



XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DA ENVOLTÓRIA EM HABITAÇÕES MULTIFAMILIARES DE INTERESSE SOCIAL DE JOINVILLE/SC

Jayne Garcia (1); Ana Mirthes Hackenberg (2); Elisa Henning (3); Janine Garcia (4)

(1) Engenheira Civil, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, jaynegarcia00@gmail.com

(2) Dra., Professora do Departamento de Engenharia Civil, ana.hackenberg@udesc.br

(3) Dra., Professora do Departamento de Matemática, elisa.henning@udesc.br

(4) Engenheira Civil, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, janinegarcia01@gmail.com

Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Joinville-SC, 89219-710, Tel.: (47) 3481-7949

RESUMO

O Programa Minha Casa Minha Vida tem sido alvo de diversas críticas devido à baixa qualidade da construção e desempenho térmico das habitações sociais. Nesse sentido, torna-se necessária a análise do comportamento termoenergético dessas habitações, considerando as particularidades do clima local e os parâmetros construtivos da edificação. Tendo isso em vista, o objetivo do estudo foi analisar o desempenho termoenergético da envoltória em habitações multifamiliares de interesse social de Joinville/SC. A análise foi realizada pelo método de simulação da proposta de revisão do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). A primeira etapa do estudo abrangeu uma análise descritiva das características geométricas e construtivas das habitações sociais, na qual foi determinado o intervalo de confiança de 95% para as variáveis quantitativas. No caso das variáveis qualitativas, considerou-se a moda do conjunto de dados. De acordo com esses critérios, foi definido um modelo representativo das habitações para uso em simulação computacional. Na etapa seguinte, foram realizadas as simulações no programa EnergyPlus, utilizando o arquivo climático de Joinville. Por fim, determinou-se o nível de eficiência energética da envoltória, considerando os fatores orientação (0°, 90°, 180° e 270°) e exposição (térreo, intermediário e cobertura). Dessa forma, os níveis de eficiência energética obtidos foram "C" e "D", evidenciando o baixo desempenho termoenergético das habitações analisadas.

Palavras-chave: Habitação de interesse social. Desempenho termoenergético. RTQ-R

ABSTRACT

My House My Life program has been the target of criticism due to social housing quality and thermal performance. Therefore, it is necessary to analyze thermal and energy performance of these dwellings, considering particularities of the local climate and constructive parameters of the building. This study aims to analyze the thermal performance of the envelope in multi-family social housing of Joinville/SC. The analysis was performed through simulation method of the Technical Quality Regulation for Energy Efficiency Level of Residential Buildings (RTQ-R in portuguese). A descriptive analysis of the geometric and constructive characteristics of social housing was the first stage of the study, in which a confidence interval for the quantitative variables was determined. For the qualitative variables, it was considered the mode of the data set. Thus, a representative model of the social housing was defined to be used in computer simulation. The simulations were performed in EnergyPlus program, using the weather file of Joinville. In the end, the level of energy efficiency of the envelope was determined, considering the orientation (0°, 90°, 180° and 270°) and exposure (ground, intermediate and top floor). The energy efficiency levels obtained were "C" and "D", demonstrating low thermal and energy performance of the low-income buildings analyzed.

Keywords: Social housing. Thermal performance. RTQ-R.

1. INTRODUÇÃO

Em 2009, o governo federal criou o Programa Minha Casa Minha Vida – PMCMV a fim de facilitar o acesso à moradia, especialmente entre a população de baixa renda (BRASIL, 2009). Não obstante, o alto déficit habitacional ainda persiste no país.

De acordo com o estudo da Fundação João Pinheiro, o déficit habitacional brasileiro superou 6 milhões de moradias no ano de 2014, com um aumento de 4,7% em 2015. A carência por moradias é ainda mais expressiva entre as famílias com renda mensal inferior a 3 salários mínimos (consideradas de baixa renda), representando 83,9% do déficit registrado em 2014.

Outro fator importante é que a provisão de habitações pelo PMCMV teve uma redução significativa devido à recente crise econômica (TUBELO et al., 2018). Além disso, os resultados do programa não são satisfatórios sob o ponto de vista qualitativo, uma vez que o mesmo padrão de construção vem sendo reproduzido em larga escala no território nacional, sem considerar as características climáticas locais (ALMEIDA, 2014). Alguns autores afirmam ainda que a maioria dos projetos de Habitação de Interesse Social – HIS prioriza somente os custos iniciais, desprezando o desempenho térmico da edificação a longo prazo (KOWALTOWSKI; GRANJA, 2011; TRIANA MONTES, 2016).

Nesse contexto, tendo em vista o impacto da habitação social no Brasil, a descontinuidade do PMCMV e a necessidade de melhorar a qualidade das HIS, torna-se indispensável a análise do desempenho térmico dessas habitações. Tal análise pode ser realizada por meio do RTQ-R⁸, no qual são estabelecidos métodos e requisitos técnicos para classificação da eficiência energética de edificações residenciais. Para as edificações unifamiliares e unidades habitacionais autônomas, são analisados o desempenho térmico da envoltória e sistema de aquecimento de água, sendo que o nível de eficiência pode ser determinado mediante dois métodos: prescritivo ou de simulação. No RTQ-R, ambos os sistemas individuais e a classificação geral variam do nível A “mais eficiente” a E “menos eficiente” (BRASIL, 2012).

