



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 DA INFLUÊNCIA DE CARACTERÍSTICAS DA ENVOLTÓRIA NO DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL UNIFAMILIARES NO RIO GRANDE DO SUL

Paulo Mezzomo (1); Fernanda Pacheco (2); Maria Fernanda de Oliveira (3)

(1) Engenheiro Civil, pmezzomos@unisinos.br

(2) Professora e Doutoranda em Engenharia Civil, fernandapache@unisinos.br

(3) Dra., Coordenadora do PPGArqUr e Pesquisadora do itt Performance, mariaon@unisinos.br
itt Performance - UNISINOS, Av. Unisinos, 950, São Leopoldo/RS, +55 51 3580-8887

RESUMO

Ao longo do tempo, tem sido crescente o nível de exigência de habitabilidade e segurança nas edificações. Após a publicação da ABNT NBR 15575:2013, o setor de construção civil brasileiro necessitou de reajustes para atender aos novos parâmetros requeridos, sendo muitos deles, até então, inéditos no país. Entre os requerimentos da norma, há parâmetros mínimos de desempenho térmico das edificações, que classificam o comportamento dos ambientes internos frente às temperaturas. Para atendê-los, podem ser necessárias intervenções no projeto das edificações, como novas especificações, inclusão ou redimensionamento de novos elementos construtivos, entre outros. O presente trabalho avaliou a influência de características da envoltória no desempenho térmico de habitações de interesse social unifamiliares no Rio Grande do Sul (zonas bioclimáticas 1, 2 e 3). Estas variáveis englobam especificação do sistema construtivo empregado nos sistemas de vedação (paredes, cobertura e forro), áreas envidraçadas e cor externa da fachada. O método adotado é o de simulação térmica computacional, com emprego do *software* EnergyPlus. Para a realização do estudo, adotou-se um projeto base de habitação de interesse social unifamiliar, simulado em todas as combinações das variáveis da envoltória, nas três zonas bioclimáticas existentes no Rio Grande do Sul. Os resultados obtidos foram, de forma geral, semelhantes entre as zonas bioclimáticas analisadas, e apontaram a influência das variáveis, em ordem decrescente, como sendo: cor da fachada; sistema construtivo da cobertura; sistema construtivo do forro; sistema construtivo das paredes e áreas envidraçadas. Palavras-chave: edificações, desempenho térmico, habitabilidade, NBR 15575.

ABSTRACT

Over time, the requirement level of habitability and safety in buildings has been increasing. After the publication of ABNT NBR 15575:2013 standard, the Brazilian civil construction sector required readjustments to meet the new required parameters, many of them until then unpublished in the country. Among these requirements, there are minimum parameters of thermal performance of buildings, which classify the behavior of indoor environments regarding temperatures. In order to meet them, interventions may be necessary in the design of buildings, such as new specifications, inclusion or re-dimensioning of new building elements, among others. The present study evaluated the influence of the building envelopes' characteristics on the thermal performance of single family housing in Rio Grande do Sul state (Brazilian bioclimatic zones 1, 2 and 3). These variables include specification of the constructive systems (walls, ceiling and roof), windows area and exterior color of the facade. The method adopted is computational thermal simulation, using EnergyPlus software. In order to carry out the study, a single-family social interest housing project was adopted, simulated in all combinations of the envelope variables, in the three bioclimatic zones in Rio Grande do Sul state. The results were generally similar between the analyzed bioclimatic zones, and pointed out the influence of the variables, in descending order, as: facade color; roof system; ceiling system; walls system and windows area.

Keywords: buildings, thermal performance, habitability, NBR 15575.

1. INTRODUÇÃO

A eficiência energética de uma edificação, em sua essência, é determinada pelas características térmicas de sua construção, de suas instalações e o uso por parte do usuário. Considerando a falta de controle e previsão do uso, que varia de acordo com o perfil dos habitantes, os dois primeiros fatores são decisivos na eficiência energética de uma unidade habitacional (BAUWENS; ROELS, 2013).

Uma pesquisa realizada pela *International Energy Agency* (2013, p. 58) apresenta que cerca de 55% do consumo de energia em residências no Brasil provém da energia elétrica, e quase 50% do consumo de energia elétrica no país é destinado às residências. Considerando que uma parcela significativa é destinada ao condicionamento artificial de habitações, tanto para resfriamento quanto para aquecimento, o desempenho térmico relaciona-se diretamente com a eficiência energética e, portanto, com o desenvolvimento de edificações mais sustentáveis.

É importante definir os conceitos e salientar a distinção entre desempenho térmico e comportamento térmico. Lamberts et al. (2010, p. 15) explicam que o comportamento térmico é caracterizado pela resposta física da edificação frente a solicitações térmicas do ambiente externo e às condições de uso dos ambientes. Esta resposta consiste na variação de temperatura e umidade nos ambientes internos, resultante dos fluxos de calor transmitidos através das vedações (paredes e cobertura, principalmente). Quando estes fatores são analisados com base em pré-requisitos estabelecidos – no Brasil, definidos pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013) – tem-se uma avaliação do desempenho térmico (LAMBERTS et al., 2010).

Segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), o desempenho térmico visa atender ao conjunto de exigências de comportamento térmico da edificação, levando em conta as características bioclimáticas do local de implantação, definidas pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005a). Para atendimento aos requisitos trazidos pela norma, são especificados dois métodos de avaliação: simplificado (por cálculo ou simulação) e por medições de temperaturas *in loco*, sendo o segundo de caráter meramente informativo.

Segundo Lamberts e Triana (2007), o desempenho térmico das edificações é influenciado por diversas variáveis, tendo destaque a envoltória e os sistemas construtivos empregados na construção. Ainda são de alta relevância a orientação solar, área, esquadrias, materiais e cores empregados e o uso ou não de estratégias bioclimáticas. Gallardo et al. (2016) afirmam que bons resultados de avaliação de desempenho térmico dependem em grande parte da especificação de materiais e sistemas construtivos. Analisando com base em um clima quente e úmido do Equador, os autores observaram que uma escolha adequada de materiais pode reduzir em até 50% o número de horas de desconforto térmico de uma habitação, expondo a relevância de análise do tema.

