo (2cm e 4cm), para as 8 orientações possíveis da edificação.

Os resultados são interpretados em termos de valores obtidos de demanda anual para aquecimento e/ou resfriamento, considerando temperaturas-base de 19°C e de 25°C, respectivamente. O limite inferior é um meio termo do valor inicial da zona de conforto para verão e inverno, sob condições não-ventiladas, segundo Givoni (1992), adotado em razão de se testarem localidades com situações climáticas diferenciadas. O limite inferior representa também a condição mínima de temperatura para climas de baixa umidade (Zona D da NBR 15220). O limite superior representa o início de desconforto por calor para condições de alta umidade (Zona E da NBR 15220).

4 RESULTADOS

A orientação básica da residência (fachada referência) foi adotada pelo critério de maior valor da relação WWR (*window-to-wall-ratio*) de cada fachada, segundo o projeto original (Figura 1), para a orientação Norte. Em linhas gerais, têm-se 5 zonas térmicas na edificação. Os resultados agrupados são apresentados por ZB analisada.

Figura 2: Planta Padrão Casa Popular da CEF



Fonte: Autores (2014)

4.1 Zona Bioclimática 1 (ZB1)

Para a ZB1, a carga de climatização para as temperaturas de setpoint adotadas refere-se apenas à necessidade de aquecimento. A Tabela 2 apresenta os dados de demanda por aquecimento (em kWh/(m².a)), obtidos por estratégia estudada, considerando-se as possibilidades distintas de orientação da fachada referência para Curitiba PR.

As últimas duas colunas à direita mostram o percentual de redução na demanda anual para aquecimento tanto em relação ao máximo consumo observado (situação inicial, sem emprego de qualquer estratégia, com uma demanda de 352,38 kWh/(m².a)) como para o caso-base, com fachada referência voltada para uma orientação cardeal norte. Nota-se que, no rol de estratégias adotadas, as maiores reduções de consumo se verificam para o aumento da inércia térmica da edificação, mais especificamente da inércia interna, com a espessura da laje de piso sendo aumentada em 15cm e 20cm. As demais estratégias não alcançam mudanças significativas no consumo da edificação. A variação anual na demanda por aquecimento foi de 268,83 a 353,76 kWh/(m².a).

Tabela 2: Demanda de aquecimento anual conforme obtida pelo programa EnergyPlus considerando uma temperatura de set-point de 19°C para aquecimento, valores em kWh/(m².a) – ZB1 (Curitiba PR)

Estratégia	Orientação da fachada referência								Variação percentual máxima	Variação percentual em relação ao caso-base
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°		
Variações na implantação	345,11	343,24	344,03	347,17	350,32	352,38	351,69	348,94	3%	1%
Reposicionamento do telhado em 90°	345,11	343,14	343,63	346,98	350,32	352,28	351,40	348,75	3%	1%
Realocação das aberturas na zona térmica 1	345,90	344,72	345,11	347,37	349,63	351,20	350,42	348,35	2%	0%
Realocação das aberturas na zona térmica 2	346,68	344,03	343,34	345,50	348,94	352,09	352,38	350,32	3%	1%
Realocação das aberturas na zona térmica 3	345,80	344,62	345,50	347,86	349,63	350,91	350,42	348,65	2%	0%
Espessura das paredes externas = 15cm	344,52	342,75	343,83	347,07	350,42	352,38	351,50	348,35	3%	1%
Espessura das paredes externas = 20cm	345,70	343,93	345,31	348,65	351,99	353,76	352,78	349,43	2%	0%
Espessura da laje de piso = 15cm	300,58	299,01	299,80	303,04	305,99	307,95	307,17	304,42	15%	13%
Espessura da laje de piso = 20cm	270,21	268,83	269,62	272,86	275,62	277,58	276,60	273,94	24%	22%
Beiral de 25cm	344,52	342,85	343,44	346,58	349,63	351,69	350,91	348,16	3%	1%
Beiral de 50cm	344,52	342,85	343,44	346,58	349,63	351,69	350,91	348,16	3%	1%
Beiral de 100cm	344,52	342,85	347,17	347,17	350,32	352,38	351,30	348,16	3%	1%
Espessura do revestimento externo = 2cm	343,83	341,96	342,85	346,19	349,43	351,50	350,71	347,76	3%	1%
Espessura do revestimento externo = 4cm	343,34	341,47	342,55	345,90	349,24	351,20	350,42	347,27	3%	1%