Apesar de considerar os parâmetros construtivos da edificação e as particularidades do clima local, o RTQ-R vigente possui certas limitações. Em virtude disso, foi elaborada uma nova proposta para a avaliação do desempenho energético de edificações, a qual encontra-se descrita na Instrução Normativa Inmetro para Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – INI-R (INMETRO, 2018).

Alguns estudos foram desenvolvidos com o intuito de avaliar a eficiência energética de habitações sociais no Brasil, a partir da aplicação do RTQ-R. Nesses estudos, foram analisadas HIS unifamiliares e multifamiliares, considerando diferentes regiões do país (LIMA; PEDRINI; ALVES, 2012; ALMEIDA *et al.*, 2013; FAGUNDES, 2014; TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2015; MORENO; MORAIS; SOUZA, 2017; CECHINEL, 2017; DALBEM *et al.*, 2019).

No entanto, nenhuma das pesquisas citadas anteriormente considera especificamente o clima de Joinville e a INI-R, constituindo o diferencial da presente pesquisa. Com base no exposto, a pesquisa irá contribuir no aprimoramento da revisão do regulamento, devido ao fato de ser relativamente nova, bem como auxiliar na formulação da base de uma política habitacional efetiva.

2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo analisar o desempenho termoenergético da envoltória em habitações multifamiliares de interesse social de Joinville/SC pelo método de simulação do RTQ-R, com base no modelo representativo dessas habitações.

3. MÉTODO

O método adotado no estudo compreendeu três etapas principais:

- 1) Definição de um modelo representativo das habitações de interesse social de Joinville para uso em simulação;
- 2) Configurações da simulação computacional, conforme as especificações do método de simulação do RTQ-R;
- 3) Determinação do nível de eficiência energética da envoltória para os diferentes casos simulados.

⁸ Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R.

3.1. Definição de um modelo representativo

Nesta etapa, realizou-se a coleta de dados de cinco habitações de interesse social. Ressalta-se que foram analisadas todas as HIS multifamiliares do município de Joinville (Figura 1). As características físicas e construtivas de cada habitação foram obtidas através do projeto arquitetônico e memorial descritivo, fornecidos pela Caixa Econômica Federal.

Desse modo, na definição do modelo representativo, foram consideradas:

- Variáveis quantitativas - área dos ambientes, área total da UH e percentual de abertura para ventilação;
- Variáveis qualitativas - tipologia das aberturas e composição da envoltória.



Figura 1 – Localização das habitações de interesse social em Joinville

Para as variáveis quantitativas, realizou-se uma análise descritiva dos dados e verificou-se a normalidade por meio do teste de Shapiro-Wilk. Em seguida, caso a suposição fosse aceita, foram determinados os intervalos de confiança de 95% para a média pela distribuição t de Student. No caso das variáveis qualitativas, considerou-se a moda do conjunto de dados.

Na análise estatística em questão, foi utilizado o programa R versão 3.5.1, com interface RStudio. Cabe destacar que a metodologia descrita acima foi aplicada nos estudos de Schaefer et al. (2012) e Triana, Lamberts e Sassi (2015) considerando amostras pequenas, tal como na presente pesquisa.

Por fim, o modelo representativo foi definido de forma que atendessem aos intervalos de confiança, bem como às características das aberturas e envoltória mais frequentes. Outro critério considerado foi a NBR 9050 (ABNT, 2015), visto que o projeto da unidade habitacional representativa deveria atender às exigências da norma de acessibilidade.

3.2. Configurações da simulação computacional

Essa etapa do estudo foi realizada pelo método de simulação, utilizando o programa *EnergyPlus* versão 8.9.0, que atende aos requisitos estabelecidos na INI-R. É importante salientar que o método de simulação da INI-R aplica-se somente à envoltória da edificação. No caso de edificações multifamiliares, devem ser analisados os ambientes de permanência prolongada (APPs) das unidades habitacionais autônomas (UHs).

Nas simulações termoenergéticas, foi utilizado o único arquivo climático elaborado para o município de Joinville, disponível na plataforma <<http://climate.onebuilding.org/default.html>>. O arquivo climático é do tipo TMY (sigla para *Typical Meteorological Year*), com dados de 2010 a 2017, obtidos por meio de uma estação meteorológica localizada no aeroporto do município.

Primeiramente, realizou-se a modelagem geométrica da unidade habitacional representativa no programa *SketchUp* 2017, com o auxílio da ferramenta *Euclid* 0.9.3. Os demais parâmetros de entrada da simulação foram inseridos no próprio *EnergyPlus*.

O contato com o solo foi modelado através da inserção das temperaturas médias mensais do solo para uma profundidade de 0,5m, obtidas com base no arquivo climático de Joinville.

Na sequência, foram definidas as propriedades térmicas dos materiais que compõem os elementos construtivos da envoltória. Tais propriedades foram obtidas a partir de bibliotecas de componentes construtivos brasileiros (WEBER et al., 2017; ORDENES et al., 2003), além da norma de desempenho térmico em edificações - NBR 15220 (ABNT, 2005a; 2005b). Já os valores de absorvância à radiação solar das superfícies foram obtidos no anexo V da portaria Inmetro nº 50/2013 (atualizado em 2017) e trabalho de Silveira, Marinoski e Lamberts (2012).

