

## **Análise da Eficiência Energética de Abrigos Emergenciais em Estruturas WikiHouse na Zona Bioclimática 2**

### ***Analysis of the Energy Efficiency of Emergency Shelters in WikiHouse Structures in Bioclimatic Zone 2***

**Gustavo Fernandes, Arquiteto e Urbanista, Coordenador de Atuação Governamental Cincatarina**

guto.fernandesdb@gmail.com

**Lara Lima Felisberto, Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Doutoranda na Universidade Federal de Santa Catarina**

laralimafelisberto@gmail.com

**Juliana Aparecida Biasi, Mestre em Engenharia Civil, Docente na Universidade do Oeste de Santa Catarina**

juliana.biasi@unoesc.edu.br

#### **Resumo**

O aumento dos eventos climáticos está levando milhares de pessoas ao desabrigo. Esta pesquisa propõe a criação de abrigos emergenciais baseados na eficiência energética da Zona Bioclimática 2 de Santa Catarina, devido à sua predominância no estado. Ao utilizar o sistema WikiHouse, os protótipos demonstraram uma eficiência satisfatória, destacando-se pelo emprego de condicionamento passivo. Tanto o resfriamento quanto o aquecimento das edificações apresentaram um bom desempenho, tornando viável o modelo proposto. Conclui-se que este abrigo representa uma solução aplicável diante dos desafios climáticos na região, promovendo resiliência frente a tais eventos.

**Palavras-chave:** Abrigo temporário; Eficiência energética; Prototipagem

#### **Abstract**

*The increase in climate events is leading thousands of people to homelessness. This research proposes the creation of emergency shelters based on the energy efficiency of Bioclimatic Zone 2 in Santa Catarina, due to its predominance in the state. Using the WikiHouse system, the prototypes demonstrated satisfactory efficiency, notably through the use of passive conditioning. Both the cooling and heating of the buildings performed well, making the proposed model viable. It is concluded that this shelter represents an applicable solution to the climate challenges in the region, promoting resilience in the face of such events.*

**Keywords:** Temporary shelter; Energy efficiency; Prototyping

## 1. Introdução

O processo desalinhado e crescente de urbanização no Brasil tem levado ao surgimento de espaços caracterizados por desigualdade e segregação socioespacial nas cidades (Boareto, 2008; Silva et al., 2014) [1] [2]. Essa dinâmica resulta na proliferação de vazios urbanos e áreas degradadas, tanto em termos físicos quanto econômicos, que podem contribuir para a ocorrência de diversos desastres naturais. Os impactos mais graves desses desastres tendem a afetar principalmente os grupos populacionais que residem em áreas geográficas mais vulneráveis (Freitas; Ximenes, 2012) [3].

No estado de Santa Catarina, é frequente a ocorrência de eventos atmosféricos severos, como chuvas intensas e inundações nos vales dos numerosos rios que cortam seu território. Esses eventos têm resultado em múltiplos casos de calamidade e deslocamento de pessoas (Herrmann, 2006) [4]. Portanto, torna-se essencial compreender como a arquitetura e o urbanismo podem auxiliar nestes momentos, agindo de forma rápida e em consonância com os princípios da sustentabilidade para prover abrigo e assistência às comunidades afetadas.

A arquitetura Open Source surge como uma alternativa viável para lidar com tais situações. Esse conceito envolve o compartilhamento aberto de projetos habitacionais digitais, nos quais qualquer pessoa pode acessar, baixar e adaptar conforme necessário. O objetivo é agilizar a construção de moradias emergenciais, oferecendo uma abordagem rápida, acessível, gratuita e ambientalmente consciente (Secchi, 2019) [5]. Dentro desse contexto, o sistema construtivo WikiHouse se destaca como uma opção para a aplicação no estado de Santa Catarina, por conta de sua praticidade, agilidade e eficiência na montagem.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho é realizar uma análise da eficiência energética da Zona Bioclimática 2, predominante no estado de Santa Catarina, para a aplicação de protótipos de abrigos habitacionais criados com base no sistema construtivo WikiHouse, desenvolvido por Alastair Parvin e Nick Lerodiconou.