4.2 Zona Bioclimática 3 (ZB3)

Para São Paulo SP, localizada na ZB3, há uma necessidade anual de aquecimento e de resfriamento para que se alcancem níveis de conforto adequados no ambiente interno. Ressalte-se, entretanto, que para essa localidade há uma necessidade anual de aquecimento cerca de 10 vezes maior que a de resfriamento dos ambientes internos. A Tabela 3 apresenta os dados resumidos da demanda por aquecimento e de resfriamento anual (em kWh/(m².a)), obtidos por estratégia estudada, para São Paulo SP. Apresentam-se os percentuais de redução na demanda anual em relação ao máximo consumo observado (situação inicial, sem emprego de qualquer estratégia), e em relação ao caso-base, com fachada referência voltada para uma orientação cardeal norte, mostrando-se também a faixa de variação em termos de demanda por climatização artificial.

Tabela 3: Demanda de aquecimento/resfriamento anual conforme obtida pelo programa EnergyPlus considerando uma temperatura de set-point de 19°C/25°C para aquecimento/resfriamento, valores em kWh/(m².a) – ZB3 (São Paulo SP)

Estratégia	Aquecimento anual				Resfriamento anual			
	Variação percentual máxima	Variação percentual em relação ao caso-base	Demanda mínima	Demanda máxima	Variação percentual máxima	Variação percentual em relação ao caso-base	Demanda mínima	Demanda máxima
Variações na implantação	4%	0%	78,54	81,68	14%	11%	6,29	7,27
Reposicionamento do telhado em 90°	4%	1%	78,44	81,58	14%	11%	6,29	7,27
Realocação das aberturas na zona térmica 1	3%	0%	79,03	81,29	12%	10%	6,39	7,18
Realocação das aberturas na zona térmica 2	4%	0%	78,54	81,58	14%	11%	6,29	7,27
Realocação das aberturas na zona térmica 3	3%	0%	78,93	81,09	12%	10%	6,39	7,18
Espessura das paredes externas = 15cm	9%	6%	74,21	77,85	38%	36%	4,52	5,21
Espessura das paredes externas = 20cm	12%	9%	71,75	75,49	53%	51%	3,44	3,93
Espessura da laje de piso = 15cm	9%	6%	74,51	77,65	3%	0%	7,08	8,16
Espessura da laje de piso = 20cm	12%	9%	71,56	74,70	-7%	-10%	7,77	8,94
Beiral de 25cm	4%	1%	78,44	81,49	14%	11%	6,29	7,27
Beiral de 50cm	4%	1%	78,44	81,49	14%	11%	6,29	7,27
Beiral de 100cm	4%	1%	78,44	81,68	14%	11%	6,29	7,27
Espessura do revestimento externo = 2cm	7%	4%	76,08	79,42	27%	25%	5,31	6,09
Espessura do revestimento externo = 4cm	9%	6%	74,21	77,75	36%	35%	4,62	5,21
Variação máxima na demanda anual			*71,56*	*81,88*			*3,44*	*8,94*

Para a ZB3, as reduções percentuais na demanda por aquecimento (cerca de 80 kWh/(m².a), em média) por meio das estratégias testadas não foram tão significativas como aquelas encontradas na redução da demanda por resfriamento (média situada em torno de 7 kWh/(m².a)). Na comparação de benefícios em termos de demanda energética, porém, nota-se que um aumento na massa térmica do piso é vantajoso no quesito redução da demanda por aquecimento, com queda correspondente de 10 kWh/(m².a), mesmo que em contrapartida haja um aumento de 7% na demanda por resfriamento (o que corresponderia a um acréscimo de apenas 0,5 kWh/(m².a) na carga anual).