As configurações de cargas internas, padrões de ocupação e iluminação dos APPs, ventilação natural e sistema de condicionamento de ar foram realizadas de acordo com a INI-R. No que se refere às cargas internas, foram adotadas taxas metabólicas de 108W/pessoa na sala e 81W/pessoa nos dormitórios, considerando uma área de pele média de 1,80m². Quanto ao número de usuários, adotou-se 2 pessoas por

dormitório, totalizando 4 pessoas na sala. A densidade de potência de iluminação foi considerada a mesma para ambos os ambientes, sendo 5W/m² com fração radiante de 0,42 e fração visível de 0,18.

A INI-R especifica o uso de equipamentos somente na sala, com potência absoluta de 120W, permanecendo ligado enquanto o ambiente encontra-se ocupado. Para todos os equipamentos, considerou-se uma fração radiante de 0,5. Como a sala e cozinha são ambientes integrados, foi considerado uma potência adicional de 50W. Essa potência foi adotada baseada nos estudos de Pereira e Ghisi (2008) e Fedrigo et al. (2009), sendo equivalente ao consumo médio de um refrigerador com funcionamento contínuo ao longo de 24 horas por dia.

Os padrões de ocupação dos ambientes e as rotinas de uso do sistema de iluminação são mostrados na Figura 2 e Figura 3, respectivamente. Destaca-se que o RTQ-R considera o mesmo padrão de ocupação para dias de semana e finais de semana. Conforme a Figura 2, nota-se que não há ocupação na unidade habitacional das 08:00 às 14:00.

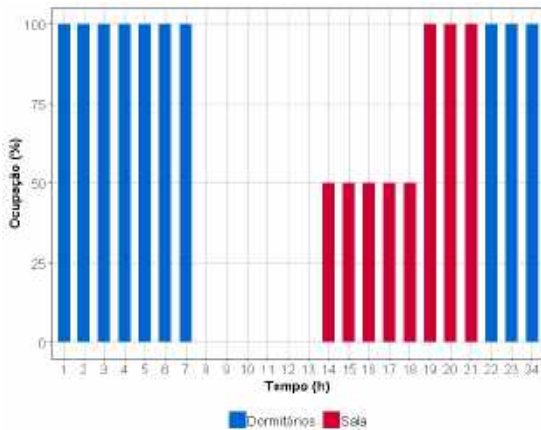


Figura 2 – Padrões de ocupação dos ambientes

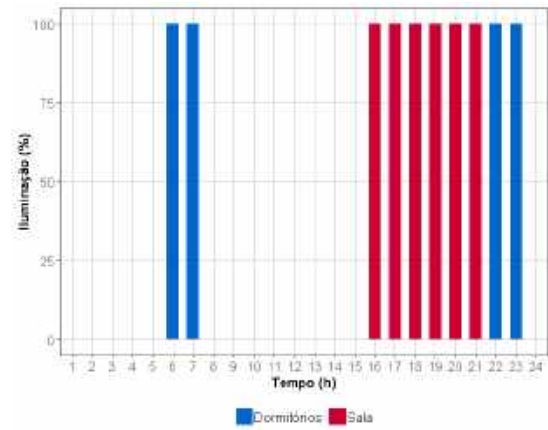


Figura 3 – Rotinas de uso do sistema de iluminação

Tabela 1 – Parâmetros de entrada da ventilação natural

Parâmetro	Valores adotados
Coefficiente de descarga	0,60
Coefficiente (c) e expoente (n) de frestas quando a janela/porta está fechada	c = 0,001; n = 0,66
Coefficiente de rugosidade do entorno	0,33

Na proposta de revisão do RTQ-R, foi incluído o uso de ventilação híbrida, que consiste na integração entre a ventilação natural e o sistema de condicionamento artificial. A alternância entre ambos os sistemas é controlada conforme (i) temperatura interna do ambiente analisado e (ii) limites da zona de conforto térmico. As condições de conforto térmico são baseadas nos limites de 18°C a 26°C para ambientes naturalmente ventilados.

O algoritmo de controle da ventilação híbrida, cujo fluxograma é ilustrado na Figura 4, foi implementado através do recurso *Energy Management System* (EMS) disponível no *EnergyPlus*.

Com relação ao controle das aberturas para ventilação natural, a abertura das janelas ocorre quando a temperatura no ambiente é superior a 19°C e quando a temperatura interna é superior à externa, sendo que as portas permanecem sempre fechadas.

A modelagem do sistema de ventilação natural foi realizada segundo a INI-R, que fixa os valores de coeficiente de descarga, coeficiente e expoente de fluxo de ar pelas frestas e coeficiente de rugosidade do entorno (Tabela 1), além das condições de abertura das portas e janelas. Quanto ao sistema de condicionamento de ar, foi modelado o sistema do tipo *Ideal Loads*, com taxa de fluxo de ar por pessoa de 0,0075m³/s.