O trabalho foi dividido em três etapas distintas: a elaboração de protótipos de habitações temporárias em diferentes tamanhos, visando atender às necessidades de diversos tipos de famílias; a realização do cálculo e a definição da envoltória com maior eficiência energética; o cálculo da eficiência energética de cada uma das fachadas dos módulos para definir a posição solar mais eficiente.

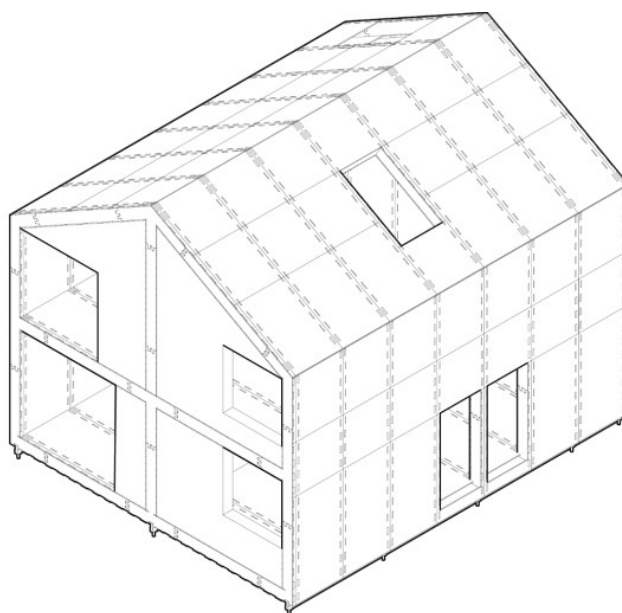
## 2. O Sistema Construtivo WikiHouse

O sistema construtivo Wikihouse faz parte da ferramenta de código aberto, onde qualquer pessoa tem acesso aos arquivos das casas fabricadas digitalmente e disponibilizadas na *web*, podendo baixar e cortar as peças em laboratórios de prototipagem e fabricação digitais. Devido à sua praticidade, esse sistema tem sido usado com frequência na habitação de interesse social, especialmente em casos de emergências (Passaro; Rohde, 2016) [6].

O sistema WikiHouse, oriundo da arquitetura de código aberto, baseia-se em uma licença creative-commons desenvolvida em 2011, por Alastair Parvin e Nick Lerodiconou, onde pórticos são formados a partir de componentes encaixados, geralmente compensados navais, OSB ou MDF, posteriormente cortados em máquinas CNC com cortador a laser (Nardelli; Backheuser, 2016) [7]. Atualmente, o sistema já se espalhou para o mundo todo, com diversos prótítipos em alguns países, bem como Small House desenvolvido na Mongólia e o HereEast Studios na Inglaterra.

O processo de construção do sistema, é conhecido como *Wren* (Figura 1) e atualmente se encontra na versão 4.3. Este sistema surgiu após colaborações entre Arquitetura 00, Arup Associates, Momentum Engineering, Space Craft Systems, entre outros. As organizações utilizam softwares BIM e consequentemente o projeto compreende um modelo virtual 3D a partir do qual desenhos de trabalho, instruções de montagem e construção informações podem ser extraídas (Edward, 2018) [8].

Na tecnologia *Wren*, segundo Prest (online) [9], os componentes do sistema são fabricados em um maquinário CNC usando painéis de madeira (normalmente, madeira laminada colada), posteriormente são encaixados conforme manual *Wren*, no qual outros componentes, bem como os revestimentos, as janelas e portas, são encaixados (Figura 1).



**Figura 1:** Estrutura do Sistema *Wren* utilizado por Parvin e Lerodionou. Fonte: Prest (online) [9].

### 3. Procedimentos Metodológicos

Para realizar a análise da eficiência energética na Zona Bioclimática 2, foram delimitadas três etapas: a concepção de quatro protótipos de abrigos emergenciais, a avaliação da eficiência da envoltória mais eficaz para esses abrigos e a determinação da eficiência energética de cada uma das fachadas. Todos os cálculos apresentados foram realizados com base no RTQ-R (Regulamento Técnico Da Qualidade Para O Nível De Eficiência Energética Edificações Residenciais) (Inmetro, 2012) [10]

#### 3.1 Customização das plantas baixas

Foram elaborados quatro protótipos de plantas baixas de abrigos emergenciais, utilizando de modulações adaptáveis conforme o número de usuários. Estas foram denominadas Hab II, Hab III, Hab IV e Hab V, conforme o número de moradores que cada uma comporta. O dimensionamento dos ambientes propostos foi realizado com base em estudos de caso de projetos desenvolvidos no sistema construtivo WikiHouse e que utilizam a mesma função de abrigo emergencial, como o Warrander Studio, na Nova Zelândia (Makers of Architecture, 2021) [11] e o protótipo Casa Revista (Passaro

e Rohde, 2016) [6], realizado pelo LAMO3D da FAU-UFRJ. As análises foram baseadas nas plantas baixas desenvolvidas.