4.3 Zona Bioclimática 7 (ZB7)

Para Picos PI (ZB7), não há necessidade de aquecimento. A Tabela 4 apresenta os dados resumidos da demanda por resfriamento anual (em kWh/(m².a)), obtidos por estratégia estudada, para essa localidade. Apresentam-se os percentuais de redução na demanda anual em relação ao máximo consumo observado (situação inicial, sem emprego de qualquer estratégia), e em relação ao caso-base, com fachada referência voltada para uma orientação cardeal norte, mostrando-se também a faixa de variação em termos de demanda por climatização artificial.

Tabela 4: Demanda de resfriamento anual conforme obtida pelo programa EnergyPlus considerando uma temperatura de set-point de 25°C para resfriamento, valores em kWh/(m².a) – ZB7 (Picos PI)

Estratégia	Variação percentual máxima	Variação percentual em relação ao caso-base	Demanda mínima	Demanda máxima
Variações na implantação	2%	1%	159,92	162,48
Reposicionamento do telhado em 90°	1%	1%	160,12	162,68
Realocação das aberturas na zona térmica 1	1%	1%	160,22	162,58
Realocação das aberturas na zona térmica 2	1%	1%	160,22	162,77
Realocação das aberturas na zona térmica 3	1%	1%	160,12	162,97
Espessura das paredes externas = 15cm	7%	7%	151,18	154,42
Espessura das paredes externas = 20cm	11%	10%	145,38	149,41
Espessura da laje de piso = 15cm	0%	-1%	163,17	165,62
Espessura da laje de piso = 20cm	-2%	-2%	165,72	167,89
Beiral de 25cm	1%	1%	160,22	161,99
Beiral de 50cm	1%	1%	160,22	161,99
Beiral de 100cm	1%	1%	160,51	162,09
Espessura do revestimento externo = 2cm	4%	4%	155,30	159,33
Espessura do revestimento externo = 4cm	6%	5%	153,34	155,50
Variação máxima na demanda anual			*145,38*	*167,89*

Para ZB7 (Picos PI), alcançou-se uma redução máxima na demanda por resfriamento (em torno de 160 kWh/(m².a)) de 10% com o aumento da espessura das paredes externas. O acréscimo na espessura do revestimento externo também apontou resultados positivos; possivelmente a união das duas estratégias (aumento da espessura de parede+revestimento externo) seja indicada para Picos. As demais estratégias apresentaram baixo desempenho ou até mesmo levaram a um aumento na demanda energética anual para climatização artificial, como foi o caso do aumento da inércia térmica do piso.

4.4 Zona Bioclimática 8 (ZB8)

Como em Picos PI (ZB7) não há necessidade de aquecimento em Recife PE (ZB8). A Tabela 5 apresenta os dados resumidos da demanda por resfriamento anual (em kWh/(m².a)), obtidos por estratégia estudada, para essa localidade. Apresentam-se os percentuais de redução na demanda anual em relação ao máximo consumo observado (situação inicial, sem emprego de qualquer estratégia), e em relação ao caso-base, com fachada referência voltada para uma orientação cardeal norte, mostrando-se também a faixa de variação em termos de demanda por climatização artificial.

Para Recife, observa-se o benefício termo-energético do aumento das espessuras das paredes e do revestimento externo, tal como em Picos PI, porém com resultados mais significativos em termos percentuais. Considerando-se, porém, diferenças na variação da demanda anual entre as duas localidades, o benefício em termos de demanda por energia elétrica é equivalente: em Picos PI, a opção pelo aumento da espessura das

paredes para 20cm, embora corresponda a uma queda na demanda anual de 10% em relação ao caso-base, trouxe o equivalente de 16,71 kWh/(m².a)) de redução na demanda energética; em Recife PE, a redução percentual para a mesma estratégia foi de 15%, porém a queda equivalente na demanda foi de 14,84 kWh/(m².a))

Tabela 5: Demanda de resfriamento anual conforme obtida pelo programa EnergyPlus considerando uma temperatura de set-point de 25°C para resfriamento, valores em kWh/(m².a) – ZB8 (Recife PE)