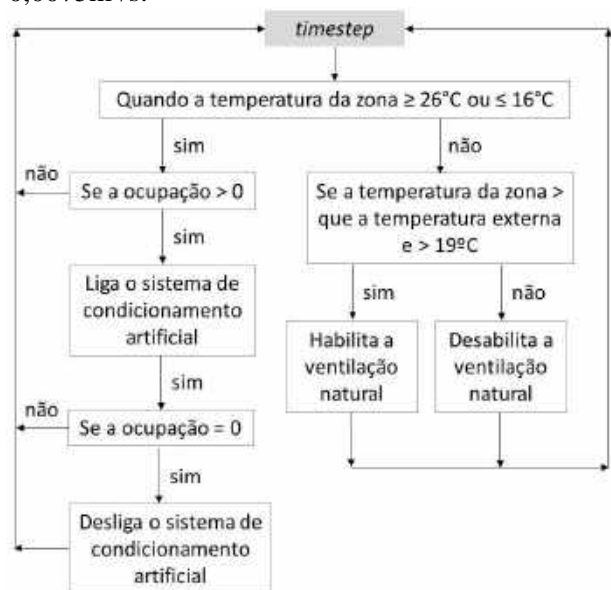


Figura 4 – Fluxograma do algoritmo de controle da ventilação híbrida

Se a temperatura interna ultrapassa os limites descritos anteriormente, o uso da ventilação natural é interrompido e o sistema de condicionamento de ar é acionado. No estudo, considerou-se apenas as situações de desconforto por calor, em que o sistema de resfriamento é acionado somente a partir da temperatura de 26°C, tal como determina a INI-R para o grupo climático 9.

3.3. Determinação do nível de eficiência energética da envoltória

Após a configuração de todos os parâmetros de entrada da simulação, foram definidos os casos a serem simulados a fim de analisar a classificação energética da envoltória.

Como trata-se de edificações multifamiliares de interesse social, o modelo computacional representativo foi simulado considerando quatro orientações e três níveis de exposição na condição real e de referência, totalizando 24 simulações. A Tabela 2 apresenta o planejamento das simulações realizadas.

A partir dos dados de saída das simulações, foi possível determinar a carga térmica de resfriamento e classificar a eficiência energética da envoltória para os diferentes casos simulados.

A classificação foi determinada para cada APP, comparando-se o percentual de redução da carga térmica de resfriamento (%RedCgTR)⁹ do respectivo ambiente com o limite inferior das classes de eficiência energética disponível na INI-R. Ao final, determinou-se o nível de eficiência da envoltória da UH, com base no seu equivalente numérico (EqNumUH)¹⁰.

Tabela 2 – Planejamento das simulações

Fator	Níveis	Simulações
Condição	Real	Total: 24
	Referência	
Orientação	0°	
	90°	
	180°	
	270°	
Exposição	Térreo	
	Intermediário	
	Cobertura	

4. RESULTADOS

A seguir, são apresentados e discutidos os resultados do estudo em relação à definição do modelo representativo, bem como classificação da eficiência energética da envoltória.

4.1. Modelo representativo

Na etapa de coleta dos dados, foi possível levantar as principais características das HIS multifamiliares de Joinville. Contudo, destaca-se que foram encontradas incongruências entre os projetos e o memorial descritivo das habitações. Nesses casos, foram consideradas as informações contidas nos projetos.

Como visto anteriormente, os dados levantados foram divididos em variáveis quantitativas e qualitativas. A Tabela 3 e Tabela 4 apresentam a estatística descritiva e intervalo de confiança de 95% para as variáveis quantitativas. Nota-se que, em geral, não houve uma variabilidade alta nos dados quantitativos levantados. Em todos os casos, a suposição de normalidade foi aceita pelo teste de Shapiro-Wilk e a aproximação pela distribuição t de *Student* pode ser aplicada.

Tabela 3 - Estatística descritiva e intervalo de confiança da área útil dos ambientes e área total da UH

Área (m ²)	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Intervalo de confiança (95%)		Valores adotados
					Inferior	Superior	
Sala	10,25	12,40	11,43	1,06	10,12	12,74	10,25
Cozinha	5,82	7,87	6,84	0,96	5,65	8,04	7,02
Dormitório 1	8,40	9,28	8,69	0,36	8,25	9,13	8,58
Dormitório 2	6,72	7,62	7,24	0,37	6,78	7,69	7,08
Banheiro	2,88	5,04	4,15	0,84	3,10	5,20	4,76
Circulação	1,23	2,04	1,51	0,46	0,37	2,65	2,04
Área útil UH	38,01	40,43	39,25	0,90	38,14	40,37	39,71

⁹ Relação entre a carga térmica de resfriamento da condição real e de referência

¹⁰ Ponderação dos resultados dos APPs

Tabela 4 - Estatística descritiva e intervalo de confiança do percentual de abertura dos APPs

Percentual de abertura (%)	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Intervalo de confiança (95%)		Valores adotados
					Inferior	Superior	
Sala	5,57	17,59	13,42	0,05	7,40	19,43	15,13
Dormitório 1	15,52	17,14	16,60	0,01	15,79	17,41	16,79
Dormitório 2	18,90	21,43	19,94	0,01	18,66	21,22	20,34

As características mais frequentes das variáveis qualitativas são indicadas na Tabela 5 e Tabela 6. Cabe ressaltar que as propriedades das aberturas nos ambientes e composições dos componentes construtivos da envoltória eram semelhantes nas HIS analisadas, diferenciando-se entre si em poucos aspectos.