### 3.2 Definição e avaliação da envoltória

A definição da espessura dos painéis duplos de vedação para avaliação foi norteada a partir de dimensões disponíveis no mercado, buscando diminuir os recortes e o desperdício de material. Portanto, a chapa de madeira utilizada foi o compensado naval de MDF com dimensões de 250 x 160 x 1,8 cm. Além disso, na proposta inicial de Ierodiaconou e Parvin, foi verificado um padrão de repetição formal para a espessura das paredes, onde se repetia 28,6 cm para toda a edificação. Por este motivo, manteve-se a mesma dimensão, a fim de seguir o padrão proposto do sistema construtivo.

A partir desta definição, foi possível selecionar quatro composições de revestimento interno para acrescentar espessura e resistência térmica à edificação, de forma a compensar a baixa capacidade térmica do compensado. Foram realizados estudos com diferentes materiais, visando obter uma boa eficiência energética, com preocupação com o custo e a transmitância térmica do mesmo. Além disso, foi utilizado lona como revestimento externo.

Definidos como painéis P1, P2, P3 e P4, todos são compostos de fechamento em compensado naval de madeira de 18 mm. O painel P1 é composto por duas chapas de compensado (interno e externo) e uma câmara de ar de 214 mm, não ventilada. O painel P2 apresenta o acréscimo de lã de vidro preenchendo no lugar da câmara de ar, bem como o painel P3 e P4, onde a substituição se deu pela lã de rocha e EPS, respectivamente.

A partir disso, realizaram-se os cálculos da eficiência energética para cada um dos materiais, com o objetivo de descobrir qual é o melhor para aplicar posteriormente nos abrigos emergenciais. Nessa etapa, foram analisados três elementos para compreender a eficiência dos materiais: a absorvância solar, a transmitância térmica e a capacidade térmica. Para isso, foram utilizados os pré-requisitos estabelecidos para a Zona Bioclimática 2 conforme o RTQ-R, como está ilustrado na Tabela 1 (Inmetro, 2012) [10].

**Tabela 1:** Pré requisitos para de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para a Zona Bioclimática 2

Zona Bioclimática	Componente	Absorvância Solar (adimensional)	Transmitância Térmica [W/(m²/K)]	Capacidade térmica [kJ/(m²/K)]
ZB2	Parede	Sem exigência	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	Sem exigência	$U \leq 2,30$	Sem exigência

Fonte: Adaptado de Inmetro, 2012 [10].

### 3.3 Determinação da Eficiência Energética dos Protótipos Habitacionais

Com os dados anteriores é possível calcular o equivalente numérico da envoltória da Unidade Habitacional Autônoma, neste caso, quando ventilada naturalmente. Para isso utilizou-se o método prescritivo de cálculo da envoltória. Para chegar nesta etapa, ainda é necessário calcular o indicador de Graus-Hora para Resfriamento e o Consumo Relativo para Aquecimento de cada protótipo, cálculos que

foram realizados. Após esse cálculo, haverá a equação para determinar o equivalente numérico da envoltória para a Zona Bioclimática 2, sendo esta:

$$EqNumEnv = 0,44 \times EqNumEnvResfr + 0,56 \times EqNumEnvA$$

ONDE:

EqNumEnv: equivalente numérico da envoltória da UH;

EqNumEnvResfr: equivalente numérico da envoltória da UH para resfriamento;

EqNumEnvA: equivalente numérico da envoltória da UH para aquecimento.