Estratégia	Variação percentual máxima	Variação percentual em relação ao caso-base	Demanda mínima	Demanda máxima
Variações na implantação	3%	2%	99,47	102,13
Reposicionamento do telhado em 90°	3%	2%	99,47	102,13
Realocação das aberturas na zona térmica 1	3%	2%	99,37	101,83
Realocação das aberturas na zona térmica 2	3%	2%	98,88	101,83
Realocação das aberturas na zona térmica 3	3%	2%	99,18	102,13
Espessura das paredes externas = 15cm	10%	9%	91,71	94,46
Espessura das paredes externas = 20cm	15%	15%	86,30	89,35
Espessura da laje de piso = 15cm	-4%	-5%	106,35	109,50
Espessura da laje de piso = 20cm	-9%	-10%	111,37	115,10
Beiral de 25cm	3%	2%	99,28	101,83
Beiral de 50cm	3%	2%	99,28	101,83
Beiral de 100cm	3%	2%	99,47	101,83
Espessura do revestimento externo = 2cm	6%	5%	95,74	98,39
Espessura do revestimento externo = 4cm	9%	8%	92,69	95,44
Variação máxima na demanda anual			*86,30*	*115,10*

4.5 Síntese dos resultados

Os quadros a seguir apresentam de forma geral e indicativa, os potenciais de melhoria (M) ou piora (P) dos níveis de conforto interno face às estratégias aplicadas, considerando-se também a implantação da edificação, para aquecimento (Quadro 1) e para resfriamento (Quadro 2).

Quadro 1: Potenciais de melhoria ou piora na demanda por aquecimento anual para as 4 ZBs, considerando diferentes orientações solares da edificação

Estratégia	ZB1 (aquecimento)								ZB3 (aquecimento)							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Reposicionamento do telhado em 90°	M	M	M	M	M	M	M	M	P	M	M	M	P	M	M	M
Realocação das aberturas na zona térmica 1	P	P	P	P	M	M	M	M	P	P	P	P	M	M	M	M
Realocação das aberturas na zona térmica 2	P	P	M	M	M	M	P	P	P	P	M	M	M	M	P	P
Realocação das aberturas na zona térmica 3	P	P	P	P	M	M	M	M	P	P	P	P	M	M	M	M
Espessura das paredes externas = 15cm	M	M	M	M	P	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Espessura das paredes externas = 20cm	P	P	P	P	P	P	P	P	M	M	M	M	M	M	M	M
Espessura da laje de piso = 15cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Espessura da laje de piso = 20cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Beiral de 25cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Beiral de 50cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Beiral de 100cm	M	M	P	M	M	M	M	M	M	M	P	M	M	M	M	M
Espessura do revestimento externo = 2cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Espessura do revestimento externo = 4cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M

Quadro 2: Potenciais de melhoria ou piora na demanda por resfriamento anual para as 4 ZBs, considerando diferentes orientações solares da edificação

Estratégia	ZB3 (resfriamento)								ZB7 (resfriamento)								ZB8 (resfriamento)							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Reposicionamento do telhado em 90°	P	M	M	M	P	M	M	M	P	P	P	M	P	M	M	M	P	M	M	M	P	M	M	P
Realocação das aberturas na zona térmica 1	P	M	M	M	P	P	M	M	P	M	P	P	P	P	M	M	P	M	M	P	P	P	M	M
Realocação das aberturas na zona térmica 2	P	M	M	M	P	M	M	M	P	M	P	P	P	M	M	M	P	M	M	P	P	M	M	M
Realocação das aberturas na zona térmica 3	M	M	M	M	M	P	P	P	M	M	P	M	M	P	P	P	M	M	P	M	M	P	P	M
Espessura das paredes externas = 15cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Espessura das paredes externas = 20cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Espessura da laje de piso = 15cm	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Espessura da laje de piso = 20cm	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Beiral de 25cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	P	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Beiral de 50cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	P	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Beiral de 100cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	P	M	M	M	M	M	M	M	M	P	M	M	M	M
Espessura do revestimento externo = 2cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Espessura do revestimento externo = 4cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apontou reduções na demanda energética em função da aplicação de algumas estratégias aplicadas ao projeto original, tal como veiculado pela CEF (projeto padrão PMCMV), para 4 zonas bioclimáticas brasileiras. A partir dos resultados, pode-se ter uma ideia inicial de quais estratégias poderiam alcançar maior eficiência energética, caso se utilizasse climatização artificial. Entretanto, em termos de saturação, a quantidade de residências populares que dispõem de equipamentos de climatização ainda é baixa no Brasil. Desta forma, os resultados apresentados podem ser interpretados como indicadores de potenciais de melhoria térmica quanto aos níveis de conforto interno das diversas estratégias analisadas.