Tabela 5 - Propriedades das aberturas

Aberturas (janela)	Dimensões (cm)	Área (m ²)	Tipo	Material
Sala	160x120	1,92	correr	esquadria de alumínio e vidro simples (3mm)
Cozinha	100x100	1,00	correr	esquadria de alumínio e vidro simples (3mm)
Dormitórios	120x120	1,44	correr	esquadria de alumínio e vidro simples (3mm)
Banheiro	60x60	0,36	maxim-ar	esquadria de alumínio e vidro simples (3mm)

Tabela 6 - Composição da envoltória

Envoltória	Composição
Piso	contato com o solo, laje e piso cerâmico
Parede	alvenaria estrutural de bloco cerâmico (14x19x29cm), com revestimento interno e externo (2cm) e pintura
Cobertura	laje maciça de concreto (10cm) e telha de fibrocimento (6mm)

Os valores adotados (Tabela 3 e Tabela 4) referem-se à habitação de interesse social definida como modelo representativo, cujas características atendiam aos limites do intervalo de confiança dos dados quantitativos e a moda dos dados qualitativos, assim como às especificações da norma de acessibilidade.

O modelo representativo possui 39,71m² de área total e 3 ambientes de permanência prolongada (sala e dois dormitórios), sendo que as dimensões dos ambientes são indicadas na Tabela 3. Vale mencionar que o percentual de abertura dos APPs atende ao limite mínimo de 14% exigido pela INI-R para o caso de Joinville, como pode ser visto na Tabela 4. A planta baixa do modelo representativo e modelagem geométrica podem ser visualizadas na Figura 5 e Figura 6, respectivamente, considerando a orientação 0°.

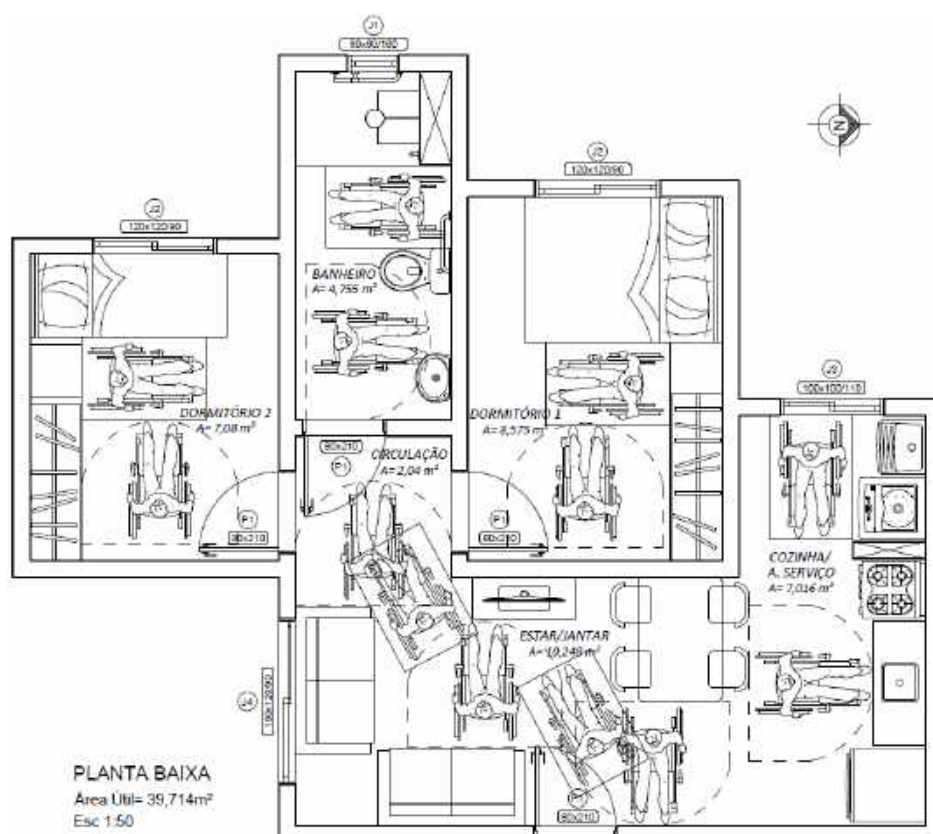


Figura 5 - Planta baixa do modelo representativo

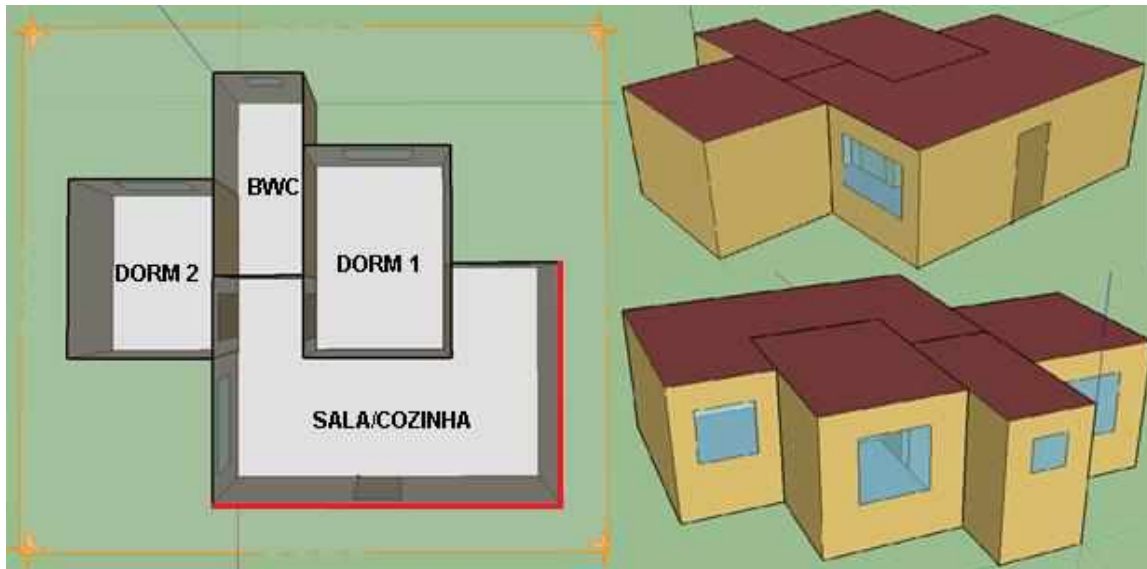


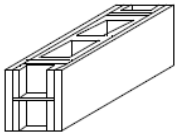

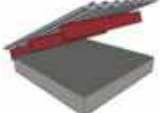

Figura 6 - Modelagem geométrica no SketchUp

Conforme a Figura 6, percebe-se que o modelo representativo possui quatro zonas térmicas, em que três são ambientes de permanência prolongada e uma de ocupação transitória. A sala e cozinha são considerados ambientes integrados, uma vez que não há separação por parede ou divisória.

Além disso, verifica-se que há cinco aberturas para ventilação natural, das quais quatro pertencem à mesma fachada. A parede de divisória entre as UHs e aquela voltada para o corredor de acesso (com destaque em vermelho na Figura 6), além do piso e laje entre os pavimentos da UH foram considerados como superfícies adiabáticas na simulação computacional.



Nos casos simulados, o modelo possui a mesma geometria, composição de piso e laje entre os pavimentos da UH e tipologia das aberturas. Foram modeladas duas composições de envoltória, a primeira refere-se ao modelo representativo e a segunda conforme os parâmetros construtivos estabelecidos na INI-R. As propriedades térmicas e composição construtiva das superfícies (paredes e cobertura) são descritas na Tabela 7.

Tabela 7 – Propriedades térmicas das paredes e cobertura

Superfície	Composição construtiva		Transmitância térmica (W/m ² .K)	Capacidade térmica (kJ/m ² .K)	Absortância (adm)
Parede		Condição real Argamassa interna (2,0cm) Bloco cerâmico de 2 furos (14,0x19,0x29,0cm) Argamassa externa (2,0cm) Pintura externa	2,45	203	0,4
		Condição referência Sem revestimento interno Tijolo maciço (9,0x6,0x19,0cm) Sem revestimento externo	3,65	158	0,6
Cobertura		Condição real Laje maciça (10,0cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Telha fibrocimento	2,06	233	0,8
		Condição referência Forro madeira (1,0cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Telha cerâmica	2,02	26	0,4

Deve-se salientar que as características das aberturas no modelo já estavam em conformidade com os parâmetros estabelecidas na INI-R para a condição de referência. Assim sendo, foi considerada uma única composição de vidro, com as propriedades térmicas e óticas demonstradas na Tabela 8.

Tabela 8 – Propriedades térmicas e óticas do vidro

Ambiente	Tipo de janela		Fator de abertura	Composição	Transmitância térmica (W/m2.K)	Fator solar (adm)
Sala, cozinha e dormitórios		De correr (2 folhas)	0,5	Vidro simples 3mm	5,70	0,87
Banheiro		Maxim-ar (abertura 90°)	0,8	Vidro simples 3mm	5,70	0,87

4.2. Classificação da eficiência energética da envoltória

Os resultados da classificação energética da envoltória são expostos em função do percentual de redução de carga térmica para cada APP e equivalente numérico de eficiência energética em relação à UH. Quanto maior o percentual de redução da carga térmica e o equivalente numérico, mais eficiente será o APP analisado, assim como a UH. Convém salientar que há quatro classes de eficiência energética na proposta de revisão do RTQ-R (“A” a “D”), sendo que a carga térmica da condição de referência equivale à classe “C”.

Na análise, adotou-se a nomenclatura “letra” + “número” correspondente aos níveis de exposição e orientação, respectivamente (ex. “T0” refere-se à UH no térreo, com orientação 0°, e assim por diante). Dessa forma, o percentual de redução de carga térmica de resfriamento dos APPs sala e dormitórios pode ser visualizado na Figura 7 e Figura 8, para os diferentes casos simulados. O equivalente numérico de eficiência energética da UH, por sua vez, é indicado na Figura 9.

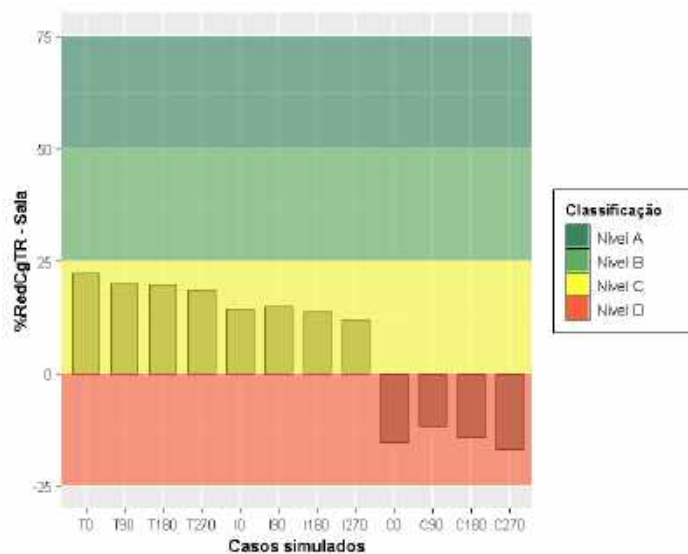


Figura 7 – Percentual de redução de carga térmica de resfriamento da sala para os casos simulados

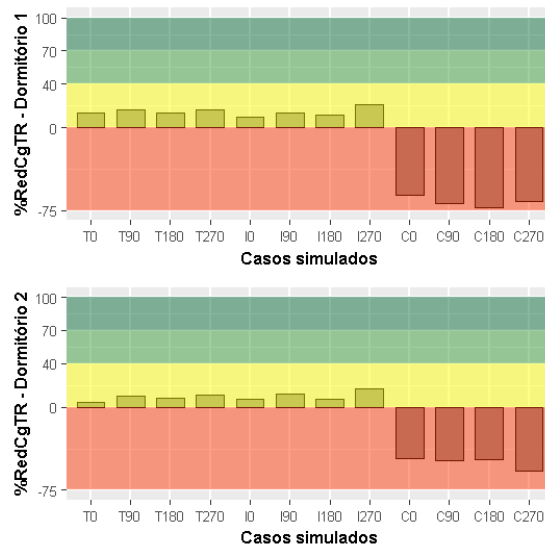


Figura 8 - Percentual de redução de carga térmica de resfriamento dos dormitórios para os casos simulados

Quanto à exposição na sala (Figura 7), pode-se notar que o pavimento térreo obteve um desempenho melhor, em virtude do contato com o solo. Em contrapartida, a cobertura apresentou o pior desempenho. Esse fato pode ser atribuído à alta absorvância solar e transmitância térmica da cobertura, constituída de telhas de fibrocimento.

O ambiente analisado obteve desempenho levemente inferior na orientação 270° (com a abertura principal orientada a leste e secundária a sul). Possivelmente, devido ao fato de que não há ocupação na sala no período da manhã e, conseqüentemente, as aberturas permanecem fechadas.

Em relação aos dormitórios (Figura 8), as mesmas considerações mencionadas anteriormente são também válidas para a cobertura. Entretanto, verifica-se que os pavimentos térreo e intermediário obtiveram resultados semelhantes. Tratando-se da orientação, não há uma relação clara entre os casos simulados e o respectivo desempenho da envoltória.

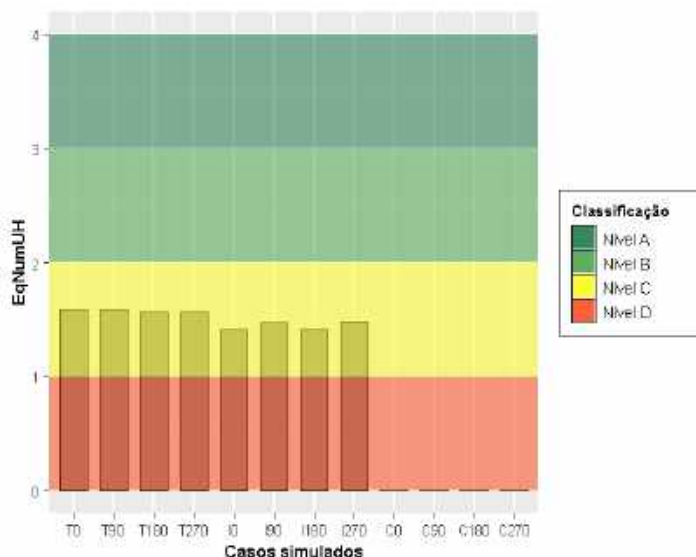


Figura 9 – Equivalente numérico de eficiência energética da UH para os casos simulados

Com base no exposto, verifica-se que os resultados apontam não apenas para o baixo desempenho termoenergético da envoltória, mas também evidenciam a necessidade de rever os projetos das habitações sociais que vêm sendo implementadas pelo PMCMV em Joinville.

5. CONCLUSÕES

O método adotado permitiu definir um modelo para uso em simulação computacional de forma a representar adequadamente a população alvo da pesquisa, considerando um nível de significância de 5%. Entretanto, é necessário destacar que os resultados obtidos podem ter sido afetados devido à certas limitações, como o tamanho da amostra.

Na etapa de levantamento dos dados, verificou-se que os projetos das habitações sociais implementadas em Joinville seguem o mesmo padrão, apresentando poucas diferenças nas características construtivas e especificações dos materiais.