### 3.3.1 Determinação do Sistema de Aquecimento de Água – EqNumAA

É necessário calcular o Sistema de Aquecimento de Água, e segundo a normativa NBR 15220-2, nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, não é aceitável a ausência de sistema de aquecimento de água instalado na UH. Portanto, como utilizou-se somente chuveiro elétrico para aquecer a água no processo de criação das habitações sociais, nestes casos é atribuído o menor nível possível (nível E). Como consequência disto, para todos os cálculos, utilizou-se 1 para a EqNumAA. A justificativa para tal utilização é o custo, pois a utilização de um aquecimento de água eleva as despesas, sendo o objetivo principal do trabalho, desenvolver habitações sociais pós-catástrofes principalmente para indivíduos de baixa renda.

### 3.3.2 Determinação das Bonificações

Outro fator importante é analisar as bonificações, que tem o objetivo de aumentar a eficiência da UH, podendo receber até um ponto e meio na classificação geral. A bonificação total alcançada é a somatória das bonificações obtidas em cada item, através da equação realizada.

### 3.3.3 Esquadrias

Dentro da criação dos protótipos, também foi necessário identificar as especificações das esquadrias utilizadas no projeto, para que pudessem ser classificadas para os cálculos, conforme Tabela 2.

**Tabela 2:** Parâmetros Específicos das Esquadrias

J1 - Janela basculante de PVC		J3 - Janela basculante de PVC	
Altura (m)	1,20	Altura (m)	1,20
Largura (m)	1,50	Largura (m)	1,60
Área (m <sup>2</sup> )	1,80	Área (m <sup>2</sup> )	1,92
Área de Ilum. (m <sup>2</sup> )*	1,44	Área de Ilum. (m <sup>2</sup> )*	1,536
Área de Vent. (m <sup>2</sup> )*	1,44	Área de Vent. (m <sup>2</sup> )*	1,536

\*Utilizou-se 80% da área de cada esquadria para cálculo, por ser do tipo basculante.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

## 4. Resultados e Discussões

Com a seleção de quatro composições de revestimento interno foi calculado a absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica (Tabela 3) para cada um dos quatro materiais, encontrando a composição entre compensado de madeira, lã de rocha e a lona (P3) com o melhor resultado, atingindo os pré-requisitos da Tabela 1 para a Zona Bioclimática 2.

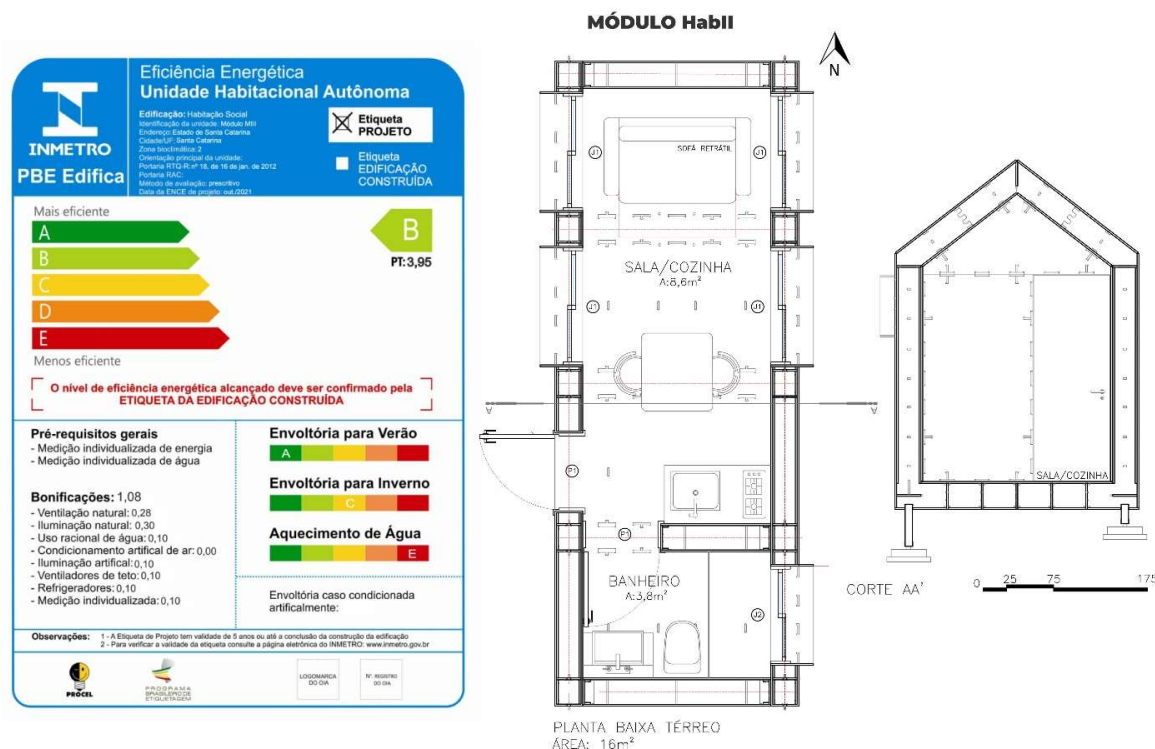
**Tabela 3:** Absortância solar, transmitância térmica e capacidade térmica das composições P1, P2, P3 e P4