Pires (2013) alega que sistemas de paredes e coberturas com baixas transmitâncias térmicas e alto atraso térmico são os mais favoráveis para obter níveis satisfatórios de desempenho térmico em climas temperados, como o do Rio Grande do Sul. Ainda, conclui que os tipos de clima do estado se comportam de forma distinta quanto às áreas envidraçadas, sendo que na região da serra gaúcha deve-se empregar áreas menores devido ao período de inverno, e na região metropolitana de Porto Alegre um aumento desta área é favorável ao desempenho.

Em relação ao atendimento de desempenho térmico em todo o Brasil, Moreno, Morais e Souza (2017) observaram que a utilização de materiais cerâmicos apresenta resultados normalmente superiores ao concreto, tanto em paredes quanto em coberturas. Além disso, afirmam que o emprego de cores claras nas superfícies externas é o que se apresenta como melhor alternativa, considerando as oito zonas bioclimáticas (ZB) brasileiras. Por fim, Marques (2008) observou que os fatores de área de ventilação e absorvância das faces externas costumam se destacar entre os de maior influência no desempenho de habitações de interesse social. No entanto, afirma que individualmente cada uma destas propriedades não representa um valor altamente significativo, tendo em vista a necessidade de visar o envelope construtivo como um todo para obter reais compreensões do desempenho térmico resultante.

Neste cenário, este estudo mensurou a influência de características da envoltória no desempenho térmico de habitações de interesse social unifamiliares localizadas no estado do Rio Grande do Sul. Foram analisadas as especificações de sistemas construtivos (paredes, cobertura e forro), áreas envidraçadas e cores de fachada.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar quantitativamente a influência de características da envoltória no resultado da avaliação de desempenho térmico de habitações de interesse social unifamiliares no Rio Grande do Sul, de acordo com o método de simulação computacional indicado pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

3. MÉTODO

O método adotado para avaliação de desempenho térmico é o de simulação computacional, especificado pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013). Este método é complementado pela NBR 15220-2 (ABNT, 2005b) quanto às propriedades térmicas dos materiais empregados e pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005a) quanto ao zoneamento bioclimático brasileiro (Figura 1). Para a realização das simulações, empregou-se o *software* EnergyPlus, indicado pela NBR 15575-1.

A análise partiu de um projeto base, descrito no item 3.3, alternando-se individualmente as características de cada variável da envoltória. Ou seja, o projeto base foi mantido e implantou-se as variações das características de forma individual na edificação, de forma a verificar a influência específica de cada característica da envoltória. Ao final, foram selecionadas as especificações que proporcionaram os melhores resultados em cada variável e estas foram implantadas simultaneamente para uma análise final. As análises foram realizadas nas ZB's 1, 2 e 3, seguindo-se o zoneamento bioclimático brasileiro, apresentado na Figura 1. A Figura 2 apresenta o fluxograma do estudo realizado.

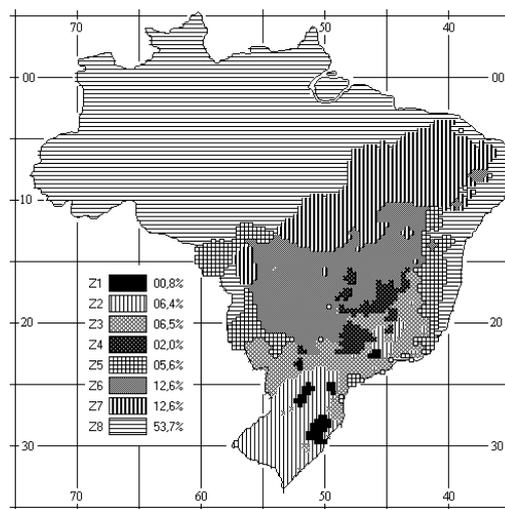


Figura 1 – Zoneamento bioclimático brasileiro
Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

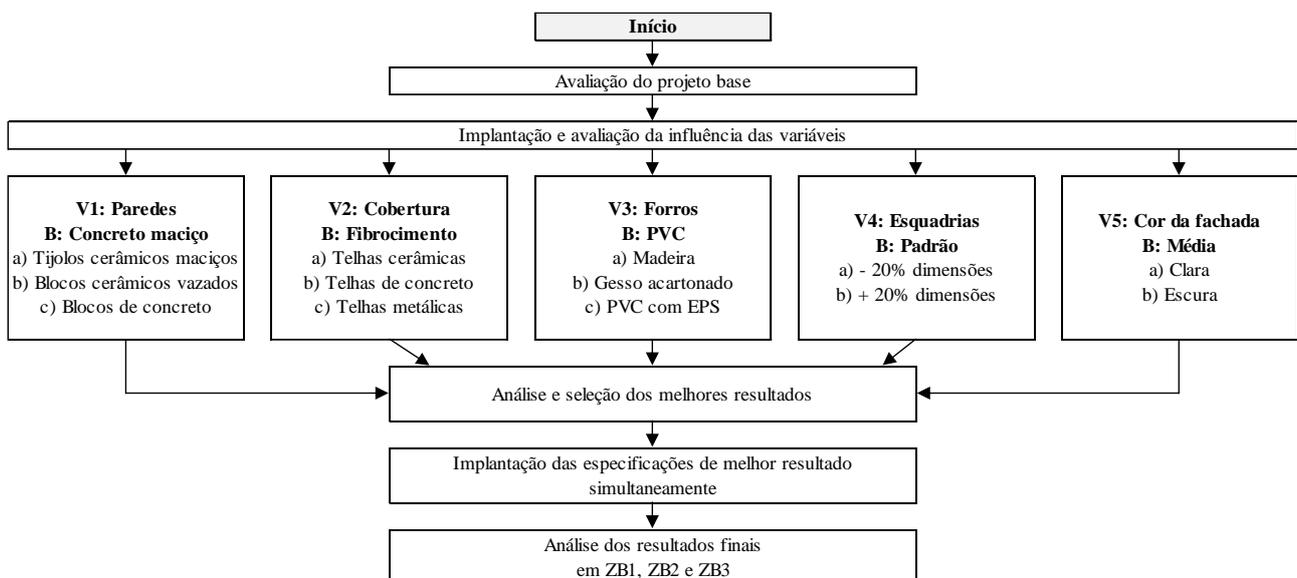


Figura 2 – Fluxograma do estudo

Obs: V – variável; B – especificação do projeto base.