Foi possível constatar também que as HIS multifamiliares existentes em Joinville são conjuntos habitacionais de grande porte. Portanto, é de extrema importância analisar o desempenho termoenergético, visto que inúmeras famílias de baixa renda são afetadas pelo conforto térmico proporcionado por essas habitações.

O modelo representativo possibilitou analisar o desempenho termoenergético da envoltória pelo método de simulação da nova proposta do RTQ-R, utilizando o programa *EnergyPlus*. Nessa etapa, o nível de eficiência energética obtido em todos os casos simulados foi “C” e “D”, demonstrando que as características dessas habitações não contribuem para um bom desempenho térmico e energético da envoltória.

Ao comparar os resultados encontrados para cada fator considerado na análise, observou-se que a exposição e orientação da UH afetam o desempenho da envoltória. Em estudos futuros, pretende-se verificar os parâmetros mais influentes na eficiência energética do modelo representativo, levando em consideração as características climáticas locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, L. S. S. **Influência de parâmetros físicos e geométricos no desempenho termoenergético de habitações unifamiliares**. 2014. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- ALMEIDA, L. S. S.; SILVA, A. S.; SCHNEIDER, K.; GHISI, E. Avaliação da envoltória de habitações de interesse social de Florianópolis de acordo com o método prescritivo do RTQ-R. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC, 12., 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: DF, 2013, p. 1-10.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15.220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 9.050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2015.
- BRASIL. **Lei Federal n.º 11.977, de 7 de julho de 2009**. Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas. Brasília, 2009.

- _____. **Portaria Inmetro nº 18, de 16 de janeiro de 2012.** Aprova a revisão do Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Rio de Janeiro, 2012.
- _____. **Portaria Inmetro nº 50, 01 de fevereiro de 2013.** Anexo geral V – Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros. Rio de Janeiro, 2013.
- CECHINEL, R. J. **Avaliação dos requisitos mínimos do programa minha casa minha vida para habitações multifamiliares em Joinville.** 2017. 152f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2017.
- DALBEM, R.; CUNHA, E. G.; VICENTE, R.; FIGUEIREDO, A.; OLIVEIRA, R.; SILVA, A. C. S. B. Optimisation of a social housing for south of Brazil: from basic performance standard to passive house. *Energy*, v. 167, p. 1278-1296, 2019.
- FAGUNDES, R. M. **Aplicação do RTQ-R na avaliação da eficiência energética de edificações multifamiliares de interesse social para as zonas bioclimáticas brasileiras.** 2014. 162f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.
- FEDRIGO, S. N.; GONÇALVES, G.; LUCAS, P. F.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro.** Florianópolis: LabEEE, 2009. 94p.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil 2007-2015.** Belo Horizonte, 2016.
- INMETRO. **Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais.** Florianópolis: Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações - CB3E, set. 2018.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; GRANJA, A. D. The concept of desired value as a stimulus for change in social housing in Brazil. *Habitat International*, v. 35, n. 3, p. 435-446, 2011.
- LIMA, G.; PEDRINI, A.; ALVES, A. Avaliação do desempenho térmico de uma habitação de interesse social localizada no clima quente e úmido da cidade de Parnamirim/RN com base no método de simulação do RTQ-R. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC, 14., 2012, Juiz de Fora. *Anais...* Juiz de Fora: ANTAC, 2012, p. 2748-2757.
- MORENO, A. C. R.; MORAIS, I. S.; SOUZA, R. V. G. Thermal performance of social housing– a study based on brazilian regulations. *Energy Procedia*, v. 111, p. 111-120, 2017.
- ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no VisualDOE-3.1.** Florianópolis: LabEEE, 2003. 19p.
- PEREIRA, C. D.; GHISI, E. Calibração de um modelo computacional de uma residência unifamiliar localizada em Florianópolis. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC, XII, 2008, Juiz de Fora. *Anais...* Fortaleza: ANTAC, 2008.
- SCHAEFER, A.; ALMEIDA, L. S. S.; GHISI, E.; FREITAS, M.N.; DUARTE, E. Determinação de modelos de habitação de interesse social da grande Florianópolis para uso em simulação computacional. **IV Workshop - Rede de Pesquisa: Uso racional de água e eficiência energética em habitações de interesse social.** Aracaju: UFS, 2012. v. 1. p. 259-280.
- SILVEIRA, R.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Avaliação da absorção à radiação solar e Temperatura superficial de telhas de Fibrocimento utilizadas nas coberturas de Edificações do campus da UFSC. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC, XIV, 2012, Juiz de Fora. *Anais...* Juiz de Fora: ANTAC, 2012. p. 1166-1170.
- TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. *Energy Policy*, v. 87, p. 524-541, 2015.
- TRIANA MONTES, M. A. **Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de interesse social considerando mudanças climáticas.** 2016. 473f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- TUBELO, R.; RODRIGUES, L.; GILLOTT, M.; SOARES, J. C. G. Cost-effective envelope optimisation for social housing in Brazil's moderate climates zones. *Building and Environment*, United Kingdom, v. 133, p. 213-227, abr. 2018.
- WEBER, F. S.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; GUTHS, S.; LAMBERTS, R. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus.** Florianópolis: LabEEE, 2017. 52p.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pela bolsa de estudos concedida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Estado de Santa Catarina.