

CONFORTO TÉRMICO, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E VIABILIDADE ECONÔMICA EM HIS

THERMAL COMFORT, ENERGY EFFICIENCY AND ECONOMIC FEASIBILITY IN SOCIAL INTEREST HOUSES

 **Nayara Salera Malta**¹

 **Isabella Moraes Rabbi**²

 **Edna Aparecida Nico Rodrigues**³

¹ Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil, nayarasalera@gmail.com.

² Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil, isabellamrabi@gmail.com.

³ Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil, edna.rodrigues@ufes.br.

Resumo

O Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) contribuiu para a redução do déficit habitacional no Brasil. Contudo, suas características de replicação vinculam a inadequação das envoltórias residenciais ao clima local. O objetivo deste artigo foi avaliar o impacto da adequação da envoltória de uma Habitação de Interesse Social (HIS) unifamiliar – Modelo Real (MReal) – a um Protótipo Habitacional (PH), que incorpora diretrizes da NBR 15220-3 e da Emenda 1 da NBR 15575, quanto ao conforto térmico e à eficiência energética, além da viabilidade econômica das alterações propostas. Estabeleceram-se seis procedimentos: (1) seleção e caracterização das cidades da Zona Bioclimática 8; (2) caracterização dos materiais segundo a NBR 15220 e NBR 15575; (3) proposição de modelos virtuais paramétricos; (4) simulação do MReal e dos PHs; (5) análise do conforto térmico e da eficiência energética dos modelos simulados e (6) viabilidade econômica. Na simulação de 72 cenários, o melhor desempenho foi obtido pelo protótipo PH2-20% – bloco cerâmico, Isotelha núcleo de PUR, forro PVC e janelas maxim-ar com venezianas verticais e 20% de área útil de ventilação – em Colatina e Vitória, reduzindo os Graus-hora de Resfriamento (GHR) em 4.970 e 5.511 °C.h, respectivamente. Houve decréscimo no consumo e custos de energia elétrica, de aproximadamente 65% (R\$ 1.288,55/ano) em Colatina e 63% (R\$ 1.316,71/ano) em Vitória. As alterações também foram economicamente viáveis, caracterizando projeto atrativo e retorno superior a 13 mil reais, em 15 anos, e 20 mil reais, em 30 anos, com Payback inferior a três anos para as duas cidades, demonstrando que alterações simples proporcionaram significativa melhoria nas HIS.

Palavras-chave: conforto térmico, eficiência energética, viabilidade econômica, clima tropical.

Contribuição dos autores:

NSM: conceituação, curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, administração de projetos, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão e edição. **IMR:** curadoria de dados, análise formal, investigação, visualização, **EANR:** conceituação, análise formal, investigação, metodologia, administração de projetos, supervisão, escrita - rascunho original, escrita - revisão e edição.

Fomento: Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo

Declaração de conflito: nada foi declarado.

Editora Responsável:

Letícia de Oliveira Neves 

Abstract

Minha Casa Minha Vida Program (PMCMV) contributed to reducing the housing deficit in Brazil. However, its replication characteristics link the inadequacy of housing envelopes to the local climate. The objective of this paper was to evaluate the effect of the adequation of the envelope of a SIH - Real Model (MReal) - to a Housing Prototype (PH), which incorporates guidelines from NBR 15220-3 and Amendment 1 of NBR 15575, regarding thermal comfort and energy efficiency, in addition to the economic feasibility of the modifications. Six procedures were established: (1) selection and characterization of cities in Bioclimatic Zone 8; (2) characterization of materials according to NBR 15220 and NBR 15575 standards; (3) proposition of parametric virtual models; (4) simulation of MReal and PHs; (5) analysis of thermal comfort and energy efficiency of the simulated models and (6) economic feasibility. In the simulation of 72 scenarios, the best performance was obtained by the PH2-20% prototype – ceramic block, roof tiles with PUR core, PVC lining and maxim-air windows with vertical shutters and 20% of usable ventilation area – in Colatina and Vitória, reducing the Cooling degree hours (CDH) by 4,970 and 5,511 °C.h, respectively. It effectively decreased electricity consumption and costs, around 65% (R\$ 1,288.55/year) in Colatina and 63% (R\$ 1,316.71/year) in Vitória. Changes were also economically viable, featuring attractive projects and Vreturn exceeding 13 thousand reais in 15 years and 20 thousand reais, in 30 years, with Payback less than three years for the two cities, demonstrating that simple changes provided significant improvement in SIH.

Keywords: thermal comfort, energy efficiency, economic viability, tropical climate.

How to cite this article:

MALTA, N. S.; RABBI, I. M.; RODRIGUES, E. A. N.. Conforto térmico, eficiência energética e viabilidade econômica em HIS. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 13, p. e022020, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v13i00.8665076>

Submitted 25.03.2021– Approved 06.04.2022– Published 13.06.2022

e022020-1 | **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 13, p. e022020, 2022, ISSN 1980-6809



Introdução e fundamentação teórica

Visando à redução da carência habitacional brasileira, o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), antecessor ao Programa Casa Verde e Amarela – instituído pela Lei 14.118/2021 (BRASIL, 2021), foi criado em 2009 e gerou empregos no setor da construção civil, colaborando para desenvolvimento econômico do país (TRZCINSKI; AMARAL, 2019). Entretanto, é frequente que as unidades habitacionais do PMCMV sejam qualitativamente deficitárias, como apontado por Morais e Labaki (2017), devido à ampla replicação e à inadequação da implantação e da envoltória ao clima do local, como demonstrado nos estudos de Xavier e Lukiantchuki (2021), Machado *et al.* (2020) e Machado, Nico-Rodrigues e Alvarez (2017). Em contrapartida, o desempenho termoenergético e os índices de conforto nas HIS podem ser aprimorados por meio de envoltórias condizentes com as condições climáticas.

Propostas similares de adaptação já são amplamente difundidas, inclusive em cidades da Zona Bioclimática (ZB) 8, como demonstrado por Machado *et al.* (2020), que também propuseram alterações em sistemas de envoltórias em HIS localizadas em Vitória-ES, para otimização do desempenho térmico, concluindo que nem sempre a utilização de materiais com classificação mais sustentável apresenta melhores resultados.

Machado, Nico-Rodrigues e Alvarez (2017) também apontaram que a substituição de blocos de concreto por blocos cerâmicos proporcionou redução das cargas térmicas no ambiente interno e, conseqüentemente, significativas melhoras no desempenho térmico de HIS localizadas em Vitória-ES. As autoras também demonstraram que os custos das alterações foram vantajosos, tendo em vista o menor valor comercial dos blocos cerâmicos.

Por consistir na interface entre o meio interno da edificação e o ambiente externo, a exposição da envoltória – Sistemas de Vedações Verticais Externas (SVVE), pisos, Sistemas de Coberturas (SC) e aberturas – ao meio externo, afeta diretamente o desempenho da edificação e o consumo de energia, sobretudo por sistemas de condicionamento térmico (IEA, 2013). Embora toda a estrutura influencie no conforto e no desempenho termoenergético, o impacto da envoltória não deve ser minorado, já que, globalmente, cerca de 50% da energia total consumida nos edifícios é influenciada por esses elementos (CHANG; CASTRO-LACOUTURE; YAMAGATA, 2020).

Em HIS, estratégias de condicionamento passivo podem ser ainda mais determinantes nas condições de conforto, considerando a relevância da possibilidade de resfriamento por meio da ventilação natural, condicionando as trocas térmicas com o meio externo, sem consumo adicional de energia (FRANCO *et al.*, 2019; BHAMARE; RATHOD; BENERJEE, 2020), sobretudo para parcelas da população em situação de vulnerabilidade socioeconômica. Quando necessário, a ventilação forçada nas residências brasileiras ainda ocorre, principalmente, por ventiladores ou circuladores de ar, como demonstrado na Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial (PPH-2019) (ELETROBRÁS, 2019).

De acordo com PPH-2019, apenas 16,69% das residências brasileiras contam com aparelhos de ar condicionado, e apenas 9,92% no Espírito Santo (ES), estado que engloba as cidades avaliadas. Segundo a mesma fonte, 80,73% destes aparelhos operam em modo de resfriamento do ambiente (ELETROBRÁS, 2019). Nas residências que contam com o equipamento, os ocupantes indicam uma utilização intensa de ar condicionado, de 6 a 7 vezes por semana (ELETROBRÁS, 2019), elevando significativamente a demanda energética e potencializando os custos de operação das moradias.

Já 75,95% das residências brasileiras contam com ventiladores ou circuladores de ar e 26,56% com ventiladores de teto. No ES, 58,56% e 7,60% de moradias possuem ventiladores ou circuladores e ventiladores de teto, respectivamente (ELETROBRÁS, 2019). Os ventiladores de teto são intensamente acionados – de 6 a 7 vezes por semana – em mais de 66% das residências brasileiras e 73,49% das casas no ES, enquanto ventiladores ou circuladores de ar operam intensamente em 79,42% das casas, nacionalmente, atingindo a média de 66,12% no ES (ELETROBRÁS, 2019),

Dados da Eletrobrás (2019) também apontam o predomínio do uso de ventiladores por todas as classes sociais (A, B1, B2, C1, C2, D e E). A preponderância do uso do ventilador, em detrimento aos aparelhos de ar condicionado, é gradativo, chegando a 83,50% de uso intenso de ventiladores pelas classes D e E (ELETROBRÁS, 2019). Assim, considerando a renda das famílias das HIS unifamiliares do PMCMV até 1,5 (equivalente a R\$ 2.600,00, tomando como referência os anos de 2019 e 2020, durante o período de desenvolvimento da pesquisa) (BRASIL, 2020), compreende-se a predominância da ventilação natural nas moradias, com acesso esporádico a ventiladores ou circuladores de ar.

Mesmo que o custo adicional associado à operação dos ventiladores seja mais impactante para a população atendida pelo PMCMV, dados da Eletrobrás (2019) ainda apontam um uso intenso, de 6 a 7 dias por semana, em mais de 68% das moradias das classes D e E que contam com este equipamento, durante todos os meses do ano. Assim, a replicação de HIS se associa à máxima redução de custos, com frequentes níveis insuficientes de desempenho térmico e, conseqüentemente, uma majoração do consumo energético para operação de eletrodomésticos que auxiliem na manutenção das temperaturas de conforto no ambiente interno.

A NBR 15220-3 (ABNT, 2003) propõe diretrizes construtivas para a melhoria do desempenho térmico das HIS com base no Zoneamento Bioclimático Brasileiro. Contudo, pesquisadores e participantes da proposta inicial, como membros da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), têm indicado a necessidade de uma revisão do zoneamento, devido, sobretudo, à imprecisão na caracterização climática de cidades brasileiras (CARLO; AMORIM, 2017; RORIZ (2012, 2013, 2014).

A NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece procedimentos de avaliação do desempenho térmico de edificações e, por meio da Emenda 1 (ABNT, 2021a, 2021b, 2021c), que complementa as partes 1, 4 e 5 da norma, incluiu novos requisitos. Além da transmitância e da capacidade térmica das paredes externas e coberturas, a emenda alterou os parâmetros de Percentual de Abertura para Ventilação (P_{VAPP}) e da Área de Abertura dos Elementos Transparentes ($A_{TRANSAPP}$), aplicáveis a ambientes de permanência prolongada (APPs) das habitações, segundo o Percentual Máximo de Elementos Transparentes (P_{tAPP}).

A compatibilização entre os requisitos das normas e das condições reais das HIS indica que a escolha adequada da envoltória, por meio da avaliação conjunta de princípios da NBR 15220-3 (ABNT, 2003) e da Emenda 1 da NBR 15575 (ABNT, 2021a, 2021b, 2021c), pode promover a individualização das moradias considerando as condicionantes climáticas locais e a melhoria da qualidade de vida da população (MACHADO; NICO-RODRIGUES; ALVAREZ, 2017; CARLO; AMORIM 2017; NICO-RODRIGUES *et al.*, 2015; RORIZ, 2012).

Similarmente, a relação entre a envoltória e o comportamento da edificação é discutida por diversos autores, nacionalmente, Xavier e Lukiantchuki (2021), Oliveira e Lunardi, (2018) e, internacionalmente, Kim e Clayton (2020), Hermawan *et al.* (2018) e Pari Quispe (2021), demonstrando que a análise e adequação dos sistemas de envoltórias e a

implementação de estratégias de condicionamento passivo, condizentes com o clima local em HIS – especialmente multifamiliares (MACHADO *et al.*, 2020; MACHADO; NICORODRIGUES; ALVAREZ, 2017) e unifamiliares (VETTORAZZI; RUSSI; SANTOS, 2010), potencializam os índices de conforto térmico nas moradias e reduzem, significativamente, a demanda energética para o condicionamento térmico.