Fonte: elaborado pelos autores.

Os critérios para avaliação de desempenho térmico seguiram o requerido pela NBR 15575-1. A avaliação, conforme já apresentado, consiste em comparar os picos diários de temperatura dos ambientes de

permanência prolongada (salas e dormitórios) com o pico diário de temperatura externa (ABNT, 2013). Os parâmetros para avaliação constam na Tabela 1.

Tabela 1 – Níveis de desempenho na simulação computacional

Nível de desempenho	ZB 1 a 7	ZB 8	ZB 1 a 5
	Verão	Verão	Inverno
M	$T_{i,Max} \leq T_{e,Max}$	$T_{i,Max} \leq T_{e,Max}$	$T_{i,Mín} \geq (T_{e,Mín} + 3^{\circ}C)$
I	$T_{i,Max} \leq (T_{e,Max} - 2^{\circ}C)$	$T_{i,Max} \leq (T_{e,Max} - 1^{\circ}C)$	$T_{i,Mín} \geq (T_{e,Mín} + 5^{\circ}C)$
S	$T_{i,Max} \leq (T_{e,Max} - 4^{\circ}C)$	$T_{i,Max} \leq (T_{e,Max} - 2^{\circ}C)$	$T_{i,Mín} \geq (T_{e,Mín} + 7^{\circ}C)$

Fonte: adaptado de NBR 15575-1 (ABNT, 2013, p. 62-63).

Onde:

$T_{i,Max}$: valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus centígrados;

$T_{e,Max}$: valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus centígrados;

$T_{i,Mín}$: valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus centígrados;

$T_{e,Mín}$: valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus centígrados.

3.1. Objeto de estudo

A edificação analisada consiste em uma habitação de interesse social unifamiliar térrea. Objetivou-se obter um projeto representativo e similar aos implantados em larga escala no Brasil atualmente, tanto em relação ao projeto geométrico (planta baixa) quanto aos materiais e sistemas construtivos empregados. Para tal, obteve-se um projeto atualmente em implantação por uma empresa que atua no ramo da construção civil, tanto com projetos quanto execuções.

Neste cenário, o projeto adotado apresenta edificação com área total construída de 45,55 m², possuindo dois dormitórios, um banheiro e cozinha e sala integrados. A Figura 3 representa a planta baixa da edificação, enquanto a Tabela 2 apresenta seus materiais e sistemas construtivos. Estas especificações representam o projeto base deste estudo.

Assim como exigido pela NBR 15575-1, a edificação foi considerada isenta de elementos de sombreamento externos, bem como de vegetações, outras edificações, entre outros fatores que devem ser desconsiderados na simulação. Esta condição de exposição visa obter uma condição crítica frente ao desempenho térmico (ABNT, 2013).



Figura 3 – Planta baixa do projeto base

Obs: N – Norte.

Fonte: Empresa A.

Tabela 2 – Sistemas construtivos do projeto base

Elemento	Composição	α
Paredes externas	Concreto armado de 10 cm de espessura	0,5
Paredes internas	Concreto armado de 10 cm de espessura	0,5
Cobertura	Telha de fibrocimento de 6 mm de espessura	0,6
Forro	PVC de 10 mm de espessura	0,2
Fundação e Piso	Radier de concreto de 10 cm sob contrapiso de 4 cm e piso cerâmico de 10 mm de espessura	0,3
Janelas	Vidro claro de 3 mm de espessura, de dimensões: a) Sala: 1,00x1,20 m (LxH) b) Dormitórios: 1,20x1,20 m (LxH) c) Cozinha/Área de serviço: 0,60x1,20 m (LxH) d) Banheiro: 1,00x0,60 m (LxH)	-
Portas	Madeira de 3 cm de espessura	0,5

Fonte: elaborado pelos autores.

Obs: L – Largura; H – Altura; α – absorptância à radiação solar.

Foram adotadas as cidades de Bento Gonçalves (ZB1), Santa Maria (ZB2) e Porto Alegre (ZB3), analisadas independentemente, aplicando o estudo a todo o estado do Rio Grande do Sul. Para a análise dos resultados, adotaram-se os dados de dias típicos de verão e inverno contidos no Anexo A da NBR 15575-1 (ABNT, 2013). Porém, a norma não aborda as cidades de Bento Gonçalves (ZB1) e Santa Maria (ZB2), assim como não aborda outras cidades do estado que conste na ZB1 ou ZB2. Desta forma, para estas cidades os dias típicos foram determinados por cálculos, com tratamento estatístico dos dados climáticos disponíveis, conforme o método indicado por Siqueira et al. (2005). Os dias típicos adotados constam na Tabela 3.

Tabela 3 – Dias típicos de projeto adotados

ZB	Cidade	Dia típico de verão [DD/MM]	Dia típico de inverno [DD/MM]	Obtenção
1	Bento Gonçalves/RS	15/02	10/06	Siqueira et al. (2005)
2	Santa Maria/RS	09/01	26/08	Siqueira et al. (2005)
3	Porto Alegre/RS	15/01	06/09	NBR 15575-1

Fonte: SIQUEIRA et al., 2005; ABNT, 2013; LABEEE, 2018.

3.2. Características da envoltória analisadas

As características da envoltória analisadas neste trabalho (Tabela 4) foram definidas após estudo das estratégias de projeto frente ao desempenho térmico. Foram analisadas variáveis relacionadas a diferentes estratégias, a fim de obter a amplitude desejada no estudo e análise. Ainda, as especificações definidas objetivam representar a realidade do mercado da construção civil, ou seja, buscou-se adotar especificações comumente vistas em habitações de interesse social. Como material de apoio para a seleção dos sistemas construtivos analisados, utilizou-se o Guia Orientativo Para Atendimento à NBR 15575 (CBIC, 2013).

Tabela 4 – Variáveis da envoltória analisadas

Nº	Variável da envoltória	Estratégia associada	Especificações
1	Sistema construtivo das paredes	Inércia térmica	a) Tijolos cerâmicos maciços ¹ b) Blocos cerâmicos ² c) Blocos de concreto ³
2	Sistema construtivo da cobertura		a) Telhas cerâmicas ⁴ b) Telhas de concreto ⁵ c) Telhas metálicas ⁶
3	Sistema construtivo do forro		a) Madeira ⁷ b) Gesso acartonado ⁸ c) PVC com camada de EPS ⁹
4	Áreas envidraçadas	Ventilação / Aquecimento e resfriamento solar passivo	a) Dimensões padrões ¹⁰ - 20% b) Dimensões padrões ¹⁰ + 20%
5	Cor externa da edificação	Absortância solar	a) Cor clara ¹¹ b) Cor escura ¹²

¹ Paredes externas e internas de tijolos cerâmicos maciços de 10 cm de espessura, revestidas com argamassa de 2,5 cm de espessura em ambas as faces

² Paredes de blocos cerâmicos com septos retangulares horizontais, sendo as externas com 14 cm de espessura e 9 septos (bloco 14x19x29 cm), e as internas com 9 cm e 6 septos (bloco 9x19x29 cm), com revestimento argamassado de 2,5 cm de espessura em ambas as faces

³ Paredes de blocos de concreto de 2 septos retangulares verticais, sendo as externas com 14 cm de espessura (bloco 14x19x39 cm) e as internas com 9 cm (bloco 9x19x39 cm), com revestimento argamassado de 2,5 cm de espessura em ambas as faces

⁴ Telhas cerâmicas de 10 mm de espessura média, de cor natural ($\alpha = 0,75$) (ABNT, 2005b)

⁵ Telhas de concreto de 10 mm de espessura média, de cor natural ($\alpha = 0,75$) (ABNT, 2005b)

⁶ Telhas metálicas de 0,50 mm de espessura com acabamento em aço galvanizado ($\alpha = 0,25$) (ABNT, 2005b)

⁷ Forro de madeira de 1,0 cm de espessura

⁸ Forro de gesso acartonado de 12,5 mm de espessura

⁹ Forro em PVC de 10 mm de espessura sob camada de EPS de 50 mm de espessura

¹⁰ Dimensões das janelas do projeto base, conforme Tabela 2

¹¹ Cor clara, $\alpha = 0,3$ (ABNT, 2013)

¹² Cor escura, $\alpha = 0,7$ (ABNT, 2013)

Fonte: elaborado pelos autores.

As propriedades físico-térmicas dos materiais empregados foram obtidas na NBR 15220-2 (ABNT, 2005b). É importante salientar que, para os sistemas construtivos não homogêneos, como é o caso de alvenarias, as propriedades foram adaptadas para materiais homogêneos equivalente, possibilitando a implantação na simulação computacional – para estes casos, seguiu-se o método de Ordenes et al. (2003).

4. RESULTADOS

Conforme apresentado no item referente ao método e à abrangência do estudo, foram analisadas 14 variações do projeto em cada zona bioclimática – projeto base e 13 variações (1A, 1B, 1C; 2A, 2B, 2C; 3A, 3B, 3C; 4A, 4B; 5A, 5B). A edificação foi analisada na condição de verão (180° de desvio azimutal) e inverno (0°), totalizando nesta etapa, portanto, 84 simulações computacionais com as variações empregadas individualmente. Ainda, a etapa final consistiu em 6 simulações ao total – inverno e verão, nas três zonas bioclimáticas. Totalizaram-se, portanto, 90 simulações.

Os resultados foram analisados nos dias típicos de projeto adotados, comparando as curvas das variações entre si e em relação à curva do projeto base. As características da envoltória foram classificadas como de maior ou menor influência em relação à sua amplitude, ou seja, a maior diferença entre os picos máximos (para o verão) e mínimos (para o inverno) entre as curvas base e das variações. Para cada resultado, analisou-se duas curvas por ZB, sendo uma no dia típico de verão e uma no de inverno.

É importante ressaltar que as temperaturas internas obtidas consistem na temperatura do ambiente de permanência prolongada de pior desempenho na edificação. Observou-se que este ambiente foi a sala em todos os cenários, tendo apresentado os picos (máximos no verão e mínimos no inverno) mais próximos aos picos da temperatura externa, quando comparada aos demais ambientes.

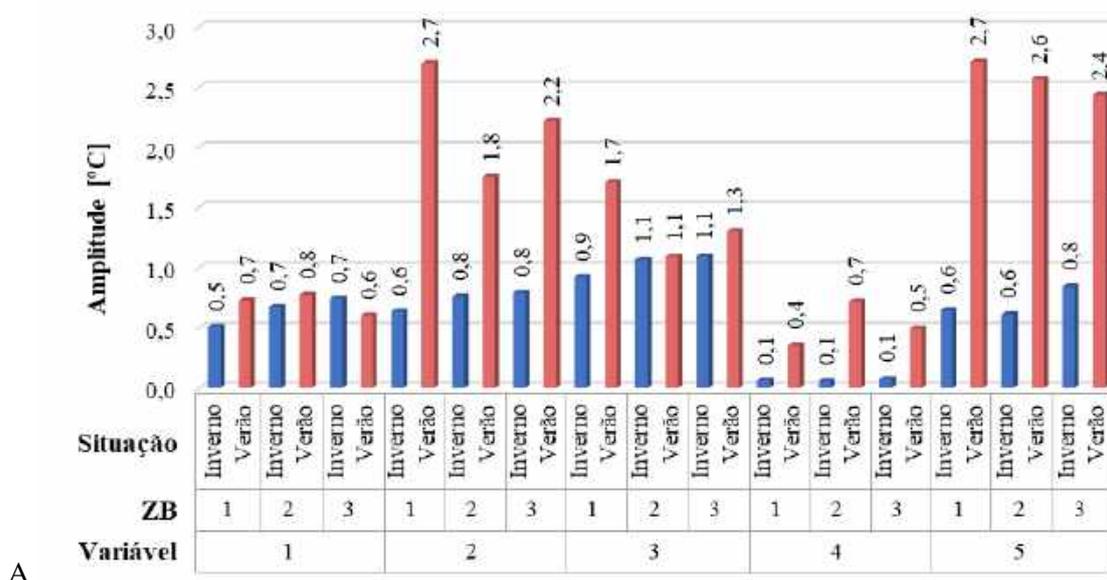


Figura 4 apresenta a síntese dos resultados obtidos na análise das 5 variáveis. É possível observar que a variável de maior influência é a Variável 5 (cor de fachada), sendo seguida pela Variável 2 (sistema construtivo da cobertura), considerando de forma geral nas três zonas bioclimáticas analisadas. Logo após, em ordem, há a Variável 3 (sistema construtivo do forro), com influência relativamente mais alta em relação à Variável 1 (sistema construtivo das paredes); por fim, a variável de menor influência é a Variável 4 (áreas envidraçadas).

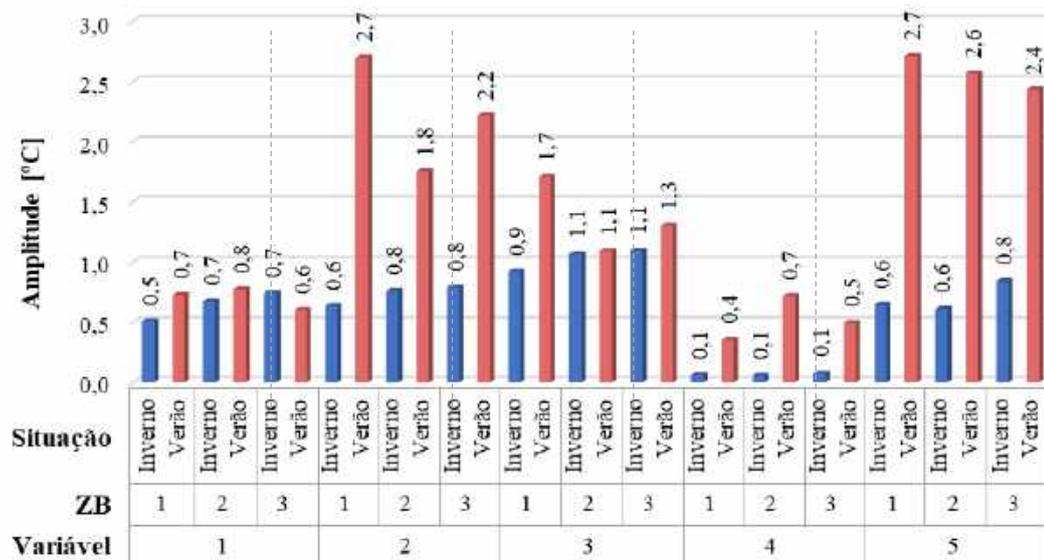


Figura 4 – Síntese dos resultados da amplitude das variáveis

Fonte: elaborado pelos autores.

Ao analisar comparativamente os valores de amplitude entre as ZB analisadas, percebe-se que, na ZB1, as Variáveis 2 (cobertura) e 5 (cor da fachada) tiveram influência da mesma ordem de grandeza, tanto no verão quanto no inverno, divergindo do resultado geral. Com exceção desta observação, a ordem decrescente de influência por variável seguiu igual para as 3 ZB. Ainda, é possível perceber que o sistema da cobertura influencia consideravelmente menos na ZB2, quando comparado às outras ZB's (1,8°C de amplitude, contra 2,7 e 2,2). Também, na ZB1 há uma amplitude consideravelmente maior no sistema construtivo do forro (1,7°C no verão, comparado a 1,1 e 1,3 nas demais ZB's). Os demais resultados se apresentam mais homogêneos.

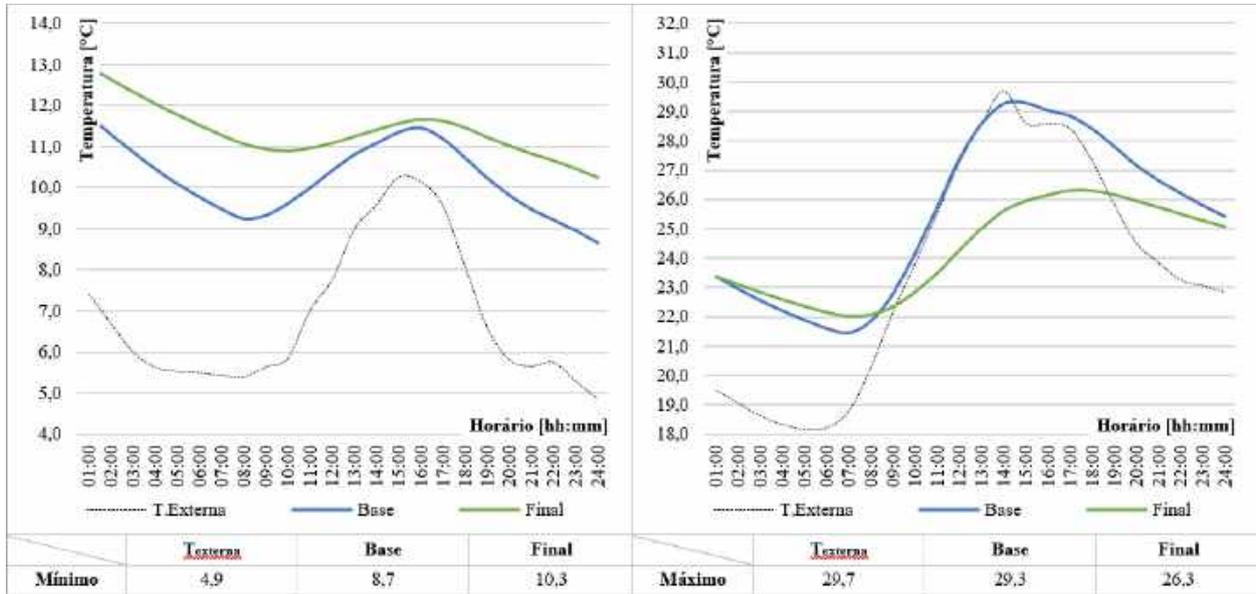
Esta semelhança de resultados entre as 3 ZB's analisadas pode ter sido observada pelo fato de os climas possuírem características relativamente similares, apesar de serem classificados de forma distinta normativamente. Ao consultar o zoneamento bioclimático brasileiro (Figura 1) pode-se perceber que o clima do Rio Grande do Sul é classificado majoritariamente como ZB2, possuindo, proporcionalmente, pequenas áreas classificadas como ZB1 e ZB3. Apesar da existência dos três climas, há, portanto, certa homogeneidade no clima do estado, o que pode ter impactado na proximidade entre os resultados observados neste estudo.

As variações e especificações que apresentaram maiores alterações no desempenho positivamente foram 3C (emprego de forro de PVC com camada de EPS) e 5A (cor de fachada clara), sendo que com o uso destas a edificação teve o nível de desempenho elevado de Mínimo (obtido no projeto base) para Intermediário, no verão, nas ZB's 1 (somente 3C) e 2 (ambas). Por outro lado, as especificações 2A (cobertura em telhas cerâmicas), 2B (cobertura em telhas de concreto) e 5B (cor de fachada escura) diminuíram consideravelmente o desempenho, reprovando a edificação frente aos requisitos da NBR 15575 (ABNT, 2013).

Em relação à comparação entre os resultados obtidos e os resultados esperados pelos autores, é possível encontrar algumas divergências. Inicialmente, era prevista uma maior influência da Variável 1 (paredes) no desempenho térmico da edificação, visto que as paredes externas fazem parte do envelope construtivo da edificação, o qual teoricamente possui grande influência, conforme apontam alguns autores (ASCIONE et al., 2015; GALLARDO et al., 2016; MORENO; MORAIS; SOUZA, 2017). Os resultados evidenciaram que o envelope construtivo apresenta grande influência, porém não há tanta dependência da composição dos materiais empregados, mas principalmente da absorvância (cores) das suas superfícies expostas ao meio externo, tanto nas paredes quanto na cobertura. Reitera-se, porém, que somente pode-se aplicar estas afirmações no caso analisado, onde foram variadas paredes comumente viáveis em habitações de interesse social. Ainda, acreditava-se que seriam obtidos resultados mais favoráveis quando com emprego de materiais de cerâmica vermelha, em comparação com o concreto, conforme afirmam Moreno, Morais e Souza (2017); isto só foi visualizado, porém, no comparativo entre as paredes maciças, não sendo observada diferença entre as paredes de blocos vazados e nas coberturas.

4.1. Análise Final

Considerando o exposto no fluxograma do estudo Figura 5, foram selecionadas as especificações que proporcionaram melhores resultados em cada variável, para emprego na edificação em uma análise final. As especificações combinadas na análise final, portanto, foram 1C (parede em blocos de concreto), 2C (cobertura com telhas metálicas), 3C (forro de PVC com EPS), 4A (janelas com 20% de dimensões reduzidas) e 5A (cor de fachada clara). Os resultados destas simulações são apresentados na Figura 5, na Figura 6 e na Figura 7 (ZB1, ZB2 e ZB3, respectivamente). A discussão dos resultados obtidos é realizada a seguir.

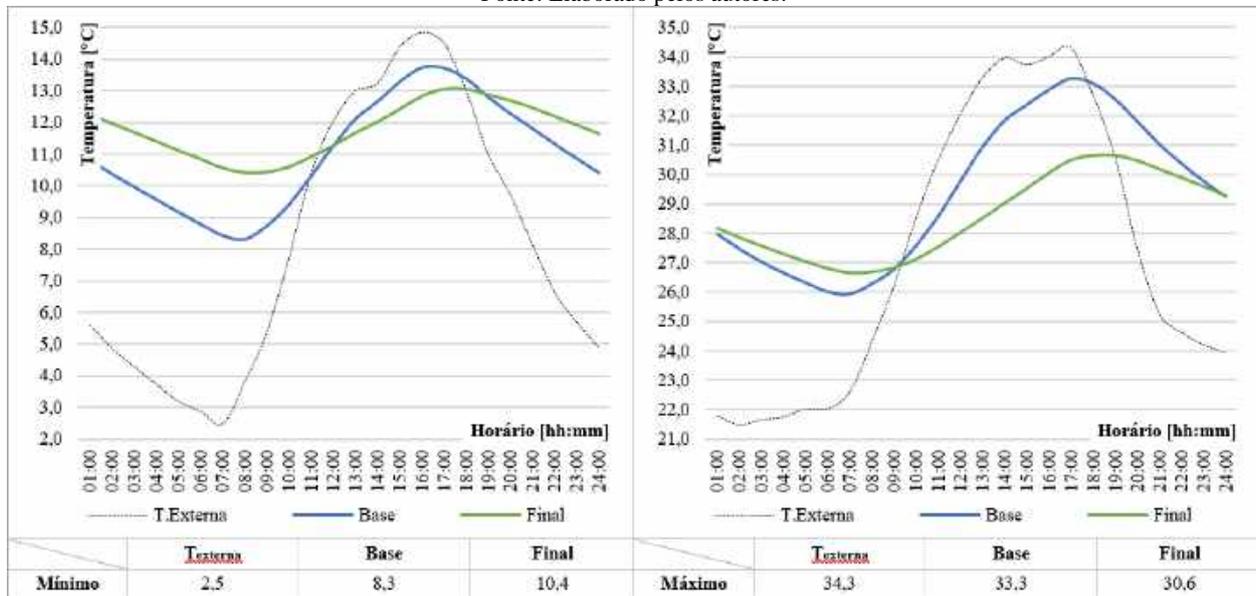


(a)

(b)

Figura 5 – Resultados da análise final na ZB1 (a) inverno e (b) verão

Fonte: Elaborado pelos autores.

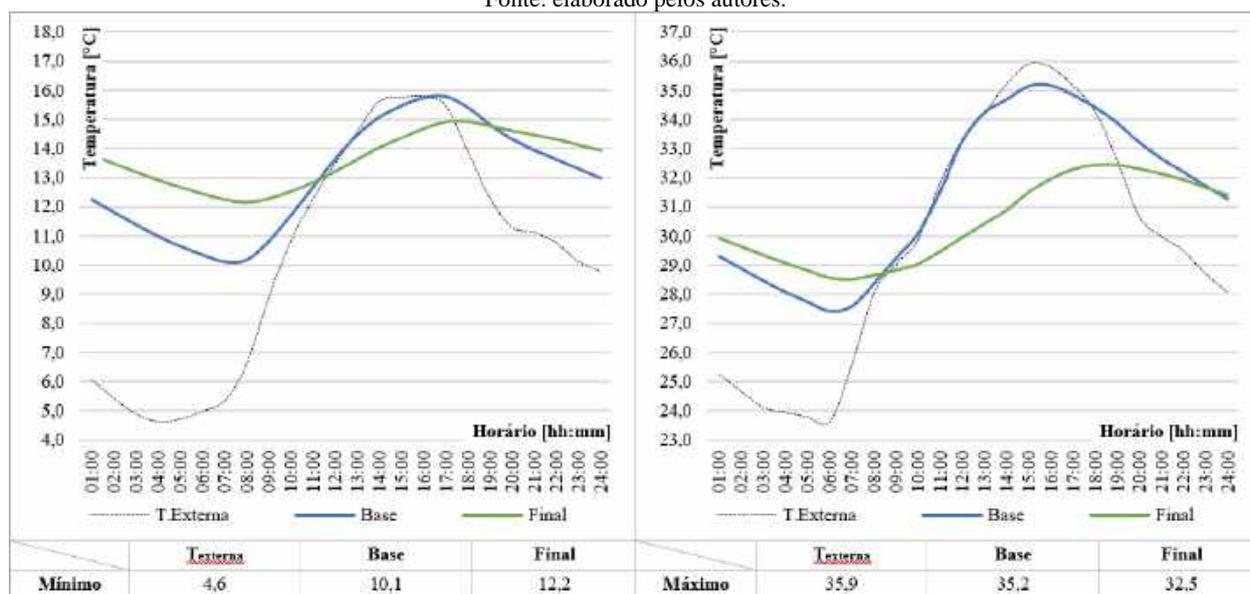


(a)

(b)

Figura 6 – Resultados da análise final na ZB2 (a) inverno e (b) verão

Fonte: elaborado pelos autores.



(a)

(b)

Figura 7 – Resultados da análise final na ZB3 (a) inverno e (b) verão

Fonte: elaborado pelos autores.

Os resultados apresentados na Figura 5, na Figura 6 e na Figura 7 apontam uma diferença considerável entre as curvas de temperatura interna do projeto base e da análise final, com a combinação das amostras supracitadas. Ao adotar os materiais, sistemas construtivos e configurações de melhor desempenho, nas 3 ZB's observa-se uma curva de temperatura interna mais horizontal (e, portanto, mais amena), além de um maior afastamento da curva de temperatura externa de forma positiva, ou seja, há um melhor desempenho.

É possível verificar um maior distanciamento entre as curvas base e final (assim denominadas para facilitar o entendimento dos gráficos) nos extremos de cada estação – ou seja, na temperatura mínima diária do dia típico de inverno e na temperatura máxima diária do dia típico de verão. Este ponto é justamente onde se dá a avaliação da temperatura pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013), ou seja, há indícios de uma melhora significativa no desempenho térmico resultante da habitação.

Analisando os valores obtidos, é possível verificar que, no inverno, a amenização da temperatura mínima interna diária foi de 1,6°C, 2,1°C e 2,1°C; no verão, de 3,0°C, 2,7°C e 2,7°C, para ZB1, ZB2 e ZB3, respectivamente. Considerando o intervalo de 2,0°C entre os níveis de desempenho, segundo a classificação definida pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013), estes valores apresentam que há um aumento significativo do desempenho térmico da edificação.

Estes resultados sustentam o apontado por Gallardo et al. (2016), que defendem que um desempenho térmico satisfatório está altamente aliado à especificação de materiais e sistemas construtivos. No âmbito deste trabalho, porém, não foi possível verificar o percentual de redução do número de horas de desconforto térmico conforme estudaram os autores, tendo em vista que não se realizou análise de horas anuais de conforto e desconforto térmico.

5. CONCLUSÕES

O estudo analisado possibilitou mensurar, de forma quantitativa e em níveis normatizados, a influência das características da envoltória no desempenho térmico de habitações de interesse social, tendo sido adotada para análise uma edificação unifamiliar. Implementou-se simultaneamente as variações que proporcionaram melhores resultados, compilando-as em uma análise final. O estudo englobou um total de 90 simulações térmicas computacionais, realizadas para as ZB's 1, 2 e 3, abrangendo, portanto, todo o estado do Rio Grande do Sul, do ponto de vista do zoneamento bioclimático definido pela NBR 15220 (ABNT, 2005).

Foi possível verificar que as variáveis de maior influência estão relacionadas principalmente ao sistema construtivo da cobertura e à cor da fachada. Logo após, em ordem decrescente à influência no desempenho térmico, há o sistema construtivo do forro, o sistema construtivo das paredes e as áreas envidraçadas. Reitera-se, porém, que os resultados podem ser distintos caso esta análise seja realizada em edificações que possuam porte e/ou fins de uso distintos (edificações verticais multifamiliares, prédios comerciais, edificações industriais, entre outras variações), bem como edificações que contem com padrões

de qualidade mais altos quando em comparação com habitações de interesse social, como edificações de médio e alto padrão.

Em relação às especificações de projeto analisadas, destacaram-se a telha metálica, o forro com camada de EPS e a cor de fachada clara. Conclui-se que, para obter níveis satisfatórios de desempenho térmico, são de suma importância e deve-se estimular o emprego (a) de sistemas com baixa emissividade, aliada a baixas absorvâncias, na cobertura, (b) de materiais termoisolantes, mesmo que de baixo custo, no forro, de forma a reduzir a absorção de calor proveniente do ático da cobertura e (c) de cores claras no entorno da edificação, considerando o contexto climático local, onde o desempenho está muito relacionado à situação de verão. As especificações de pior resultado foram telha de concreto, telha cerâmica e cor de fachada escura. Concluiu-se que a diminuição de desempenho causada por estes sistemas deve-se às altas absorvâncias contidas em suas superfícies, que afetam o desempenho do envelope construtivo, seja nas paredes externas ou cobertura.

Ainda, o estudo apresentou que, com uma correta escolha dos parâmetros de projeto (sistemas construtivos, materiais empregados, entre outros), é possível aumentar significativamente o nível de desempenho térmico de uma edificação – na análise realizada, observou-se o crescimento de um nível frente à NBR 15575-1, implementando especificações que levassem em conta um melhor desempenho. Reitera-se que foi procurado analisar sistemas convencionais e já aceitos no mercado, de forma a não alterar em grandes proporções o custo de implementação, bem como não envolver a aceitação de sistemas inovadores.

Para estudos futuros, sugere-se uma análise mais profunda englobando diferentes sistemas de alvenaria, estudo com edificações de tipologias e uso distintos às habitações de interesse social e uma pesquisa englobando a implementação de sistemas construtivos inovadores com foco no desempenho térmico das edificações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-2**: Desempenho Térmico de Edificações Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR 15220-3**: Desempenho Térmico de Edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

AGENCY, I. E. **Transition to sustainable buildings - strategies and opportunities to 2050**. Paris: [s.n.]. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Building2013_free.pdf%5Cnwww.iea.org/etp/buildings>. Acesso em: 9 abril 2018.

ASCIONE, F. et al. Design of the building envelope: a novel multi-objective approach for the optimization of energy performance and thermal comfort. **Sustainability**, v. 7, n. 8, p. 10809–10836, 2015.

BAUWENS, G.; ROELS, S. **Characterizing thermal performance of buildings using dynamic model identification**. Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings - 12th International Conference. **Anais...**2013. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84966550363&partnerID=tZOtx3y1>>. Acesso em: 8 abril 2018.

CBIC. **Desempenho de edificações habitacionais**: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Fortaleza: [s.n.]. Disponível em: <https://www.cbic.org.br/arquivos/guia_livro/Guia_CBIC_Norma_Desempenho_2_edicao.pdf>. Acesso em: 10 maio 2018.

GALLARDO, A. A. et al. **Analysis and optimization of the thermal performance of social housing construction materials in Ecuador**. PLEA 2016 - 32nd International Conference on Passive and Low Energy Architecture. **Anais...**Los Angeles: PLEA 2016, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/305462556_Analysis_and_Optimization_of_the_Thermal_Performance_of_Social_Housing_Construction_Materials_in_Ecuador>. Acesso em: 20 mar. 2018.

LAMBERTS, R. et al. **Casa Eficiente: Bioclimatologia e Desempenho Térmico**. Florianópolis: [s.n.]. Disponível em: <<http://www2.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/index.php>>. Acesso em: 9 abr. 2018.

LAMBERTS, R.; TRIANA, M. A. **Levantamento do estado da arte**: energia. São Paulo, 2007. Disponível em: <https://issuu.com/gcolombo/docs/levantamentodo_estadoarte_energia_94pg>. Acesso em: 20 mar. 2018.

MARQUES, A. M. **Desempenho térmico de edificações unifamiliares de interesse social: estudo de casos em Imbituba – SC**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

MORENO, A. C. R.; MORAIS, I. S. DE; SOUZA, R. V. G. DE. **Thermal performance of social housing – a study based on brazilian regulations**. 8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings. **Anais...**Turin, ITALY: Elsevier B.V., 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.013>>. Acesso em: 3 mar.

ORDENES, M. et al. **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no VisualDOE-3.1Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE)**. Florianópolis: [s.n.]. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/RP_Biblioteca_Materiais_VisualDOE.pdf%5CnAcesso em 20 ago.2015>. Acesso em: 15 jun 2018.

PIRES, J. R. **Investigação da viabilidade da redução do consumo de energia elétrica em edificações residenciais através da aplicação de soluções de conforto ambiental passivo**. [s.l.] Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2013.

SIQUEIRA, T. C. P. A. et al. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. **Revista Escola de Minas**, v. 58, n. 2, p. 133–138, 2005.