Composição	Componente	Absortância Solar (adimensional)	Transmitância Térmica [W/(m <sup>2</sup> /K)]	Capacidade térmica [kJ/(m <sup>2</sup> /K)]
P1	Parede	0,2	1,20	99,54
	Cobertura	0,2	1,15	99,62
P2	Parede	0,2	0,18	114,24
	Cobertura	0,2	0,18	114,32
P3	Parede	0,2	0,18	131,04
	Cobertura	0,2	0,18	131,12
P4	Parede	0,2	0,16	110,06
	Cobertura	0,2	0,16	110,19

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Conforme as etapas previamente abordadas, foram realizados cálculos de eficiência para cada protótipo de abrigo desenvolvido. Os protótipos foram denominados como Hab II, Hab III, Hab IV e Hab V, de acordo com o número de dormitórios em cada um, visando atender famílias de diferentes tamanhos.

Após a escolha do material, foram realizados os cálculos para cada uma das fachadas dos quatro módulos desenvolvidos. A planta baixa e os resultados do módulo Hab II estão expostos na Figura 2. É possível observar que a melhor posição do norte para esse módulo é voltada para a fachada esquerda, especialmente durante o verão. O sistema de aquecimento de água demonstrou ser pouco eficiente em todos os módulos devido a escolha do chuveiro elétrico para e o índice adotado, justificado nos procedimentos metodológicos.



**Figura 2:** Resultados da eficiência energética do módulo Hab II. Fonte: Os autores, 2024.

O módulo Hab III é ilustrado na Figura 3, com sua composição destinada a uma família de três membros, com os cálculos de eficiência energética, definiu-se que a melhor posição do

norte é voltada para a fachada esquerda ou frontal, ambos com um PTHuh de 3,74. Esse módulo, diferente do anterior, apresenta-se mais eficiente durante o inverno.

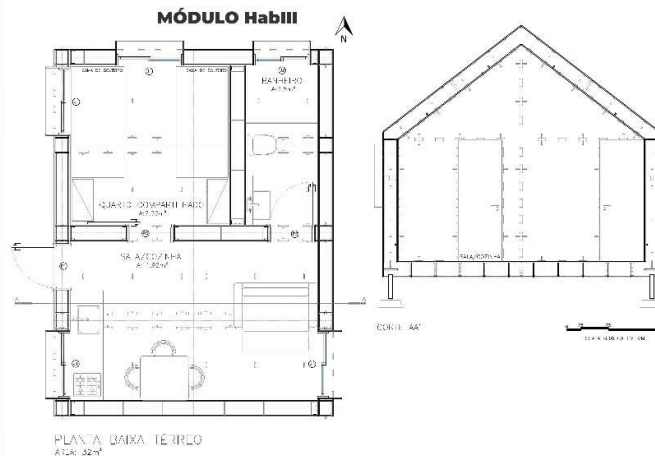


Figura 3: Resultados da eficiência energética do módulo Hab III. Fonte: Os autores, 2024.

Já os módulos Hab IV e Hab V (Figuras 4 e 5), apresentaram resultados similares, com uma eficiência energética satisfatória tanto para o verão quanto para o inverno. Assim, definiu-se que a melhor posição do norte é voltada para a fachada direita, com um PTHuh de 4,05.

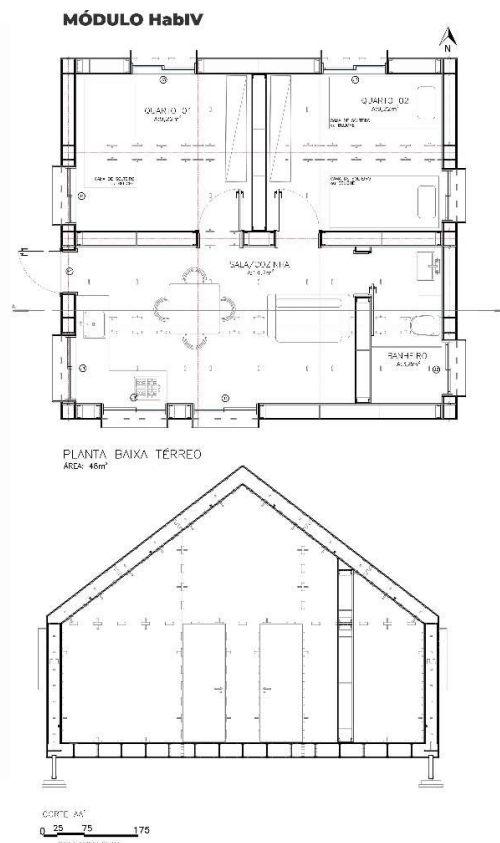


Figura 4: Resultados da eficiência energética do módulo Hab IV. Fonte: Os autores, 2024.

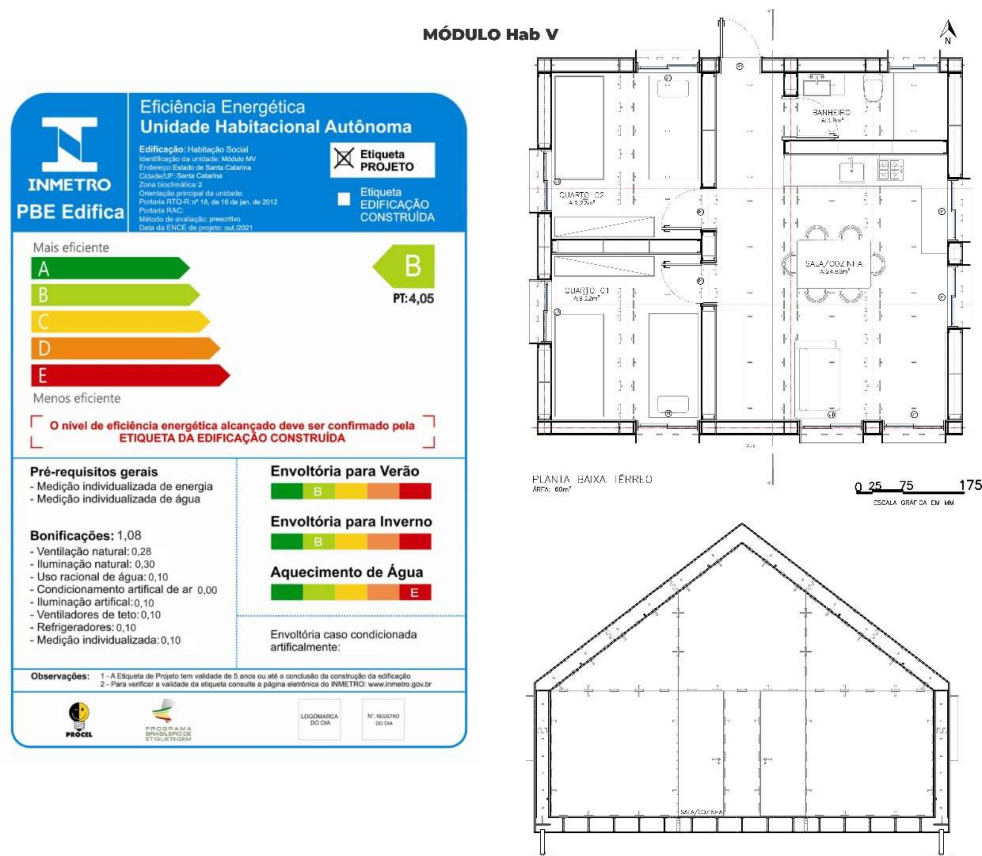


Figura 5: Resultados da eficiência energética do módulo Hab V. Fonte: Os autores, 2024.

## 5. Considerações Finais

Este artigo apresentou os resultados e discussões acerca da avaliação da envoltória de protótipos, com base no sistema construtivo WikHouse, para a Zona Bioclimática 02, aplicando-se o método prescritivo do RTQ-R.

Esta primeira avaliação limitou-se a identificar qual, entre quatro materiais, apresentou melhor eficiência energética, sendo este a lã de rocha (P3), quando utilizada com as placas de compensado naval e lona, em comparação a utilização de câmara de ar (P1), lã de vidro (P2) e EPS (P4).

Outrora, foi necessário realizar cálculos nas quatro rotações solares, a fim de identificar o melhor posicionamento do mesmo, pois esta variação implica na variação do desempenho da envoltória, e conseqüentemente, da eficiência energética dos módulos. Além disso, foram utilizados somente meios de condicionamento passivos (ventilação natural, isolamento térmico, iluminação natural e ventilação cruzada). Apesar disso, os módulos apresentaram bons resultados para resfriamento e aquecimento das edificações. Ainda, foi necessário utilizar ventilação cruzada, como previsto em normas, auxiliando na melhora do Indicador de Graus-Hora para Resfriamento, GHR.

Ainda, é necessário enfatizar que é indispensável a conceitualização do desenvolvimento sustentável em todos os níveis, especialmente às edificações, pois influenciam diretamente no consumo de recursos e no conforto e saúde de seus usuários. Até então poucos profissionais levavam em consideração os contextos urbano, geográfico e climático em seus projetos, tirando partido da iluminação e ventilação naturais e aproveitando as condições climáticas da região, a orientação solar, os ventos predominantes e as condições do entorno.



## Referências

- [1] BOARETO, Renato. A política de mobilidade urbana e a construção de cidades sustentáveis. **Revista dos Transportes Públicos**, p. 143–160, 2008. Recuperado de <https://files.antp.org.br/2016/4/7/revista-completa-119.20.pdf>
- [2] SILVA, José Adailton Barroso; BARROSO, Rita de Cássia Amorim; RODRIGUES, Auro Jesus; COSTA, Sylvania Santana; FONTANA, Raphael Luiz Macêdo. A urbanização no mundo contemporâneo e os problemas ambientais. **Caderno De Graduação - Ciências Humanas E Sociais – UNI SERGIPE**, v. 2, n. 2, p. 197–207, 2014. Recuperado de <https://periodicos.set.edu.br/cadernohumanas/article/view/1723>
- [3] FREITAS, Carlos Machado de; XIMENES, Elisa Francioli. Enchentes e saúde pública - uma questão na literatura científica recente das causas, consequências e respostas para prevenção e mitigação. **Ciência & Saúde coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1601–1615, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600023>
- [4] HERRMANN, Maria Lucia de Paula. **Atlas de desastres naturais do Estado de Santa Catarina**. 1ª ed. Florianópolis: [s.n.], 2006.
- [5] SECCHI, Carla Cristina. **Arquitetura Open Souce: capacitação, criação e materialização com suporte de fabricação digital**. 2019. 172 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019b.
- [6] PASSARO, Andrés; ROHDE, Clarice. Casa Revista: arquitetura de fonte aberta. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 11, n. 2, p. 25–41, 2016. <https://doi.org/10.11606/gtp.v11i2.114437>
- [7] NARDELLI, Eduardo Sampaio; BACKHEUSER, Luiz Alberto Fresi. **Sistema Wikihouse aplicado ao Programa Minha Casa Minha Vida**. SIGraDi 2016, XX Congreso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital. Anais...Buenos Aires, Argentina: 2016. Recuperado de: [https://papers.cuminca.org/data/works/att/sigradi2016\\_461.pdf](https://papers.cuminca.org/data/works/att/sigradi2016_461.pdf)
- [8] EDWARD, David. Building Open-Source: To What Extent does WikiHouse Apply the Open-Source Model to Architecture? Dissertation: University of Kent, 2018.
- [9] PREST, Cleyton. **WikiHouse Project**. Recuperado de: <https://github.com/wikihouseproject>. Acesso em 09 mar. 2024.
- [10] INMETRO, INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Regulamento Técnico Da Qualidade Para O Nível De Eficiência Energética Edificações Residenciais**. Rio de Janeiro, 2012, 138 p.
- [11] MAKERS OF ARCHITECTURE. **Warrander Studio**. Recuperado de: <http://www.makersofarchitecture.co.nz/project/warrander-studio>.