Logo, a aplicação de diretrizes normativas iguais em cidades com caracterizações climáticas distintas, ainda que pertencentes à mesma ZB, pode não proporcionar, desempenhos semelhantes. Neste sentido, o aprimoramento de envoltórias de HIS, considerando novos recortes territoriais e tipológicos de estudo, por meio de análises de conforto e desempenho termoenergético, pode cooperar para a compreensão de contextos regionais e decisões projetuais coerentes com a realidade climática local. Finalmente, ao avaliar HIS, a análise do consumo energético e da viabilidade econômica de implementação de envoltórias mais eficientes pode cooperar com o delineamento mais preciso das estratégias voltadas às populações socioeconomicamente vulneráveis.

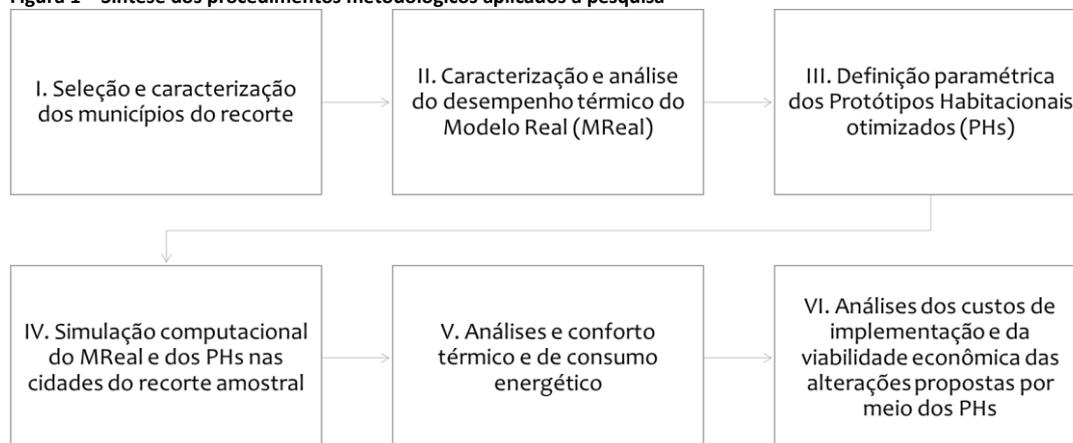
Por meio de uma extensa revisão de literatura, Brager e Dear (1998) e Nicol e Humphreys (2002) tratam da abordagem adaptativa no ambiente construído, ressaltando que a percepção térmica é influenciada por questões técnicas, mas também por práticas culturais. Normas internacionais reiteram a importância deste método e da adequação das envoltórias ao recomendarem a análise da Temperatura Operativa interna (TO, em °C), comparada à Temperatura Média Diária de Bulbo Seco Externo (TBS, em °C), considerando o modelo adaptativo de conforto térmico da ASHRAE 55, para aceitabilidade de 90%, que o definem como preditivo para edificações ventiladas naturalmente (ASHRAE, 2013; EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2007). Este método de avaliação permite compreender o comportamento das envoltórias na termorregulação do ambiente externo frente ao clima externo do local.

Diante dos aspectos supracitados, o objetivo do trabalho foi avaliar o impacto da adequação da envoltória de uma HIS unifamiliar localizada na ZB8, comumente replicada no PMCMV, à NBR 15220-3 (ABNT, 2003) e à Emenda 1 (ABNT, 2021a, 2021b, 2021c) da NBR 15575 (ABNT, 2013), quanto ao conforto térmico e à eficiência energética, além de comparar a viabilidade econômica das adequações propostas.

Método

Frente aos objetivos estabelecidos, a metodologia da pesquisa consistiu na aplicação de seis procedimentos principais (Figura 1):

Figura 1 – Síntese dos procedimentos metodológicos aplicados à pesquisa



Fonte: as autoras.

O **primeiro procedimento** foi a seleção e caracterização de dois municípios pertencentes à mesma Zona Bioclimática (ZB), a fim de verificar as especificidades dos municípios, mesmo que contidos na mesma ZB. Definiu-se Colatina, pertencente à ZB8, como a primeira cidade do universo amostral, por sediar o Modelo Real (MReal), e a cidade de Vitória por ser a capital do estado, e também uma região litorânea com características climáticas próximas, mas com particularidades climáticas distintas, como mostrado na Tabela 1 de Colatina.

Tabela 1 – Caracterização climática de Colatina e Vitória

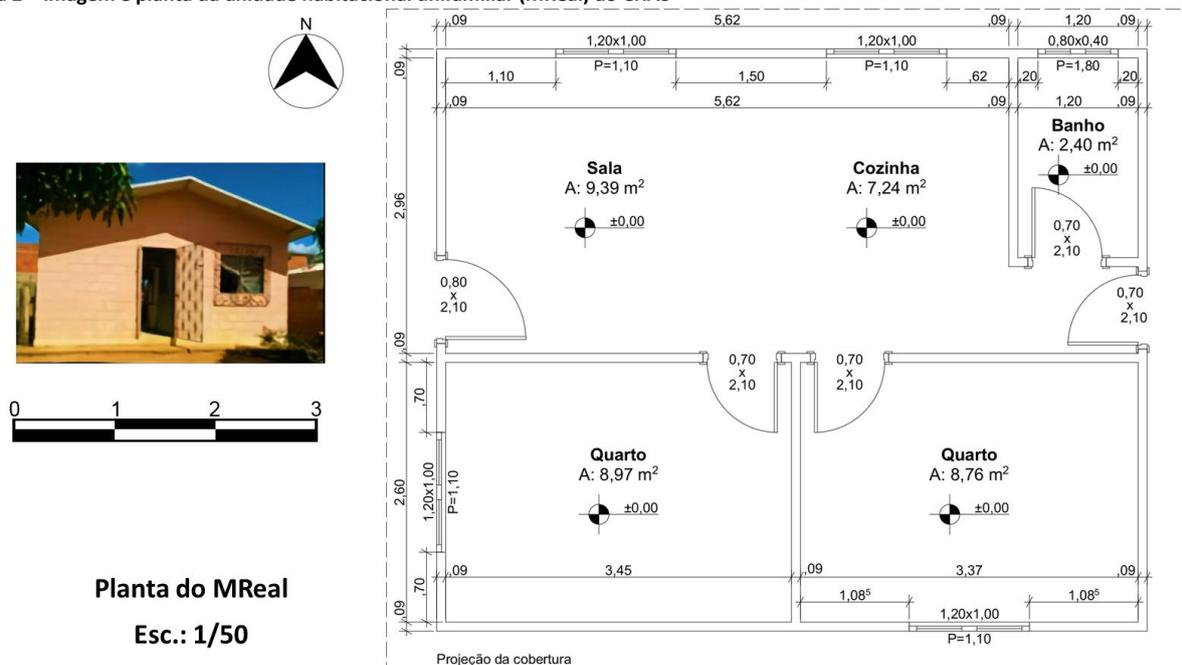
Cidade	População	Latitude/Longitude	Altitude (m)	Class. Köppen	Temperatura mensal média mín.	Temperatura mensal média máx.	Pluviosidade (mm)
Colatina	111.788	19° 29 'S/ 40°45'W	38,0	Tropical litorâneo	19,5°C	30,70°C	1.129,4
Vitória	327.801	20° 32'S/40° 32'W	36,2	Tropical litorâneo	21,8°C	28,90°C	1.318,6

Fonte: (INMET, 2016); (IBGE, 2013); (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A topografia e o regime de chuvas consistem em fatores de diferenciação entre as duas cidades (INCAPER, 1999). Colatina tem 76,85% de sua área localizada em uma zona natural de terras quentes, acidentadas e secas, com declividade superior a 8%, e de 6 a 8 meses secos ou parcialmente secos durante o ano. Vitória conta com 53,50% de seu território localizado em uma zona natural de terras quentes, mas planas e de transição chuvosa/seca e somente 26,20% em terras quentes, acidentadas e transição chuvosa/seca (INCAPER, 1999).

O **segundo procedimento foi a caracterização do MReal – quanto ao SVVE e do SC – e da análise** do desempenho térmico pelo procedimento simplificado e pelo procedimento de simulação computacional, nos padrões descritos na emenda da NBR 15575 (ABNT, 2021a). O MReal (Figura 2) correspondeu a uma moradia unifamiliar do Conjunto Habitacional Ayrton Senna (CHAS), na cidade de Colatina, no Espírito Santo, e foi selecionado segundo sua disponibilidade documental e, sobretudo, por corresponder a uma tipologia unifamiliar do PMCMV, amplamente replicada em diversas regiões do Brasil (MACHADO, NICO-RODRIGUES; ALVAREZ, 2017).

Figura 2 – Imagem e planta da unidade habitacional unifamiliar (MReal) do CHAS



Fonte: adaptado de Caixa Econômica Federal (2010).

As habitações do CHAS foram implantadas em 2012, após à vigência da NBR 15220-3 (ABNT, 2003) e da primeira publicação da NBR 15575 (ABNT, 2008), mas acompanham os padrões gerais de habitações de baixa renda, com características de massificação e desconsideração climática regional. Destaca-se a ausência de forros ou lajes e de ático ventilado, previstos para a melhoria do desempenho térmico das habitações na ZB8, segundo a norma 15220-3 (ABNT, 2003), como mostrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Caracterização construtiva do MReal

SVVE e SC	Caraterização dos materiais adotados	Transmitância térmica U [W/ (m ² . K)]
Parede Real (PR)	Pintura externa ($\alpha_{par}=0,4$), argamassa externa 2,5 cm, bloco de concreto (9 x 19 x 39cm), argamassa de assentamento 1,5 cm, camada de gesso interno de 0,2cm.	2,97
Cobertura Real (CR)	Telha isotérmica trapezoidal sem forro ou laje, revestida em alumínio branco, com núcleo isolante (30mm) em Poliuretano (PUR), com absorvância à radiação solar para cor média, α_{cob} igual a 0,3 (RAL 9003).	1,00
Janela Real (JR)	Esquadrias de alumínio natural, sistema em duas folhas de correr, com fechamento em vidro incolor 4mm e área efetiva de abertura de ventilação das aberturas (A_{vent}) igual a 50% (para a janela 100% aberta).	Quadro de alumínio: 5,88 Vidro incolor 4mm: 5,7

Fonte: as autoras, adaptado de ABNT (2003).

Os critérios da NBR 15220-3 (ABNT, 2003) e da NBR 15575 (ABNT, 2021a, 2021b, 2021c) constituem os referenciais do trabalho para a análise do desempenho térmico do MReal. Os valores de propriedades térmicas dos componentes da envoltória do MReal foram extraídos da NBR 15220-3 (ABNT, 2005, p. 18-23) e do ‘Anexo Geral V – Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros’ (INMETRO, 2013). Para a análise do desempenho térmico, adotou-se o procedimento simplificado descrito na NBR 15575 (ABNT, 2021a) e os valores de referência da NBR 15220-3 para a ZB8, onde estão localizadas as cidades de Colatina e Vitória (ABNT, 2003, p. 8-9). A Tabela 2 contém a caracterização do MReal, indicando quais aspectos se enquadram ou divergem das normas de referência.

Tabela 2 – Análise do MReal pelo procedimento simplificado

		U_{par} e U_{cob}^1		P_{vAPP} (%) ⁴	P_{tAPP} (%) ⁵	
		PR ²	CR ³		N	S
Parâmetros normativos (SVVE/SC)	NBR 15220-3	$\leq 3,60$	$\leq 2,30.FT$	≥ 40	-	
	NBR 15575-4-5	$\leq 3,7$	$\leq 2,30.FT$	≥ 7	20,5	20,0
Propriedades térmicas do MReal	Dorm. 1			8,03	10,48	
	Dorm. 2	2,97	-	8,79	11,48	
	Sala			7,67	10,01	

Nota: 1Transmitância térmica [W/ (m². K)]; 2Parede Real (Quadro 1); 3Cobertura Real (Quadro 1); 4Percentual mínimo de abertura de ventilação (%); 5Percentual máximo de elementos transparentes (%), considerando um ângulo de sombreamento alfa interno médio de 16° para todas as aberturas e cidades com latitudes ≥ -10 . Leia-se Norte para ‘N’, Leste para ‘L’ e Oeste para ‘O’; e A Capacidade Térmica das Paredes (CT_{par}) não é exigida para a ZB 8. Fonte: INMETRO (2013); NBR 15575 Emenda 1 (ABNT, 2021a, 2021b, 2021c) da NBR 15220-3 (ABNT, 2003).

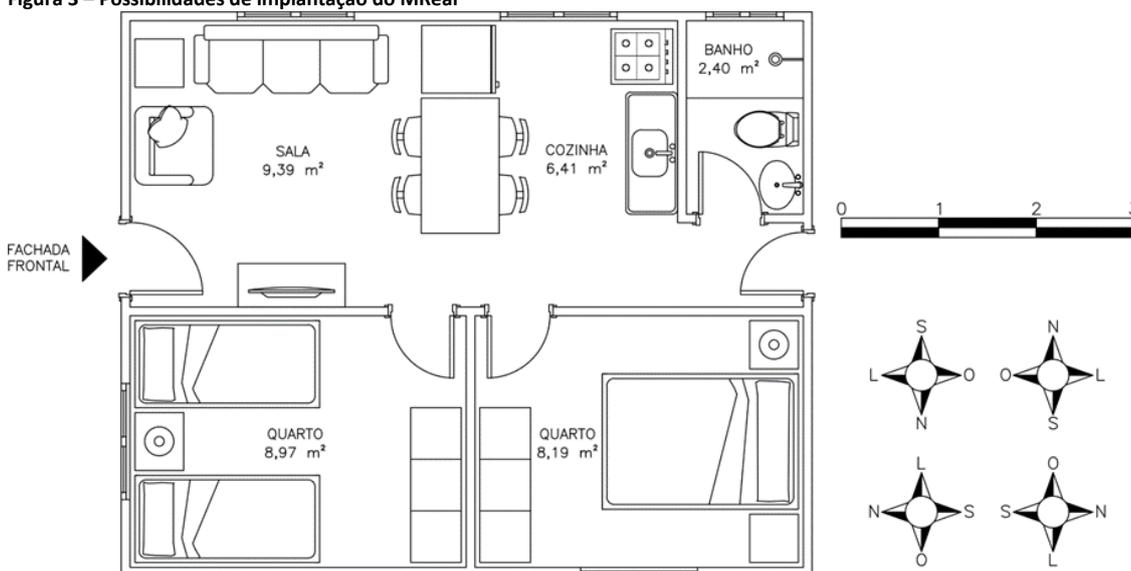
Nota-se que, no MReal, o P_{vAPP} recomendado pela NBR 15220-3 (ABNT, 2003) consiste no único parâmetro não atendido, com valores cerca de 30% menores que os 40% da área do piso indicados pela norma (Tabela 2); ABNT (2003, p. 17). Contudo, este percentual já é amplamente questionado em publicações mais atuais – como a NBR 15575 – que recomendam a maior individualização das zonas bioclimáticas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014) e percentuais menores de aberturas destinadas à ventilação natural (ABNT, 2013).

Além da emenda da NBR 15575 (ABNT, 2021a, 2021b, 2021c), foram inclusos, na análise desta pesquisa, os parâmetros recomendados pela NBR 15220-3 (ABNT, 2003) quanto à transmitância térmica de SVVEs e SCs, e de percentuais mínimos de aberturas em APPs. Ainda que a NBR 15575 se reporte à NBR 15220, a segunda norma ainda é a única especificamente voltada às diretrizes construtivas em função do zoneamento bioclimático – ratificando as diferenças entre as duas normativas (NBR 15220-3 e NBR 15575) – além de apresentar algumas divergências em relação à NBR 15575.

Assim, a adoção dos dois referenciais proporcionou uma avaliação mais completa e a visualização dos contrapontos entre as normativas frente a um mesmo objeto de análise. Neste trabalho, a simulação computacional foi realizada, independentemente do cumprimento dos requisitos pelo MReal – obtendo, desta forma, o nível mínimo de desempenho térmico.

Em cada município, o MReal foi simulado durante as quatro estações, contando com quatro possibilidades de implantação para a orientação da fachada frontal: Norte, Sul, Leste e Oeste (Figura 3). Obtida por meio da simulação, que permitiu depreender a implantação que vincula os maiores índices de Graus-hora de Resfriamento (GHR), determinou-se a orientação de pior desempenho térmico do MReal, adotada como orientação de referência para os modelos virtuais.

Figura 3 – Possibilidades de implantação do MReal



Fonte: as autoras.

Na simulação, foram adotados: o padrão de ocupação diário, as taxas metabólicas e a fração radiante para os usuários, os padrões de uso de sistema de iluminação artificial, a densidade de potência instalada, fração radiante e fração visível para o sistema de iluminação e os períodos de uso, densidade de cargas internas e fração radiante para equipamentos dos APPs do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (INMETRO, 2012, p. 69-72), respeitando os requisitos da NBR 15575 (ABNT, 2021a, 2021b, 2021c). O arquivo climático de Vitória, no formato EPW (*EnergyPlus Weather Format*), baseada no TRY (1961-1990), produzido a partir dos dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2016), obtido no site do LABEEE (2019), enquanto o arquivo de Colatina foi criado e disponibilizado por Amorim (2015, 2019). A ventilação foi modelada segundo o modelo de rede *Airflownetwork*, dentro do software *EnergyPlus*, versão 8.9.0.

O **terceiro procedimento** consistiu em 64 combinações resultantes de dois tipos de paredes, dois tipos de coberturas e dois modelos de janelas, para as quatro orientações de implantação, nas duas cidades do recorte amostral, a partir do MReal, originando protótipos habitacionais (PH) virtuais paramétricos. As combinações e elementos selecionados foram estabelecidos a partir dos trabalhos de autores como Nico-Rodrigues *et al.* (2015), que propõem análises do desempenho de modelos de janelas na cidade de Vitória-ES, e de Machado, Nico-Rodrigues e Alvarez (2017), que comparam o nível de sustentabilidade e de desempenho térmico dos materiais comumente utilizados nos SVVEs de HIS multifamiliares naturalmente ventiladas em Vitória.

Também foram utilizadas as pesquisas de Santana Neto e Silva (2016), de onde foi extraído o modelo de cobogó utilizado, de Roetzel *et al.* (2010) e de Akutsu e Vittorino (1997), que trazem apontamentos relevantes quanto ao à ocupação e controle do usuário sobre dispositivos de ventilação natural das moradias, além dos valores de referência, extraídos do INMETRO (2013), das normas de referência da pesquisa (ABNT, 2003, 2021b, 2021c) e da Caixa Econômica Federal (2020), que forneceu os projetos base das HIS avaliadas, como mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Caracterização dos PHs

Caracterização do SVVE, do SC e das janelas dos Protótipos Habitacionais		U [W/ (m ² . K)]
Parede P1	Pintura externa ² ($\alpha_{\text{par}}=0,2$), argamassa externa 2,5 cm, bloco de cerâmico de 3 furos (14 x 19 x 39 cm), argamassa de assentamento 1,5 cm, camada de gesso interno de 2cm.	1,74
Parede P2	Pintura externa ² ($\alpha_{\text{par}}=0,2$), argamassa externa 2,5 cm, bloco de concreto (14 x 19 x 39 cm), argamassa de assentamento 1,5 cm, camada de gesso interno ¹ de 2 cm.	2,64
Cobertura C1	Telha isotérmica trapezoidal com laje pré-moldada 12 cm (concreto 4cm + EPS 7cm + argamassa 1cm), com ático ventilado (câmara de ar >5 cm), com núcleo isolante (30mm) em Poliuretano (PUR) ² e revestimento em alumínio branco, com absorvância à radiação solar para cor média, α_{cob} igual a 0,3 (RAL 9003).	1,52
Cobertura C2	Telha isotérmica trapezoidal com forro PVC (1cm), com ático ventilado (câmara de ar >5 cm), com núcleo isolante (30mm) em Poliuretano (PUR) ² e revestimento em alumínio branco, com absorvância à radiação solar para cor média, α_{cob} igual a 0,3 (RAL 9003).	1,75
Cobogó ¹	Cobogó cerâmico veneziano (25 x 25 x 5cm) a ser utilizado no ático ventilado sob a cobertura. Volume de vazios aproximado= 36%. Velocidade de ventilação interna: 10km/h, com variações chegando a 6km/h. Área útil aproximada de ventilação: 0,037 m ² /peça.	0,06 ³
Janela 1 (J1 – 40% ⁴)	Esquadria de alumínio anodizado fosco, sistema em quatro folhas em vidro (maxim-ar) e venezianas verticais fixas laterais – 40% da área do piso do APP, com fechamento em vidro incolor 4mm e P_{VAPP} igual a 40% (para a janela 100% aberta ⁵).	Alumínio: 5,88 Vidro incolor: 5,7
Janela 2 (J2 – 20% ⁴)	Esquadria de alumínio anodizado fosco, sistema em quatro folhas em vidro (maxim-ar) e venezianas verticais fixas laterais – 20% da área do piso APP. Fechamento em vidro incolor 4mm e P_{VAPP} igual a 20% (para a janela 100% aberta ⁵).	Alumínio: 5,88 Vidro incolor: 5,7

Nota: ¹Cobogó veneziano (Santana Neto; Silva, 2016); ²Fator de Correção Solar (FCS): pintura em tonalidade média (MReal) e pintura de tonalidade clara (PHs); ³NBR 15220-3 (ABNT, 2003); ⁴Padrão de uso e ocupação da proposta de revisão da NBR 15575; e ⁵Nos PHs, quando as janelas estão 100% fechadas, as venezianas permanecem vazantes, proporcionando uma área efetiva de ventilação igual a 50% de sua área total. Fonte: as autoras.

O P_{VAPP} de J1, fixado em 40%, atende à NBR 15220-3, sendo definido como o primeiro modelo de janela a ser testado. J2 conta com P_{VAPP} igual a 20%, que representa um

percentual intermediário entre os 40% da norma 15220-3 (ABNT, 2003) e os 7% da proposta de revisão da NBR 15575 (ABNT, 2021a). Em suma, foram realizadas 8 combinações para o MReal (1 modelo x 2 cidades x 4 possibilidades de implantação – Norte, Sul, Leste e Oeste) e mais 64 combinações de PHs (2 paredes x 2 coberturas x 2 janelas x 2 cidades x 4 possibilidades de implantação – Norte, Sul, Leste e Oeste), totalizando 72 modelos simulados, avaliados durante um ano inteiro, a exemplo do Quadro 3.

Quadro 3 – Parametrização dos Protótipos habitacionais

Vitória	Código	Bloco	Cobertura	Abertura
	PH1V – 20%	Cerâmico	Isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS	Janela veneziana vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH1V – 40%	Cerâmico	Isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS	Janela veneziana vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH2V – 20%	Cerâmico	Isotelha 30mm com forro PVC	Janela veneziana vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH2V – 40%	Cerâmico	Isotelha 30mm com forro PVC	Janela veneziana vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH3V – 20%	Concreto	Isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS	Janela veneziana vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH3V – 40%	Concreto	Isotelha 30mm com laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS	Janela veneziana vertical com 40% de área útil de ventilação
	PH4V – 20%	Concreto	Isotelha 30mm com forro PVC	Janela veneziana vertical com 20% de área útil de ventilação
	PH4V – 40%	Concreto	Isotelha 30mm com forro PVC	Janela veneziana vertical com 40% de área útil de ventilação

Nota: ¹Para a cidade de Colatina, foram realizadas as mesmas combinações, adicionando-se a letra 'C' ao final da sigla. Exemplo: Para Vitória, o primeiro PH foi denominado PH1V-20%. Seu correspondente na cidade de Colatina foi denominado PH1C-20%. 2 O total de 16 PHs (8 em cada cidade), foi combinado às 4 orientações (Norte, Sul, Leste e Oeste), totalizando 64 cenários simulados para os protótipos, além dos 8 cenários do MReal (nas duas cidades, nas quatro orientações de implantação). Fonte: as autoras.

No **quarto procedimento**, o software *EnergyPlus*, v. 8.9.0 (ENERGYPLUS, 2018) foi utilizado para a simulação do Modelo Real (MReal) e dos Protótipos Habitacionais (PH), analisando as condições ambientais da sala e dos dormitórios 1 e 2 (APPs), para os dois municípios, durante todo o ano. Os dados do MReal determinaram a orientação de referência definida como sendo a pior condição de implantação para o desempenho térmico, que foram comparados aos dados simulados para todos os PHs, objetivando analisar as possíveis melhorias com as propostas de alterações. Nesta etapa, foram aplicados os mesmos padrões de configuração de uso, ocupação e equipamentos do MReal, mencionados no segundo procedimento.

As análises do conforto térmico e do consumo de energia elétrica foram realizadas no **quinto procedimento**. As Temperaturas Operativas internas (TO, em °C) foram comparadas às Temperaturas Médias Diárias de Bulbo Seco Externo (TBS, em °C), considerando o modelo adaptativo de conforto térmico da ASHRAE 55, para aceitabilidade de 90%, de acordo com as normas internacionais, que o definem como preditivo para edificações ventiladas naturalmente (ASHRAE, 2013).

Utilizando a temperatura operativa horária, avaliou-se o desconforto térmico vinculado ao MReal e aos PHs por meio de índices apresentados nas Equações 1 e 2, dos Graus-hora de Resfriamento (GHR) e da Frequência de Desconforto Térmico (FDT) – que equivale ao percentual de tempo, em hora inteira, em que a TO horária excedeu a temperatura de conforto, permitindo quantificar horas de desconforto (MACHADO et al., 2020; MACHADO; NICO-RODRIGUES; ALVAREZ, 2017; OLIVEIRA, SAKIYAMA E MIRANDA, 2017; CHVATAL; MARQUES, 2016; NICO-RODRIGUES et al., 2015).

O maior Σ GHR indicou o pior desempenho térmico de cada APP (sala, dormitórios 1 e 2). As condições de conforto térmico em cada cenário foram demonstradas, também, por

meio dos gráficos de conforto adaptativo da ASHRAE 55, definindo limites para 90% de aceitabilidade (ASHRAE, 2013).

$$GhDT = \sum [T_o - (T_n + 2,5)] \quad (1)$$

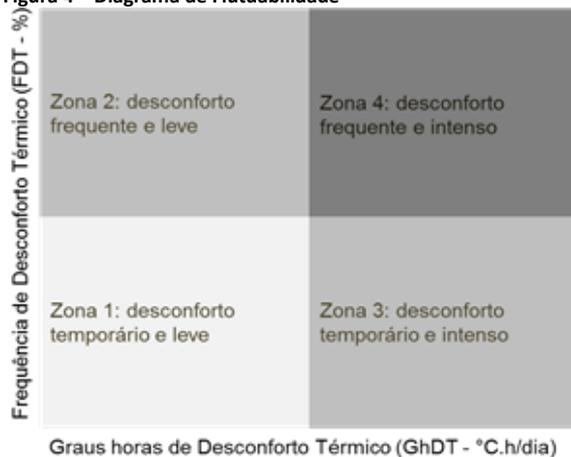
$$FDT = \frac{\sum GHR}{24 \text{ horas}} \quad (2)$$

Onde,

- GHR é Graus-hora de desconforto térmico por calor (°C.h/dia);
- T_o é a temperatura operativa horária (°C);
- T_n é a temperatura neutra (°C);
- 2,5 °C é o valor estipulado pela ASHRAE (2013) de margem de conforto para 90% de aceitabilidade;
- FDT é a frequência de desconforto térmico (%); e
- 24 horas porque a análise é realizada diariamente.

Os resultados também foram demonstrados por meio do diagrama de fluatuabilidade, proposto por Nico-Rodrigues et al. (2015), que vincularam o GHR (°C.h/dia) ao FDT (percentual do tempo total de análise em que houve registro de GHR) (Figura 4). Dividido em quadrantes, os valores do eixo vertical (FDT) do diagrama variam de 0% a 100%, segundo a frequência em que houve registro de GHR durante o período analisado. Os valores do eixo horizontal (GHR) do diagrama são variáveis, uma vez que a determinação do GHR varia – segundo a temperaturas médias diárias de bulbo seco externo (TBS_e , em °C) do local, originando diferentes temperaturas operativas (T_O , em °C) e diferentes limites de conforto para 80% e 90% de aceitabilidade (ASHRAE, 2013). Assim, o limite superior do eixo horizontal corresponde ao maior quantitativo de GHR calculado para um determinado cenário.

Figura 4 – Diagrama de Fluatuabilidade



Fonte: Nico-Rodrigues et al. (2015).

A visualização do diagrama permite elencar soluções construtivas em função das propriedades térmicas dos materiais utilizados na edificação, sendo a situação mais confortável aquela que converge para a origem. Nuvens de pontos majoritariamente plotados nas Zonas 1 e 2 do quadrante indicam a necessidade de estratégias de conforto adaptativo, como o controle dos ocupantes sobre as aberturas que permitem a ventilação natural. Em contrapartida, a predominância de pontos plotados nas Zonas 3

e 4 apontam para a necessidade de alteração dos materiais da envoltória, já que, neste caso, sinalizam que o desconforto frequente se relaciona às propriedades térmicas inapropriadas com o clima local.

A avaliação da eficiência energética foi fundamentada na quantidade de horas em que houve a necessidade de acionamento de equipamentos para minimização do desconforto térmico ($\sum GHR$) no MReal e no PH, em cada cidade. Considerando que HIS constituem o objeto da pesquisa, estipulou-se o uso de um ‘ventilador ou circulador de ar’ (ELETROBRÁS, 2019) para cada APP, possibilitando avaliar o consumo adicional de energia elétrica. Estabeleceu-se que os demais ambientes da HIS não contariam com equipamentos de condicionamento, considerando seu caráter de ocupação transitória (INMETRO, 2012, p.5).

Logo, os prováveis consumos adicionais médios mensais de cada modelo (kWh) foram determinados por meio das horas em que houve registro de GHR, em cada cenário, considerando-se que ventiladores estariam em operação nos três APPs da HIS para a minimização do desconforto térmico. O estabelecimento do cenário mais crítico permitiu compreender o consumo adicional máximo de energia elétrica vinculado à utilização de ventiladores para a minimização do desconforto térmico nas HIS.

Como a Eletrobrás (2015) estima um consumo mensal médio de 17,280 kWh por mês, considerando um período de 30 dias e 8 h de uso por dia, depreendeu-se que o consumo de um ventilador corresponde a 0,072 kW por hora. Assim, o valor final do consumo adicional de energia, em cada cenário, foi calculado a partir do valor das tarifas (já somadas aos tributos) apresentadas na Tabela 3 e na Equação 3 (R\$), vezes o consumo (kWh) de cada modelo – ou seja, a quantidade de horas de registro de GHR vezes 0,072 kW.

Tabela 3: Tarifas PIS/PASEP e COFINS para o ano de 2019

Período	PIS / PASEP	COFINS	Total	Período	PIS / PASEP	COFINS	Total
Dezembro/2019	0,70%	3,18%	3,88%	Junho/2019	0,78%	3,61%	4,39%
Novembro/2019	0,89%	4,10%	4,99%	Maio/2019	0,98%	4,52%	5,50%
Outubro/2019	0,97%	4,50%	5,47%	Abril/2019	0,99%	4,55%	5,54%
Setembro/2019	0,92%	4,25%	5,17%	Março/2019	0,85%	3,89%	4,74%
Agosto/2019	0,86%	3,95%	4,81%	Fevereiro/2019	0,61%	2,83%	3,44%
Julho/2019	0,86%	3,96%	4,82%	Janeiro/2019	0,94%	4,34%	5,28%

Fonte: adaptado de ANEEL (2019b).

Utilizou-se como base de cálculo a bandeira verde (ANEEL, 2019a), além dos impostos (tributos) do Programa de Integração Social (PIS); o Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PASEP); e a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), que sofrem variação mensal, considerando de janeiro a dezembro de 2019 (Tabela 3). Por tratar do subgrupo ‘B1 – Baixa Renda’, embasado pelo Convênio ICMS (2015), o Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços (ICMS), que tem o valor fixo de 25%, foi desconsiderado para o cálculo (CONFAZ, 2015). A Equação 3 representa o cálculo da tarifa com tributos.

$$Tarifa\ com\ tributos = \frac{Tarifa\ ANEEL}{1 - \frac{Tributos\ \%}{100}} \quad (3)$$

Onde,

- Os cálculos das tarifas de energia com tributos foram feitos com base em 11/12/2019;
- A tarifa ANEEL é calculada a partir do somatório entre TUSD e TE (R\$); e

- Os tributos são calculados a partir do somatório entre PIS/PASEP, COFINS E ICMS (%).

O **sexto procedimento** consistiu na análise dos protótipos habitacionais, a partir dos custos de implementação das alterações das paredes, coberturas e janelas propostas, com valores fundamentados nos dados do relatório ‘Referências de Preços e Custos’ do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2019b) e da ‘Tabela Referencial de Serviços – Obras – 2019’, do Instituto de Obras Públicas Espírito Santo (IOPES, 2019). A faixa de renda 1,5 do PMCMV, com ano base 2019, (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2019a), foi adotada como referencial para a análise da viabilidade econômica, pois, de acordo com consulta a funcionários da Caixa Econômica Federal, até a data da pesquisa, a Faixa 1 não teve liberação para novos empreendimentos (BRAGATTO, 2019).

Para a mensuração dos investimentos e sua viabilidade, foram considerados dois indicadores econômicos: Valor Presente Líquido (VPL) (Equações 4 e 5) e o *Payback* (Equação 6) (PUCCINI, 2011; CASAROTTO FILHO; KOPITTKE, 2010). Outras pesquisas, como o de Fraga (2020), que analisou o potencial de aplicação do conceito *Zero Energy* para edificações comerciais em Vitória, e o de Palaoro (2019), que desenvolveu um método para confecção do Mapa Solar Interativo de Vitória, também utilizaram os indicadores VPL e *Payback* na determinação da viabilidade das propostas que visam a melhoria da eficiência energética no ES, demonstrando que estes indicadores podem ser adequados à análise de viabilidade econômica de estudos de alterações de elementos construtivos e implementação de dispositivos de melhoria do desempenho.

Adotou-se o período máximo (n) de 30 anos (360 meses) para o financiamento das habitações populares da Faixa 1,5 entre os anos de 2019 e 2020, período de desenvolvimento da pesquisa (CEF, 2020) e um período intermediário de 15 anos (180 meses), visando a avaliação dos possíveis retornos parciais obtidos pelos moradores. Admitiu-se, quanto à atratividade mínima (i), a meta atualizada da taxa básica de juros, o Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC), apontado pelo histórico do Banco Central do Brasil (2019), vigente até 11 de dezembro de 2019.

$$V_{retorno} = A * \left\{ \frac{1 - \left[\frac{1}{1+i^n} \right]}{i} \right\} \quad (4)$$

$$VPL = V_{retorno} - Investimento\ inicial \quad (5)$$

$$Payback = \left\{ \frac{Investimento\ inicial}{Pagamento\ por\ período} \right\} \quad (6)$$

Onde,

- $V_{retorno}$ é o valor de retorno (PUCCINI, 2011);
- i é a taxa de atratividade mínima;
- n é o tempo, em anos;
- A é o recebimento anual sucessivo;
- VPL é o valor presente líquido (PUCCINI, 2011);
- *Payback* é o retorno do investimento inicial;
- Investimento inicial é o valor, em reais, caracterizado pelo custo das alterações propostas para a envoltória; e
- Pagamento por período é o valor economizado pela redução na operação dos ventiladores.

O VPL foi aplicado às condicionantes que definem três resultados possíveis: se $VPL > 0$, o investimento produziu ganhos; se $VPL = 0$, o investimento e os ganhos foram equilibrados; e se $VPL < 0$, o investimento foi maior que os ganhos. Quanto ao *Payback* do investimento proposto (CASAROTTO FILHO; KOPITKE, 2010), foram adotados pagamentos uniformes ou parcelas iguais, como mostrado na Equação 6.

Resultados

Análise do desempenho térmico para o conforto aceitável nos modelos

De acordo com os critérios da NBR 15220-3 (ABNT, 2003) e, sobretudo, do procedimento simplificado da emenda NBR 15575 (ABNT, 2021a), o MReal atingiu o nível de desempenho mínimo, já que, como mostrado na Tabela 2, os valores das propriedades térmicas da envoltória se mantêm dentro dos limites estabelecidos pela norma. A simulação ratificou, contudo, que a obtenção do nível mínimo de desempenho da edificação pelo procedimento simplificado não garante, necessariamente, o conforto do usuário, uma vez que houve registro de GHR durante todo o ano para o Modelo Real (MReal), em todos os cenários.

No MReal em Colatina (MRealC), a fachada frontal voltada para a orientação Sul foi adotada como referência (pior desempenho), com o maior GHR para a Sala (que, possui as aberturas voltadas a Oeste) e para o Dormitório 1 (com abertura direcionada à orientação ao Sul e parede ao Leste). No MReal em Vitória (MRealV), a orientação oeste obteve o pior desempenho para os três ambientes, como demonstrado pelo Σ GHR na Tabela 4.

Tabela 4 - Destaque (vermelho) para somatório de GHR (°C.h), por estação e anualmente, nos cenários do MReal, indicando a orientação referência

		Colatina (MRealC)				
Orientação da fachada frontal do modelo simulado		Estação do ano (°C.h)				Σ GHR Anual (°C.h)
		Primavera	Verão	Outono	Inverno	
Sala	Norte	608	815	577	307	2.307
	Sul	645	881	643	422	2.591
	Leste	608	813	620	433	2.474
	Oeste	516	787	582	158	2.043
Dorm. 1	Norte	707	936	656	357	2.656
	Sul	671	860	686	498	2.715
	Leste	680	881	626	427	2.614
	Oeste	595	876	710	261	2.442
Dorm. 2	Norte	698	925	693	406	2.722
	Sul	676	870	615	425	2.586
	Leste	693	926	641	414	2.674
	Oeste	547	803	681	276	2.307
		Vitória (MRealV)				
Sala	Norte	322	766	591	625	2.304
	Sul	362	774	630	641	2.407
	Leste	394	768	644	625	2.431
	Oeste	731	776	583	630	2.720
Dorm. 1	Norte	409	826	647	692	2.574
	Sul	485	801	698	682	2.666
	Leste	436	829	666	694	2.625
	Oeste	835	823	696	691	3.045
Dorm. 2	Norte	440	813	679	679	2.611
	Sul	421	818	653	680	2.572
	Leste	385	824	640	685	2.534
	Oeste	825	795	695	676	2.991

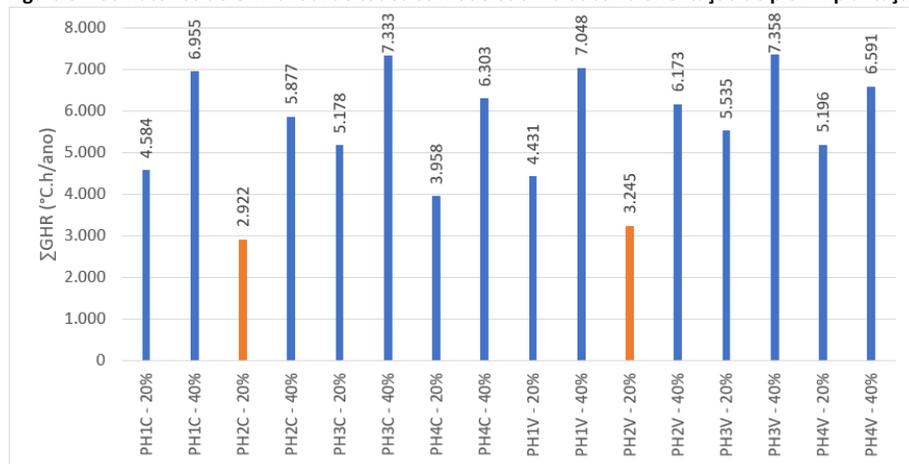
Fonte: as autoras.

As partir das orientações de referência, foram simulados os PHs. Como mostrado na Figura 5, o PH2 – 20% (20% da área do piso para ventilação) obteve o melhor desempenho

térmico, com redução do Σ GHR anual superior a 63% em todos os cenários (cidades, estações e orientações). Por conta deste resultado, este foi estabelecido como o PH de referência a ser comparado ao MReal, a fim de verificar se as alterações propostas foram válidas e viáveis.

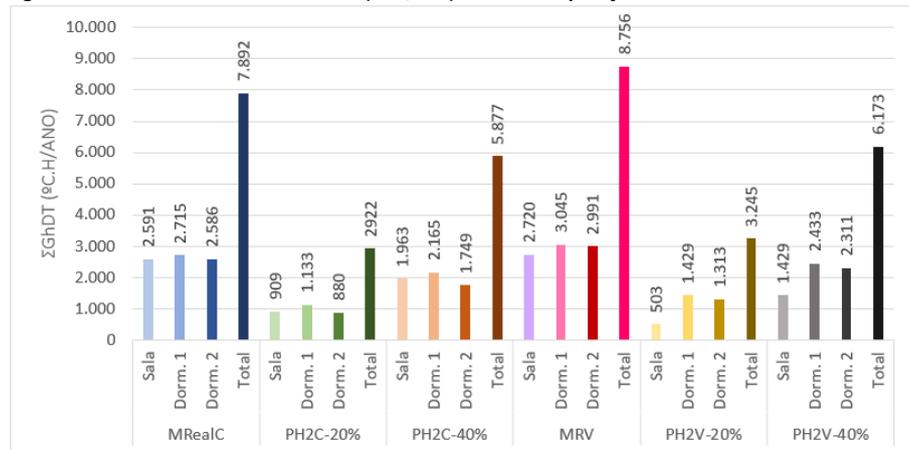
Mesmo com a simultânea ocorrência de horas de desconforto em cada APP, a análise somada dos cômodos permitiu a compreensão do desempenho geral dos protótipos (Figura 6).

Figura 5 – Somatórios de GHR anual de todos os modelos simulados na orientação de pior implantação em cada cidade



Fonte: as autoras.

Figura 6 – Gráfico do somatório de GHR (°C.h/ano) anual – comparação entre o MReal e o PH2-20% e 40%

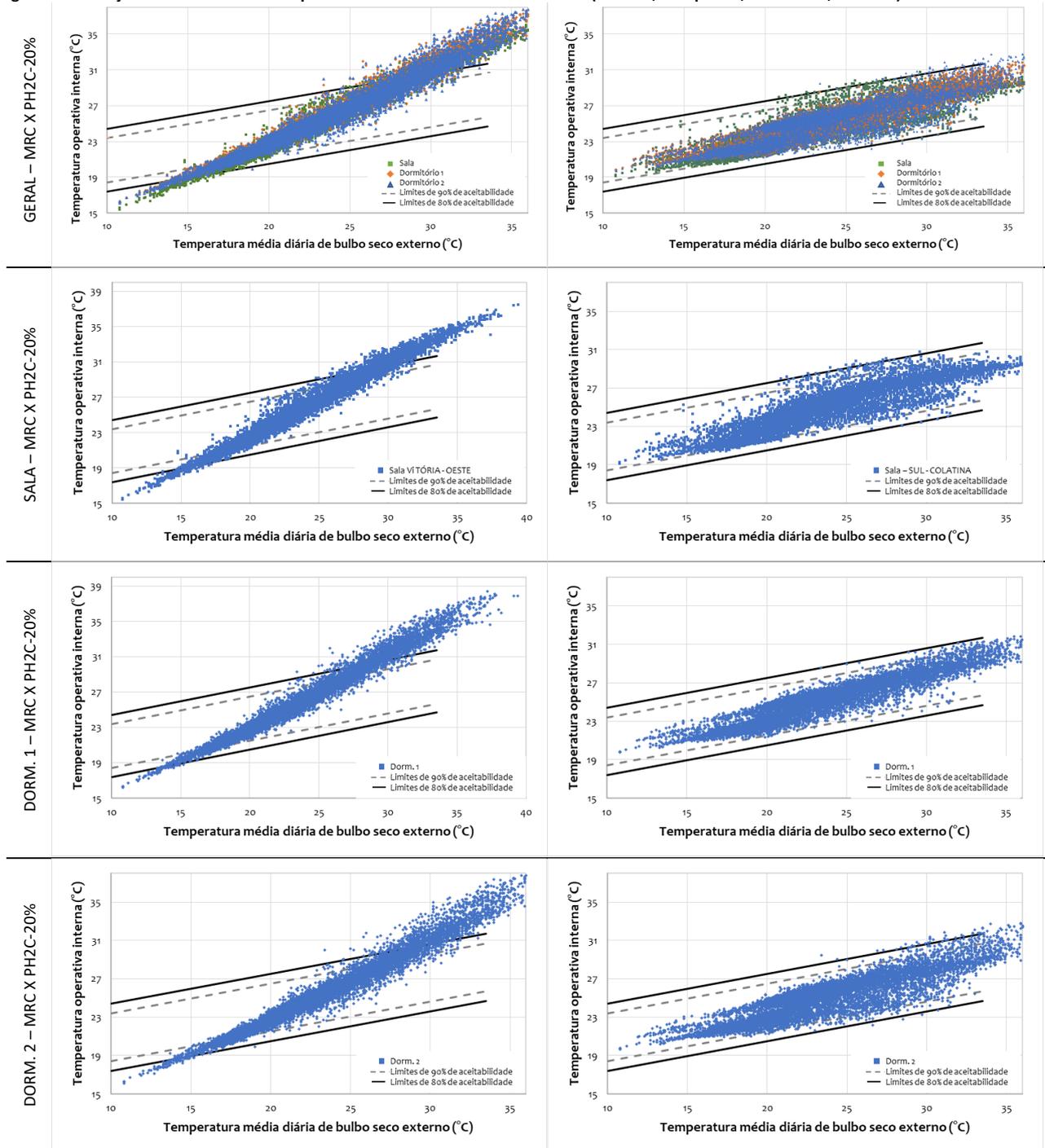


Fonte: as autoras.

O PH2 – 40%, que atende às recomendações da NBR 15220-3 (ABNT, 2003) quanto aos 40% de área útil de ventilação, apresentou um resultado pior para o conforto térmico (maior GHR) (Figura 6). Este dado ratifica que a emenda da NBR 15575 (ABNT, 2021a, 2021b, 2021c) apresenta uma avaliação mais detalhada do desempenho térmico, permitindo elencar soluções mais eficazes dentro dos cenários estabelecidos, com soluções mais plausíveis para a melhoria das condições de conforto da HIS. Nota-se, ainda, que uma A_{vent} igual ou superior a 40% da área de piso do APP não se apresenta como uma alternativa viável para a melhoria do desempenho térmico nas cidades da ZB8 avaliadas, visto que este percentual vincula maior ventilação, mas também maior ganho de cargas térmicas no ambiente interno.

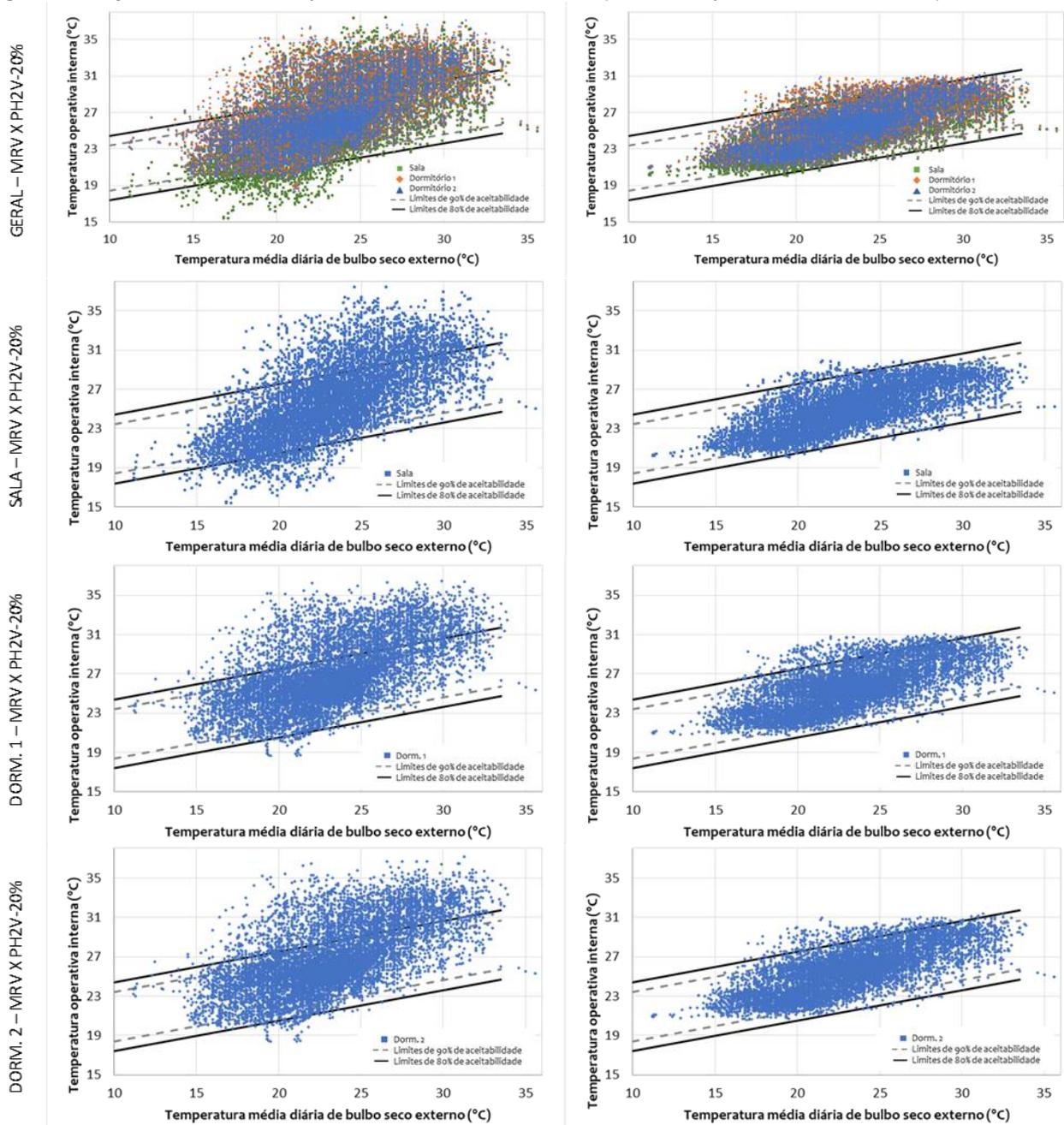
Os gráficos das Figuras 7 e 8 permitem visualizar a adequação do PH2-20%, durante o ano inteiro, reiterando que as alterações da envoltória aumentam as horas em conforto térmico do usuário no contexto estudado.

Figura 7 – Condições de conforto térmico para 90% de aceitabilidade em Colatina (MRealC, à esquerda, e PH2-20%, à direita)



Fonte: as autoras.

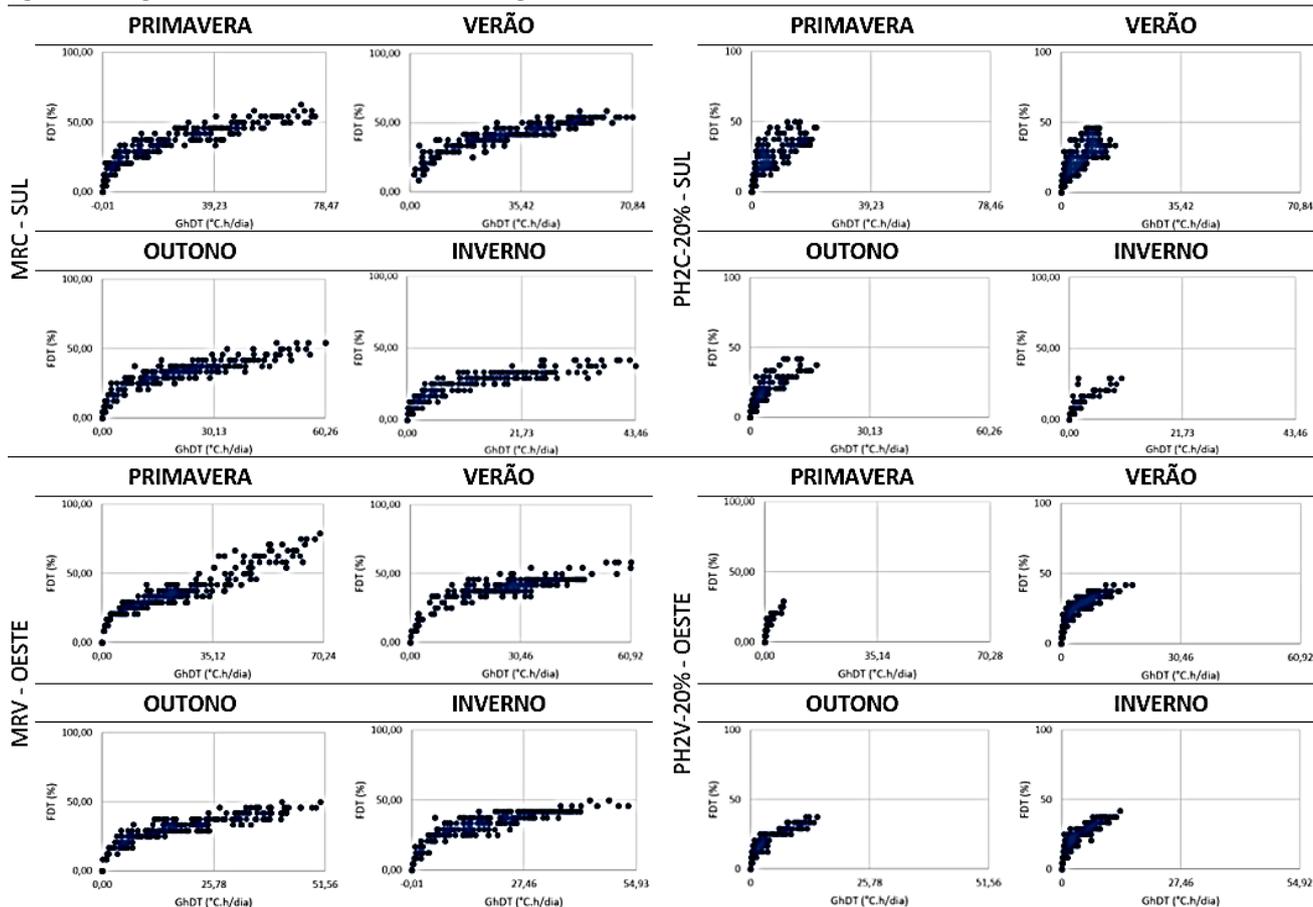
Figura 8 – Condições de conforto térmico para 90% de aceitabilidade em Vitória (MRealV, à esquerda, e PH2V-20%, à direita)



Fonte: as autoras.

A Figura 9 demonstra a redução do desconforto do usuário, proporcionada pelo PH2C-20% e pelo PH2V-20%, em cada estação do ano. O PH2 – 20% definiu um desconforto geral temporário e leve, com diversos registros de dias sem desconforto térmico. Os diagramas de fluatibilidade demonstraram que o MRealC e o MRealV necessitam de alterações na envoltória, com alguns resultados que apontam a necessidade de alterações no comportamento do usuário – como no caso do MRealC na primavera.

Figura 9 - Plotagem dos GHRs de todos os cenários no diagrama de fluatuabilidade



Fonte: as autoras.

Como demonstrado (Tabela 4 e Figura 9), a primavera, o verão e o outono, no MRealC, apresentaram, respectivamente, os três piores resultados, com desconforto temporário leve a intenso, e alguns dias nas estações de verão, outono e primavera com desconforto frequente e intenso. A primavera teve o maior GHR, de aproximadamente 79°C.h/dia. O inverno obteve os índices mais amenos, com um GHR máximo 45% menor do que o maior valor simulado na estação da primavera, com GHR inferior a 44°C.h/dia. Os altos índices de desconforto na primavera e no verão também podem ser intensificados pela elevada umidade, já que as duas estações consistem nos meses de maior umidade relativa do ar no município, com registro, em média, de 82,57% (PROJETEEE, 2020).

Para o MRealV, a primavera também se consolidou como a pior estação, com aproximadamente 70°C.h/dia de desconforto temporário leve a intenso. No verão, foram registrados períodos de desconforto temporário leve e intenso. Em Vitória, a radiação solar direta chega a um total diário médio de 6.484 Wh/(m².dia) em fevereiro e 5.517 Wh/(m².dia) em janeiro, demonstrando que o verão conta com os mais elevados valores para este fator (PROJETEEE, 2020).

As alterações no MReal demonstraram uma melhora no conforto, para as duas cidades e para as piores orientações, sul, para Colatina, e oeste, para Vitória. Considerando o \sum GHR entre sala, dormitório 1 e dormitório 2, Vitória obteve a maior redução absoluta média anual das horas de desconforto, com decréscimo de 5,511°C.h/dia, adotando o período de um ano, enquanto em Colatina houve mais de 4,970°C.h/dia de redução do desconforto térmico.

A redução da intensidade e da frequência do desconforto térmico proporcionada pelo mesmo protótipo nas duas cidades pode ser compreendida pela similaridade climática que os categoriza como pertencentes à ZB8, mas os diferentes percentuais de melhoria do desempenho reiteram a importância da individualização projetual quanto à implantação de conjuntos habitacionais em cidades pertencentes à mesma ZB. Além da adequação fundamental proporcionada pelo bloco cerâmico e pela janela com venezianas em disposição vertical – com 20% de área útil – que caracterizam a envoltória do PH2-20%, destaca-se a influência do forro PVC no equilíbrio térmico dos ambientes internos das habitações.

O Σ GhDT anual demonstrou que o PH1 – 20%, que conta com o mesmo SVVE e janela do PH2-20%, diferenciando-se pelo SC em Isotelha 30mm com núcleo PUR e laje pré-moldada 12cm com recheio de EPS – apresentou desempenho inferior. Nota-se, portanto, o papel essencial do forro PVC no equilíbrio das cargas térmicas da moradia avaliada, evidenciando a função dos elementos de vedação na melhoria do desempenho térmico na habitação.

Análise da eficiência energética dos modelos

Os referenciais descritos na Tabela 5 foram adotados para a determinação dos custos adicionais de operação de três ventiladores tanto do MReal quanto do PH2-20%. Os valores de tarifas e tributos de cada cidade foram levantados e calculados segundo cada distribuidora de energia elétrica.

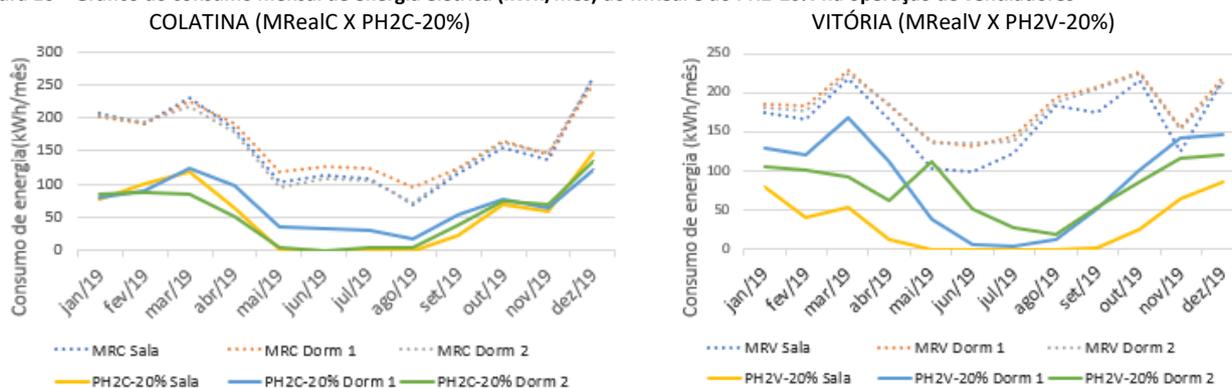
Tabela 5 – Tarifas residenciais de distribuição de energia elétrica, com base em 11/12/2019

Tarifas de aplicação – Subgrupo B1 (Residencial de Baixa Renda) ¹				
Cidade	Distribuidora	Tarifas (R\$/kWh) ²	Tarifas – 40% ²	ICMS3 (%)
Colatina	ELFSM	0,518	0,311	–
Vitória	EDP	0,526	0,316	–

Nota: ¹ Valores correspondentes ao Subgrupo B1 – convencional Baixa Renda, com desconto de 40% para a categoria com parcela do consumo mensal superior a 30 (trinta) kWh e inferior ou igual a 100 (cem) kWh, segundo a Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010. Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010; ² TUSD +TE (R\$/kWh); e ³ Convênio ICMS para consumidores da Subclasse Residencial Baixa Renda. Fonte: as autoras.

A Figura 10 demonstra a diferença entre o MReal e o PH2-20% quanto à quantidade mensal e anual, respectivamente, de consumo de energia (kWh/mês) para a operação dos três ventiladores na sala e nos dois dormitórios.

Figura 10 – Gráfico do consumo mensal de energia elétrica (kWh/mês) do MReal e do PH2-20% na operação de ventiladores

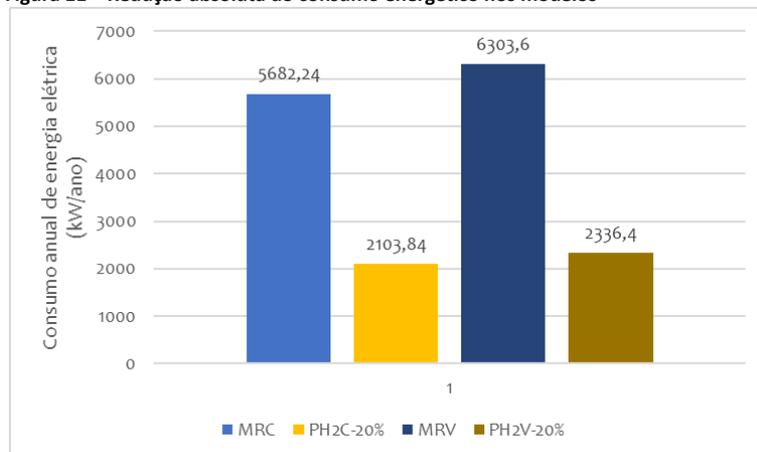


Fonte: as autoras.

Quanto à eficiência energética das propostas, em valores absolutos, Vitória apresentou a maior redução na demanda de energia elétrica (Figura 11). Entretanto, percentualmente, para a demanda por energia elétrica destinada à operação dos ventiladores, Colatina contou com uma redução de 62,98%, superior ao decréscimo

62,94% em Vitória. Este resultado é diretamente proporcional à redução absoluta do GHR, por meio da PH2-20%, em relação ao MRealV e ao MRealC. Isto é óbvio, se se reduz os GHR, se reduz a necessidade de resfriamento e se reduz o consumo de energia! O resultado obtido corrobora o que era estipulado pelas autoras quanto ao impacto que as adequações da envoltória possuem na garantia do conforto térmico. Aqui a contribuição está nas quantidades economizadas, não no fato de ocorrer a economia.

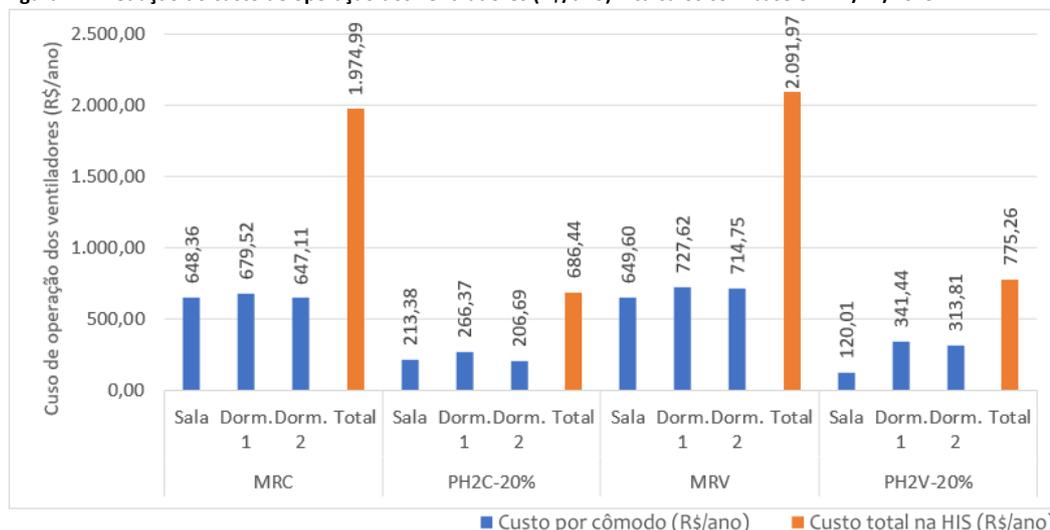
Figura 11 – Redução absoluta do consumo energético nos modelos



Fonte: as autoras.

Houve, ainda, a conseqüente redução dos custos relativos à operação dos ventiladores, já que a minimização da demanda energética nas moradias é diretamente vinculada ao valor adicional pago pela energia utilizada na operação dos ventiladores (Figura 12).

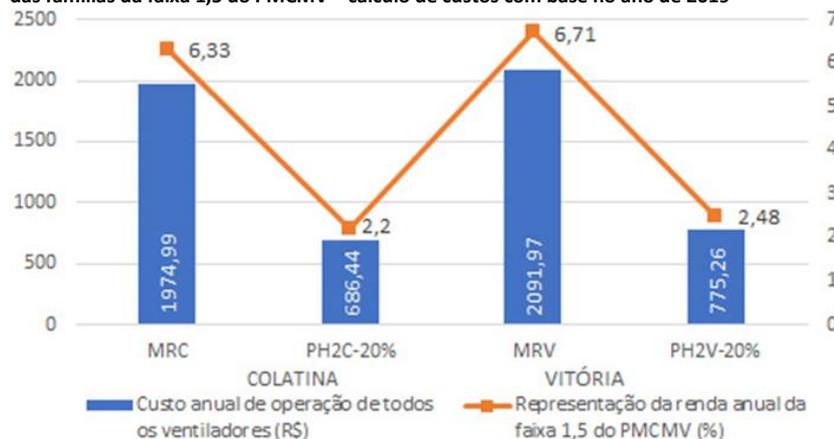
Figura 12 - Redução do custo de operação dos ventiladores (R\$/ano) – cálculos com base em 11/12/2019



Fonte: as autoras.

A Figura 13 demonstra o quanto, percentualmente, as demandas de energia no MReal e no PH2-20% representam na renda mensal dos moradores, considerando a Faixa 1,5 do PMCMV, apontando que, dentro do recorte da pesquisa, moradores de Vitória obteriam a economia mais significativa – em valores absolutos – na implementação do PH2-20%, de R\$ 1.316,71, e de R\$ 1.288,55 em Colatina – cálculos com base em 11/12/2019. Logo, as alterações propostas pelo PH2-20% configuram uma impactante minimização do desconforto térmico e, conseqüentemente, do consumo de energia elétrica adicional e dos custos arcados pelos moradores.

Figura 13 - Custo percentual de operação dos ventiladores em relação à renda média mensal das famílias da faixa 1,5 do PMCMV – cálculo de custos com base no ano de 2019



Fonte: as autoras.

Análise de custos e viabilidade econômica pelo conceito Payback

De acordo com os valores de consumo de energia para os dois modelos, como mostrado na Tabela 6, o PH2-20% vincula um investimento de R\$ 3.799,92 acrescido ao custo do MReal calculado com base nos custos SINAPI (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2019b). O acréscimo oriundo das alterações permitiu a determinação do V_{retorno} e do VPL dos municípios pesquisados, considerando 30 anos e 15 anos, períodos total e parcial de financiamento (Figura 14).

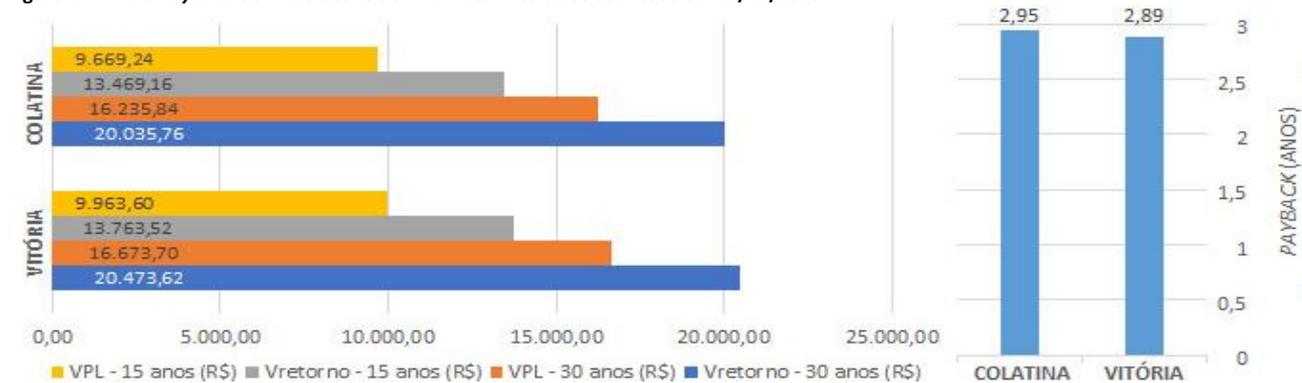
Tabela 6 - Levantamento de custos de execução do MReal e do PH2-20%, com base no SINAPI – Relatório de Insumos e Composições do quadrimestre, cálculos com base em 11/12/2019

	Insumo/Componente	Un.	Preço (R\$)	Qt.	Custo (R\$)
MREAL	Bloco de concreto estrutural (9 x 19 x 39 cm), FBK 4,5 MPA (NBR 6136)	un.	1,44	1.135	1.634,40
	Telha isotérmica Kingspan – Isoeste 30mm (PUR)	m ²	120,00	63,08	7.569,6
	Janela de correr em alumínio (100x120cm), 2 fls, sem bandeira, acab. acetinado, requadro (6 a 14 cm), com vidro, sem guarnição	un.	299,90	4	1.199,60
	Guarnição/moldura de acabamento para esquadria de alumínio anodizado natural, para 1 face	m	7,60	10,56	80,26
TOTAL MReal:					10.483,86
PH2-20%	Bloco cerâmico 14 x 19 x 39cm, FBK 4,5 MPA (NBR 15270)	un.	1,60	1.107	1.771,20
	Telha isotérmica Kingspan – Isoeste 30mm (PUR)	m ²	120,00	65,67	7.880,40
	Forro de PVC, frisado, branco, régua de 20 cm, espessura de 8 mm a 10 mm e comprimento 6 m (sem colocação)	m ²	15,98	46,06	736,04
	Elemento vazado (cobogó) cerâmico (25 x 18 x 7 cm)	un.	1,44	74	106,56
	Janela maxim-ar (1,1x1,25m), esquadria de alumínio anodizado natural, fechamento em vidro incolor 4mm. Requadro (4 a 14cm), com vidro, sem guarnição/ alizar	m ²	373,19	6,05	2.257,80
	2 folhas laterais venezianas vazadas fixas em alumínio anodizado natural.	m ²	314,69	4,4	1.384,64
Guarnição/moldura de acabamento para esquadria de alumínio anodizado natural, para 1 face	m ²	7,60	19,36	147,14	
TOTAL PH2-20%:					14.283,78

Fonte: as autoras.

Os dois municípios apresentaram viabilidade econômica para a execução do PH2 – 20%. Assim, o investimento proposto é financeiramente atrativo, chegando a mais de 13 mil e 20 mil reais de retorno líquido para 15 e 30 anos, respectivamente, representando o potencial de economia obtida pelos moradores ao longo do tempo máximo de financiamento. O indicador *Payback* ainda constatou que, pelos parâmetros estabelecidos, o investimento seria pago, nas duas cidades, em um prazo inferior a três anos (Figura 14). Ratifica-se, portanto, que as alterações propostas por meio do PH2-20%, representam melhorias quanto ao desempenho termoenergético nas duas cidades e, ainda, se caracterizaram como viáveis e lucrativas, dentro dos parâmetros fixados.

Figura 14 - VPL e Payback do PH2C-20% e do PH2V-20% – cálculos com base em 11/12/2019



Fonte: as autoras.

Considerações finais

O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto da adequação da envoltória de uma HIS unifamiliar localizada na ZB8, denominada Modelo Real (MReal) – em bloco de concreto, cobertura em Isotelha com núcleo PUR, sem laje ou forro, e janelas de correr em duas folhas, com fechamento em vidro incolor, extraído do Conjunto Habitacional Ayrton Senna (CHAS), na cidade de Colatina/ES e, comumente, replicada no PMCMV – a um Protótipo Habitacional (PH) que incorpora diretrizes da NBR 15220-3 (ABNT, 2003) e da Emenda 1 (ABNT, 2021a, 2021b, 2021c) da NBR 15575 (ABNT, 2013), quanto ao conforto térmico e à eficiência energética, além de comparar a viabilidade econômica das adequações propostas.

Ainda que as propriedades térmicas do MReal não ultrapassem os valores de referência recomendados pela NBR 15220-3 para a ZB8, o modelo não conta com forro ou laje. Seu Percentual de Abertura para Ventilação (P_{VAPP}) também é cerca de 10% inferior aos 40% da área do piso indicados pela norma. Visando avaliar possíveis melhorias no desempenho da envoltória, por meio da adequação às normas de referência, foram elaborados oito protótipos habitacionais (PHs), resultantes da parametrização entre dois tipos de paredes, dois modelos de coberturas e dois tipos de janelas, mantendo-se o layout e metragens dos APPs.

Em Colatina e em Vitória, os resultados demonstraram o PH2-20%, em bloco cerâmico, cobertura em Isotelha – núcleo de PUR com ático ventilado e forro PVC – e janelas com duas venezianas verticais, com área útil de ventilação igual a 20%, foi o que obteve o melhor desempenho – ou seja, o menor ΣGHR anual e FDT, chegando a zero para determinados cenários e períodos.

Conseqüentemente, os dois municípios obtiveram uma efetiva redução do consumo de energia elétrica anual, com mais de 63% de decréscimo em Vitória e em Colatina, proporcionando, respectivamente, R\$ 1.316,71 e R\$ 1.288,55 de economia, calculados com base no ano de 2019. As alterações propostas também demonstraram viabilidade, com VPL positivo, com um $V_{retorno}$ superior a 13 mil reais, em 15 anos, e a 20 mil reais, em 30 anos, além de um *payback* do valor investido inferior a três anos para ambos – calculado com base no ano de 2019.

Constatando que os custos de operação das HIS do PMCMV poderiam ser significativamente minimizados pela adequação ao clima local, destaca-se a necessidade da consideração da relação entre o investimento inicial e a operação da edificação. Ratifica-se que as alterações propostas representam melhorias quanto ao desempenho termoenergético, caracterizando-se como benéficas, viáveis e lucrativas, dentre os parâmetros fixados, em mais de um aspecto.

Aponta-se, como limitação da pesquisa, que apenas um modelo de HIS unifamiliar foi analisado, e que tipologias distintas replicadas em território nacional, incluindo habitações multifamiliares ou com condicionamento climático artificial, podem apresentar resultados diferentes daqueles obtidos no trabalho. Destaca-se, ainda, que a variabilidade de preços de insumos e de tarifas federais e estaduais, já alteradas desde o período da pesquisa, pode representar mudanças nos indicadores de atratividade, viabilidade e tempo de retorno do investimento proposto por meio das alterações. Por fim, a inclusão de outras cidades do Espírito Santo, que também contêm arquivos climáticos, pode caracterizar um fator positivo de generalidade da pesquisa, contribuindo para a compreensão dos recortes meso e microclimáticos locais.

Agradecimentos

As autoras agradecem o apoio financeiro recebido para o desenvolvimento dessa pesquisa, provenientes da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo – FAPES (Termo de Concessão de Bolsa N. 047/2021).

Referências

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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, 2003.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1:2013 Emenda 1:2021**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021a.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4:2013 Emenda 1:2021**: Edificações habitacionais - Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro: ABNT, 2021b.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5:2013 Emenda 1:2021**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2021c.
- AKUTSU, M. ; VITTORINO, F. . Conforto Térmico. In: Instituto de Pesquisas Tecnológicas -IPT; Finep. (Org.). Critérios Mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social. 1ed.São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. -IPT, 1997, v. 1.
- AMORIM, A. C. **Análise de métodos de determinação do zoneamento bioclimático brasileiro a partir do estudo de caso de Colatina – ES**. 2015. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2015. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/7664>. Acesso em: 25 nov. 2021.
- AMORIM, A. C. **Arquivo climático de Colatina – Espírito Santo**. Destinatários: Nayara Salera Malta, Isabella Moraes Rabbi, Edna Nico Rodrigues. Vitória, 29 nov. 2019. 1 mensagem eletrônica.
- ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Bandeiras tarifárias**. Brasília, 2019a. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>. Acesso em: 26 mai. 2022.
- ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Ranking das Tarifas**. Brasília, 2019b. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>. Acesso em: 26 mai. 2022.

ASHRAE. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE 55: Thermal Environmental Conditions for human Occupancy**. Atlanta: ASHRAE, 2013.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxas de juros básicas**: Histórico das taxas de juros fixadas pelo Copom e evolução da taxa Selic. Brasília: Banco Central do Brasil, 2019. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>. Acesso em: 28 ago. 2020.

BHAMARE, D. K.; RATHOD, M. K.; BANERJEE, J. Evaluation of cooling potential of passive strategies using bioclimatic approach for different Indian climatic zones. **Journal of Building Engineering**, v. 31, Sept. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2020.101356>.

BRAGATTO, M. G. **Projetos Arquitetônicos - Habitações de Interesse Social**. Destinatários: Nayara Salera Malta, Isabella Moraes Rabbi, Edna Nico Rodrigues. Vitória, 29 nov. 2019. 1 mensagem eletrônica.

BRAGER, G. S.; DEAR, R. J. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. **Energy and Buildings**, v. 27, n. 1, p. 83-96, Feb. 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00053-4).

BRASIL. **Lei nº 14.118, de 12 de janeiro de 2021**. Institui o Programa Casa Verde e Amarela e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Presidência da República, 2021. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/Lei/L14118.htm. Acesso em: 24 set. 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Habitação (SNH). **Programa Minha Casa, Minha Vida (MCMV)**. Brasília: SNH, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/habitacao/minha-casa-minha-vida/programa-minha-casa-minha-vida-mcmv>. Acesso em: 24 set. 2021.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. CEF. **Entidades. Recursos FDS**. Brasília: CEF, 2019a. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/Downloads/habitacao-minha-casa-minha-vida/MANUAL_MCMV_ENTIDADES.pdf. Acesso em: 28 ago. 2021.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. CEF. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Brasília: CEF, 2019b. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx>. Acesso em: 26 mai. 2022.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. CEF. Programa Minha Casa Minha Vida. **Dispõe sobre as definições de habitações sociais e critérios para seleção de beneficiários. 2020**. Brasília: CEF, 2020. Disponível em: http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programas_de_repasso_do_OGU/habitacao_interesse_social.asp. Acesso em 28 ago. 2021.

CARLO, J. C.; AMORIM, A. C. Análise das propostas de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro: estudo de caso de Colatina, ES. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 373-391, jan./mar. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000100140>.

CASAROTTO FILHO, N. C.; KOPITKE, B. H. **Análise de Investimentos**: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 411 p.

CHANG, S.; CASTRO-LACOUTURE, D.; YAMAGATA, Y. Decision support for retrofitting building envelopes using multi-objective optimization under uncertainties. **Journal of Building Engineering**, v. 32, Nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2020.101413>.

CHVATAL, K. M. S.; MARQUES, T. H. T. Avaliação de diferentes alternativas de modelagem de habitações de interesse social no programa de simulação de desempenho térmico Energyplus. **Revista Tecnológica**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 67-79, ago. 2016. DOI: <https://doi.org/10.4025/revtecnol.v25n1.28690>.

CONFAZ. CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA. **Convênio ICMS 129, de 4 de novembro de 2015**. Altera o Convênio ICMS 54/07, que isenta do ICMS o fornecimento de energia elétrica para consumidores da Subclasse Residencial Baixa Renda, nos termos da Lei nº 10.438, de 2002. Publicado no DOU em 06.11.15, pelo Despacho [212/15](#). Brasília: CONFAZ, 2015. Disponível em: https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/CV129_15. Acesso em: 28 ago. 2020.

ELETROBRÁS. CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. **Pesquisa de posse e hábitos de uso de equipamentos elétricos na classe residencial – Espírito Santo**. 2019. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS, 2019. 192 p. Disponível em: https://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/ESTADOS_ESPIRITO_SANTO.pdf. Acesso em: 28 ago. 2020.

ELETROBRÁS. CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. **Tabela de estimativa de consumo médio mensal de eletrodomésticos de acordo com um uso hipotético**. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS, 2015. Disponível em: <http://www.industriahoje.com.br/wp-content/uploads/downloads/2015/01/Tabela-Consumo-Equipamentos-Procel-Eletronbras.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2020.

ENERGYPLUS. **EnergyPlus documentation: Engineering Reference**. Washington, D.C.: US Department of Energy, 2018. Disponível em: https://energyplus.net/assets/nrel_custom/pdfs/pdfs_v22.1.0/EngineeringReference.pdf. Acesso em: 03 jun. 2018.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **CEN EN 15.251:2007**: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Brussels: CEN-CENELEC, 2007. Disponível em: http://www.cres.gr/greenbuilding/PDF/prend/set4/WI_31_Pre-FV_version_prEN_15251_Indoor_Environment.pdf. Acesso em: 06 jun. 2018.

FRAGA, A. A. Potencial de adoção do conceito Zero Energy para edificações comerciais em Vitória-ES. 2020. 164 f. **Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)** - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2020. Disponível em: https://sappg.ufes.br/tese_drupal//tese_14274_ANDERSON%20AZEVEDO%20FRAGA%20-%20VERS%C3O%20FINAL.pdf. Acesso em: 3 junho de 2021.

FRANCO, L. C.; MENDES, J. C. COSTA, L. C. B.; PIRA, R. R.; PEIXOTO, R. A. F. Design and thermal evaluation of a social housing model conceived with bioclimatic principles and recycled aggregates. **Sustainable Cities and Society**, v. 51, Nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101725>.

HERMAWAN, H.; HADIYANTO, H.; SUNARYO, S.; KHOLIL, A. A thermal performance comparison of residential envelopes at the tropical Highland for occupants' thermal comfort. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 200, 2018. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/200/1/012034/pdf>. Acesso em: 19 nov. 2021.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas do Censo Demográfico 2010**: Urbanização. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv64529_cap6.pdf. Acesso em: 28 ago. 2020.

IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Technology Roadmap: Energy Efficient Building Envelopes**. Paris: IEA, 2013. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-energy-efficient-building-envelopes>. Acesso em: 19 nov. 2021.

INCAPER. INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **Zonas Naturais do Espírito Santo**: uma regionalização do Estado, das microrregiões e dos municípios, Vitória: INCAPER, 1999. 95 p. Disponível em: http://www.ijsn.es.gov.br/ConteudoDigital/20121211_es01655_zonasnaturaisdoespiritosanto.pdf. Acesso em 28 nov. 2021.

INMET. INSTITUTO INTERNACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas**. 2016. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 28 ago. 2020.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R**. Brasília: INMETRO, 2012. 136 p. (Anexo da Portaria INMETRO nº 018/2012). Disponível em: <http://www.pbenedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTQR.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2021.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros**. 2013. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtospbe/regulamentos/anexov.pdf>. Acesso em 28 ago. 2020.

IOPES. INSTITUTO DE OBRAS PÚBLICAS DO ESPÍRITO SANTO. **Tabela Referencial de Serviços - Obras**. 2019. Disponível em: <https://iopes.es.gov.br/referencial-preco-1>. Acesso em 26 mai. 2022.

KIM, H.; CLAYTON, M. J. Parametric behavior maps: A method for evaluating the energy performance of climate-adaptive building envelopes. **Energy and Buildings**, v. 219, July 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110020>.

LABEEE. LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Seção Downloads. 2019. **Arquivos climáticos em formato EPW**. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>. Acesso em: 29 nov. 2021.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás/PROCEL: Ministério de Minas e Energia, 2014. 366 p.

MACHADO, J. M.; NICO-RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E. Desempenho térmico x sustentabilidade x custo para sistemas de vedação em habitações de interesse social. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO E EUROPEU SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 13., 2017, São Leopoldo. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2017. p.1581-190. Disponível em: https://lpp.ufes.br/sites/lpp.ufes.br/files/field/anexo/desempenho_termico_-_sustentabilidade.pdf. Acesso em 08 ago. 2018.

MACHADO, J. M.; SIRTULI, B. P.; NICO-RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E. Sustentabilidade e desempenho térmico em habitação de interesse social: aplicação da ferramenta ISMAS em Vitória – ES para vedações verticais. **Paranoá**, n. 27, p. 95-112, jan./jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n27.2020.06>

MORAIS, J. M. S. C.; LABAKI, L. C. CFD como ferramenta para simular ventilação natural interna por ação dos ventos: estudos de caso em tipologias verticais do "Programa Minha Casa, Minha Vida". **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 223-244, jan./mar. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000100133>.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 563-572, July 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00006-3).

NICO-RODRIGUES, E. A.; ENGEL ALVAREZ, C.; SANTO, A. D.; PIDERIT, M. B. Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambientes ventilados naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 7-23, abr./jun. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212015000200011>.

OLIVEIRA, C. C.; SAKIYAMA, N. R. M.; MIRANDA, L. V. Desempenho térmico de uma edificação unifamiliar naturalmente ventilada para o clima de Teófilo Otoni-MG. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 13, n. 2, abr. 2017. DOI: [10.5216/reec.v13i2.42940](https://doi.org/10.5216/reec.v13i2.42940).

OLIVEIRA, P. A.; LUNARDI, D. G. Influência da envoltória no desempenho termoenergético de edificações institucionais no semiárido. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 9, n. 4, p. 276-289, dez. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v9i4.8651048>.

PALAURO, L. B. **Mapa Solar Interativo**: um método proposto para Vitória/ES. 2019. 131 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Centro de Artes. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2019. Disponível em: https://lpp.ufes.br/sites/lpp.ufes.br/files/field/anexo/textodissertacao_lohanepalauro_revisaofinal_1_5.asd__o.pdf. Acesso em: 4 out. 2020.

PARI QUISPE, D. K. **Estrategias bioclimáticas pasivas para el confort térmico en viviendas de interés social mesoandinas**: caso Ciudad de Puno. 2021. 242 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de

Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília. Brasília, 2021.

PROJETEEE. PROJETANDO EDIFICAÇÕES ENERGETICAMENTE EFICIENTES. **Dados climáticos**. Florianópolis: Projeteeee, 2020. Disponível em: <http://projeteeee.mma.gov.br/dados-climaticos/>. Acesso em: 28 ago. 2020.

PUCCINI, A. D. L. **Matemática Financeira**: Objetiva e Aplicada. 9. ed. rev. e atual. São Paulo: Elsevier, 2011. 353 p.

ROETZEL, A.; TSANGRASSOULIS, A.; DIETRICH, U.; BUSCHING, S. A review of occupant control on natural ventilation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 3, p. 1001–1013, Apr. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.11.005>.

RORIZ, M. **Classificação de climas do Brasil - Versão 2.1**. São Carlos: ANTAC, 2013. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/Climas_v2-1.pdf. Acesso em: 28 ago. 2020.

RORIZ, M. **Classificação de climas do Brasil - Versão 3.0**: Relatório Interno. São Carlos: ANTAC, 2014. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/Climas_v3.pdf. Acesso em: 28 ago. 2020.

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**: Relatório Interno. São Carlos: ANTAC, 2012. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Proposta_Revisao_Zoneamento_Bioclimatico.pdf. Acesso em: 28 ago. 2020.

SANTANA NETO, E. J.; SILVA, R. C. Cobogó computacional: da computação material e da atualização de elementos vazados na arquitetura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16, São Paulo, 2016. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2016.

TRZCINSKI, C.; AMARAL, A. J. Política de Habitação de Interesse Social no recorte da segregação socioespacial e os efeitos da violência social. **Colóquio - Revista do Desenvolvimento Regional**, Taquara, v. 16, n. 2., p. 27-49, Edição Especial II SNDR, jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.26767/coloquio.v16i2.1215>.

VETTORAZZI, E.; RUSSI, M.; SANTOS, J. C. P. A utilização de estratégias passivas de conforto térmico e eficiência energética para o desenvolvimento de uma habitação unifamiliar. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE SUSTENTABILIDADE E HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL, 2., 2010, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: CHIS, 2010.

XAVIER, A. C. A.; LUKIANTCHUKI, M. A. Análise da ventilação natural em uma habitação de interesse social, com diferentes configurações de muro, através de simulações CFD. **Risco Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (Online)**, v. 19, p. 1-19, jun. 2021. DOI: 10.11606/1984-4506.risco.2021.169870.

1 Nayara Selera Malta

Arquiteta-Urbanista. Doutoranda. Universidade Federal do Espírito Santo. Endereço postal: Laboratório de Planejamento e Projetos (LPP), CEMUNI I, Sala 7, Av. Fernando Ferrari, 514 – Goiabeira, Vitória, ES – Brasil. CEP: 29075-910.

2 Isabella Moraes Rabbi

Arquiteta Urbanista. Bacharel. Universidade Federal do Espírito Santo. Endereço postal: Laboratório de Planejamento e Projetos (LPP), CEMUNI I, Sala 7, Av. Fernando Ferrari, 514 – Goiabeira, Vitória, ES – Brasil. CEP: 29075-910.

3 Edna Aparecida Nico Rodrigues

Arquiteta-Urbanista. Doutora. Professora Associada da Universidade Federal do Espírito Santo. Endereço postal: Laboratório de Planejamento e Projetos (LPP), CEMUNI I, Sala 7, Av. Fernando Ferrari, 514 – Goiabeira, Vitória, ES – Brasil. CEP: 29075-910.