Os quadros apresentados poderão nortear tanto a implantação da edificação como também a opção conjunta de alguma estratégia de projeto. Porém, há que se considerar ainda a efetividade do benefício termo-energético de uma dada estratégia, conforme apresentado na discussão de cada ZB. Os quadros indicativos e as tabelas detalhadas podem também auxiliar na definição de estratégias a serem adotadas e de seu potencial quando da implantação de uma moradia no lote (DÖRFLER; KRÜGER, 2014). Desta forma, pode-se fazer uma crítica à padronização de moradias a serem implantadas em um mesmo loteamento, as quais poderiam variar segundo a orientação das vias/fachadas.

Das 4 cidades analisadas, nota-se uma maior demanda anual para climatização artificial para Curitiba PR, seguida pelas duas cidades localizadas nas zonas bioclimáticas 7 e 8, e, por fim, São Paulo SP. Levando-se em conta as temperaturas de set-point adotadas, 19°C e 25°C, para aquecimento e resfriamento, respectivamente, nota-se uma semelhança nesse ordenamento quando se compara o rigor climático dessas cidades em termos do somatório de graus-hora anuais para climatização artificial. Goulart et al. (1998) apontam, para os respectivos anos climáticos, uma demanda anual de aquecimento de 25999,6 graus-hora para Curitiba PR (para Tb=18°C), de 12413,9 para Recife PE (resfriamento, com Tb=25°C), e de

12889,1 (aquecimento) e 747,9 (resfriamento) para São Paulo SP. Embora a Tb de aquecimento seja inferior ao patamar adotado nas simulações para cálculo da demanda anual por aquecimento, é evidente que a cidade de Curitiba PR apresenta maiores desafios para o projetista no uso de estratégias de melhoria.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Rio de Janeiro: ABNT 2013.

BARBOSA, M.J. Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares. Tese (Doutorado em Engenharia), UFSC, 1997.

BORGES, R.M. Análise de desempenho térmico e acústico de unidades habitacionais construídas no conjunto habitacional Benjamin José Cardoso em Viçosa-MG. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFV, 2013.

BRASIL. Lei n.o 11.977, de 7 de Julho 2009. Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l11977.htm>

CEF GIDUR/VT. Cadernos CAIXA Projeto padrão casas populares, 2006. Disponível em: http://downloads.caixa.gov.br/_arquivos/banco_projetos/projetos_his/casa_42m2.pdf

D´AMICO, Fabiano. O Programa Minha Casa, Minha Vida e a Caixa Econômica Federal. Centro Celso Furtado, 2011. Disponível em: http://centrocelsofurtado.com.br/arquivos/image/201109261251530.LivroCAIXA_T_0_033.pdf

DANTAS, C.; BARBIRATO, G. Avaliação do desempenho térmico e conforto térmico dos usuários em empreendimentos residenciais horizontais do Programa Minha Casa Minha Vida em Maceió AL. In: Anais do 15º Ergodesign & Usihc [=Blucher Design Proceedings, vol. 2, num. 1]. São Paulo: Blucher, 2015.

DÖRFLER, M.; KRÜGER, E. Avaliação dos impactos termo-energéticos da orientação solar em Habitação de Interesse Social na zona bioclimática 01. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2014. p. 489.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. Energy and Buildings, v. 18, p.11-23, 1992.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras. Universidade Federal de

Santa Catarina, Núcleo de Pesquisa em Construção, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 1998.

MORENO, A.C.R. Minha Casa Minha Vida: análise de desempenho térmico pela NBR 15.220-3, NBR 15.575, Selo Casa Azul e RTQ-R. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável), UFMG, 2013.

MORI, F.; KRÜGER, E.L. Análise da eficiência energética da envoltória de um projeto padrão de uma agência bancária em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. Ambiente Construído (Online), v. 12, p. 89-106, 2012.

SEN, A. A ideia de justiça. Editora Companhia das Letras, 2011.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. EnergyPlus Energy Simulation Software: Weather Data. 2011. Disponível em: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm.