

Serviço Público Federal  
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



## Redução de Consumo Energético com Telhas Pintadas: Uma Abordagem Baseada na INI-R

Jhonatha Henrique Ribeiro Gonçalves <sup>a</sup>; Arthur Santos Silva <sup>b</sup><sup>a</sup> Aluno de Graduação em Engenharia Civil, [jhonatha.henrique@ufms.br](mailto:jhonatha.henrique@ufms.br)Professor Orientador, Doutor em Engenharia Civil, [arthur.silva@ufms.br](mailto:arthur.silva@ufms.br)

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Av. Costa e Silva, s/nº | Bairro Universitário | 79070-900 | Campo Grande, MS, Brasil.

### RESUMO

Este trabalho avalia o impacto do uso de pintura branca em telhas de fibrocimento sobre a eficiência energética de uma residência unifamiliar localizada em Campo Grande-MS, utilizando o método simplificado da Instrução Normativa INI-R. A pesquisa foi fundamentada no levantamento de parâmetros geométricos e construtivos da edificação, analisados por meio do metamodelo, comparando telhas de fibrocimento com acabamento natural e pintadas. Os resultados mostraram que a pintura branca aumentou o percentual de horas de conforto térmico (PHFT) de 67,32% para 80,39%, reduzindo a carga térmica de resfriamento em 38,7% e o consumo total de energia em 11,1%. Essas melhorias estão associadas à menor absorção de calor pela cobertura pintada, que reduziu a temperatura operativa máxima de 33,38°C para 30,92°C. Apesar de um pequeno aumento na carga térmica de aquecimento, o balanço energético geral foi positivo. Conclui-se que a aplicação de pintura branca em telhas de fibrocimento representa uma estratégia passiva eficaz, promovendo edificações mais sustentáveis e reduzindo a dependência de sistemas de climatização artificial. Estudos futuros podem expandir esta análise para diferentes tipologias de edificações e condições climáticas, além de investigar outras cores e materiais reflexivos.

**Palavras-chave:** Eficiência energética; Telhas de fibrocimento; INI-R; Construção sustentável; Estratégias passivas.

### 1. INTRODUÇÃO

A eficiência energética no setor residencial é um tema de crescente relevância diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela necessidade de reduzir o consumo de recursos naturais, tais como da energia e dos insumos de construção civil. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA) de 2022, o setor de edificações responde por cerca de 30% do consumo final de energia no mundo, sendo um dos principais responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa com 26% das emissões globais relacionadas à energia. No Brasil, o consumo residencial representa aproximadamente 10,7% do total de energia elétrica consumida, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2023, com destaque para o ar-condicionado e o aquecimento de água por chuveiro elétrico como os maiores responsáveis pelo uso de energia nesse setor.

A Figura 1 mostra a oferta interna de energia no Brasil para o setor residencial, com destaque para o consumo de eletricidade. A Instrução Normativa para a Avaliação do Desempenho Energético de Edificações Residenciais (INI-R), publicada pelo INMETRO no âmbito do programa governamental “PBE Edifica”,

surge como uma ferramenta estratégica para promover maior eficiência no consumo de energia em edificações, incentivando práticas construtivas sustentáveis e escolha de sistemas construtivos que otimizem o desempenho térmico. Dada a diversidade climática brasileira e a significativa dependência de recursos energéticos no setor residencial, é essencial compreender como soluções arquitetônicas, como o tipo de sistema de cobertura utilizado, podem impactar diretamente a eficiência energética.

O objetivo deste trabalho é analisar comparativamente a classificação de eficiência energética de uma residência unifamiliar, utilizando o método simplificado da INI-R, ao variar o tipo de cobertura empregada na edificação. Como justificativa, a pesquisa busca evidenciar as implicações de decisões construtivas no desempenho térmico e energético, contribuindo para a disseminação de práticas mais sustentáveis no setor da construção civil. Ao apresentar dados técnicos embasados e aplicáveis, este estudo será utilizado para fornecer um feedback ao construtor do projeto analisado, incentivando-o a realizar a pintura de telhas de fibrocimento.

Figura 1 – Oferta Interna de Energia por Fonte. Fonte: BEN (2024)



## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Conceitos fundamentais de eficiência energética em edificações

A eficiência energética é definida como o uso racional e otimizado da energia, com o objetivo de proporcionar o mesmo nível de funcionalidade e conforto com menor consumo de recursos. No contexto das edificações, a eficiência energética visa atender as necessidades de conforto térmico, visual e acústico dos usuários, reduzindo os impactos ambientais e o consumo energético global (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014).

Segundo a Eletrobras (2020), a implementação de programas como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações (PBE Edifica) foi essencial para consolidar o debate sobre eficiência energética no Brasil. Essas iniciativas não apenas promovem o uso de materiais e tecnologias sustentáveis, mas também oferecem diretrizes para a certificação de edificações energeticamente eficientes. O PBE Edifica, por exemplo, avalia a envoltória das edificações residenciais e comerciais com base em critérios técnicos, como absorvância solar, transmitância térmica e desempenho do envelope construtivo.

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014), o arquiteto pode racionalizar o uso de energia em uma edificação ao reduzir o consumo com iluminação, climatização e aquecimento de água. Para isso, três princípios devem ser perseguidos durante o processo de concepção arquitetônica: “usar sistemas naturais de condicionamento e iluminação sempre que possível; usar sistemas artificiais mais eficientes; e buscar a integração entre os dois (artificial e natural).”

A abordagem bioclimática também desempenha um papel central na busca por eficiência energética, ao propor soluções que integram o ambiente construído ao

contexto climático local. Estratégias como ventilação cruzada, aproveitamento da luz natural e escolha de materiais de alta refletância são fundamentais para reduzir o consumo energético, especialmente em climas tropicais como o brasileiro (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014).

Globalmente, organizações como a International Energy Agency (IEA) enfatizam a importância de políticas voltadas à eficiência energética para mitigar os impactos do setor da construção, que responde por uma parcela significativa do consumo energético e das emissões de gases de efeito estufa. A IEA destaca que a adoção de padrões construtivos mais eficientes pode reduzir em até 50% o consumo energético de edificações, especialmente em regiões com alta demanda por climatização (IEA, 2020).

No Brasil, normas técnicas como a NBR 15575 - Desempenho de Edificações Habitacionais - e os requisitos do INMETRO estabelecem parâmetros técnicos que orientam os profissionais da construção civil na escolha de materiais e sistemas construtivos. Esses parâmetros incluem a avaliação da absorvância solar de coberturas e fachadas, elemento crucial para o desempenho térmico das edificações. Segundo a Biblioteca de Absortância de Telhas, desenvolvida pelo Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP, a redução da absorvância solar em telhas pode diminuir significativamente os ganhos térmicos, contribuindo para a eficiência energética de residências unifamiliares (Dornelles, 2021).

Portanto, a eficiência energética na arquitetura residencial deve ser compreendida como um conceito multidimensional que engloba desde a escolha de materiais até estratégias de projeto bioclimático. Essa abordagem é essencial para responder aos desafios de consumo energético e sustentabilidade no setor da construção civil, alinhando-se às diretrizes estabelecidas por órgãos nacionais e internacionais.

## 2.2. Normas de Desempenho de Edificações e Eficiência Energética no Brasil

No Brasil, o desenvolvimento de normas voltadas ao desempenho das edificações e à eficiência energética é um marco na busca por construções mais sustentáveis e alinhadas às necessidades climáticas e sociais do país. A implementação dessas normativas foi motivada tanto pela necessidade de redução do consumo energético quanto pelo compromisso em garantir qualidade e conforto aos usuários.

A Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais (NBR 15575), publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em 2013, estabelece parâmetros mínimos de desempenho para diferentes sistemas construtivos, incluindo cobertura, fachadas e instalações. Segundo a norma, o desempenho térmico, um dos critérios avaliados, é diretamente influenciado pelas características do envelope construtivo, como transmitância térmica e absorvância solar das superfícies externas. Essas diretrizes visam reduzir o consumo energético associado à climatização, promovendo maior conforto térmico e sustentabilidade (ABNT, 2013).

Além da NBR 15575, o Brasil também conta com o Selo Procel Edifica, uma iniciativa do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), que avalia o desempenho energético de edificações com base no uso racional de energia. Este programa, implementado em parceria com o INMETRO, estabelece critérios técnicos para a etiquetagem de edificações residenciais, comerciais e públicas. A etiquetagem considera aspectos como ventilação natural, absorvância solar e isolamento térmico, fornecendo aos consumidores uma referência para identificar construções energeticamente eficientes (ELETROBRAS, 2020).

A aplicação dessas normativas é fundamental em um país de dimensões continentais e diversidade climática como o Brasil. A NBR 15220, por exemplo, classifica o território nacional em zonas bioclimáticas, estabelecendo estratégias adequadas para cada região. Para zonas com alta incidência solar, como grande parte do território brasileiro, a norma recomenda o uso de materiais com baixa absorvância solar para minimizar o ganho térmico e reduzir a dependência de sistemas artificiais de climatização (ABNT, 2003).

A importância das normas é reforçada por estudos que demonstram a correlação entre desempenho térmico e consumo energético. Dornelles (2021) destaca que a utilização de materiais e acabamentos adequados em coberturas pode resultar em economias significativas de energia, contribuindo para a eficiência energética das edificações e a mitigação do impacto ambiental. Nesse contexto, a

medição da absorvância solar, regulamentada por normas como a ASTM E903-20, é uma ferramenta essencial para avaliar e especificar materiais de construção.

Assim, as normas brasileiras de desempenho e eficiência energética representam avanços importantes na promoção de construções sustentáveis, permitindo o alinhamento às demandas globais de redução de emissões e conservação de recursos naturais. A aplicação dessas normativas no âmbito do projeto e desenvolvimento de edificações é essencial para garantir a qualidade, conforto e eficiência energética, atendendo às necessidades da sociedade contemporânea.

## 2.3. Instrução Normativa INMETRO Para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R)

A Instrução Normativa INMETRO para Edificações Residenciais (INI-R), publicada como parte da Portaria nº 309 de 2022 (INMETRO, 2022), representa um marco no avanço da eficiência energética em construções habitacionais no Brasil. Com o objetivo de estabelecer critérios técnicos para a classificação de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares. A INI-R integra o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), contribuindo para edificações mais sustentáveis e economicamente viáveis.

A INI-R possui três métodos principais de avaliação da eficiência energética: o prescritivo, o simplificado e a simulação computacional. Os dois primeiros são direcionados para analisar aspectos como a envoltória da edificação, sistemas de aquecimento de água e climatização. O método prescritivo avalia o desempenho com base na verificação de limites normativos, enquanto o método simplificado utiliza modelos preditivos (metamodelo) baseados em simulações computacionais para estimar variáveis como o percentual de horas em conforto térmico (PHFT), carga térmica de refrigeração (CgTR) e carga térmica total (CgTT).

A classificação de eficiência energética é atribuída de acordo com uma escala que varia de "A" (mais eficiente) a "E" (menos eficiente). Edificações que alcançam o nível "A" devem cumprir critérios rigorosos, incluindo parâmetros como baixa transmitância térmica das coberturas, sombreamento adequado e alta eficiência em sistemas de aquecimento de água.

Além de promover eficiência energética, a INI-R enfatiza a sustentabilidade ao considerar elementos como a redução de emissões de CO<sub>2</sub>, o uso de energia renovável e estratégias para o uso racional de água.

Estudos recentes reforçam a relevância da INI-R para a eficiência energética. Segundo Fossati et al. (2023), a aplicação do método simplificado em edificações residenciais demonstrou ser uma ferramenta prática para avaliar e otimizar o desempenho energético, possibilitando reduções significativas no consumo de energia. O impacto de coberturas com diferentes materiais, por exemplo, destaca a importância da escolha de acabamentos adequados para minimizar ganhos térmicos e melhorar a eficiência do sistema de climatização.

Assim, a INI-R constitui uma peça fundamental na regulamentação de edificações sustentáveis no Brasil, oferecendo diretrizes claras para projetistas, construtores e consumidores. Sua aplicação contribui não apenas para a redução do consumo energético, mas também para o alinhamento com metas globais de sustentabilidade e conservação de recursos naturais.

### 3. MÉTODO

Para aplicação do método simplificado na INI-R foi necessário verificar os limites para a aplicação do metamodelo, visto que o método se baseia em um banco de dados e a comparação de um modelo do edifício de referência com o real. Os limites para os parâmetros são demonstrados na Tabela 1.

Verificado que o edifício analisado se encontra dentro dos limites se dá o início ao levantamento de parâmetros da unidade habitacional (UH) para preenchimento da envoltória no metamodelo.

Tabela 1 - Limites de aplicação do método simplificado. Fonte: Portaria Nº 309 INI-R, 2022

Parâmetro	Limites do método	
	Mínimo	Máximo
Absortância solar da cobertura ( $\alpha_{cob}$ )	0,20	0,90
Absortância solar das paredes externas ( $\alpha_{par}$ )	0,20	0,90
Ângulo horizontal de sombreamento da fachada direito e esquerdo (AHF <sub>d</sub> e AHF <sub>e</sub> )	0°	80°
Ângulo vertical de sombreamento da fachada (AVS <sub>fac</sub> )	0°	55°
Ângulo vertical de obstrução do entorno (AVE)	0°	60°
Área de piso do ambiente de permanência prolongada	5 m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>
Área de piso do ambiente de permanência transitória	2 m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>
Área de superfície dos elementos transparentes	0 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>
Capacidade térmica da cobertura (CT <sub>cob</sub> )	25 kJ/(m <sup>2</sup> .K)	550 kJ/(m <sup>2</sup> .K)
Capacidade térmica das paredes externas (CT <sub>par</sub> )	26 kJ/(m <sup>2</sup> .K)	440 kJ/(m <sup>2</sup> .K)
Capacidade térmica do piso (CT <sub>piso</sub> )	25 kJ/(m <sup>2</sup> .K)	440 kJ/(m <sup>2</sup> .K)
Ângulo de desvio da parede norte em relação ao norte verdadeiro	-45°	45°
Dimensão horizontal da parede externa (por orientação)	0 m	15 m
Dimensão horizontal da parede interna em contato com sala	0 m	65 m
Dimensão horizontal da parede interna em contato com dormitório	0 m	60 m
Dimensão horizontal da parede interna em contato com APT	0 m	50 m
Área efetiva de abertura para ventilação	0 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>
Fator solar do elemento transparente (FS)	0,20	0,87
Pé-direito (PD)	2,40 m	7,50 m
Transmitância térmica da cobertura (U <sub>cob</sub> )	0,45 W/(m <sup>2</sup> .K)	3,80 W/(m <sup>2</sup> .K)
Transmitância térmica das paredes externas (U <sub>par</sub> )	0,24 W/(m <sup>2</sup> .K)	4,40 W/(m <sup>2</sup> .K)
Transmitância térmica do piso (U <sub>piso</sub> )	0,70 W/(m <sup>2</sup> .K)	4,10 W/(m <sup>2</sup> .K)
Transmitância térmica do elemento transparente	2,50 W/(m <sup>2</sup> .K)	5,87 W/(m <sup>2</sup> .K)

Figura 2 – Planta com separação de APT's e APP's. Fonte: Autor



### 3.1. Parâmetros da UH

A edificação analisada se localiza em Campo Grande - Mato Grosso do Sul, na zona bioclimática 6 conforme a NBR 15220-3 (ABNT, 2005). Foram identificados os ambientes de permanência prolongada (APPs) e os ambientes de permanência transitória (APT's), como mostrado na Figura 2. Os espaços de área gourmet e garagem não são considerados como ambientes pois não possuem elementos de fechamento em todo perímetro, portanto os APP's são constituídos dos ambientes "Sala", que engloba os espaços internos sala de estar, sala de jantar e cozinha, visto que não há divisórias entre esses ambientes, quarto 1, quarto 2 e suíte, que engloba os espaços internos suíte e closet pelo motivo que não há divisórias que separem totalmente esses espaços.

Desta forma obteve-se a área dos APT's e o número de APP's, sendo 24,33 m<sup>2</sup> e 4 respectivamente. O pé direito do ambiente sala inclui o pé direito da sala de estar de 4,30 m, sala de jantar de 4,30 m e da cozinha de 2,80 m como observado no Anexo B, portanto para o ambiente sala a norma informa que para esses casos deve-se realizar um pé direito equivalente por média ponderada pela área de cada espaço interno, com isso obteve-se 3,775 m; os demais ambientes possuem 2,80 m de pé direito.

### 3.2. Parâmetros Geométricos dos APP's

Para cada APP levantou-se os dados de área de piso, dimensões de paredes, tipo de exposição do piso e cobertura, ângulos de sombreamento e dados sobre as aberturas.

A Tabela 2 mostra um resumo dos dados obtidos de forma simples analisando o Anexo A que representa a planta do projeto e o Anexo B representando um corte.

Com relação à orientação solar observou-se que a edificação possui a fachada frontal voltada para o norte com apenas 5,81° de desvio a leste, desta forma as fachadas e paredes dos APP's mais próximas da orientação Norte foram definidas como as Fachadas Norte e Paredes Nortes, com isso definiu-se as demais paredes e fachadas. Ressalta-se que para obtenção das dimensões das paredes segundo a INI-R foi necessário considerar que as paredes verticais que compreendem um ângulo reto com as paredes do entorno do ambiente, separando em dois ambientes ou espaços distintos utiliza-se metade da parede como distância horizontal de paredes.

Com relação ao tipo de exposição do piso e

cobertura, observou-se pelos cortes que todas as coberturas estão com contato com o exterior e os pisos estão em contato com o solo.

Tabela 2 – Parâmetros Geométricos Iniciais dos APP's. Fonte: Autor

Parâmetro	Sala	Quarto 1	Quarto 2	Suíte
Área de piso [m <sup>2</sup> ]	33,06	9,5	7,5	18,45
Condição de exposição do piso	Solo	Solo	Solo	Solo
Condição de exposição da cobertura	Sol e vento	Sol e vento	Sol e vento	Sol e vento
Possui veneziana?	Não	Não	Não	Não
Dim. Horizontal de paredes em contato com APT [m]	3,72	3,52	2,24	4,2
Dim. Horizontal de paredes em contato com o dormitório [m]	4,011	0	3,26	3,38
Dim. Horizontal de paredes em contato com a sala [m]	0	2,7	0	1,25
Dim. Horizontal Par. Externa [m]: Norte	3,7	3,52	0	0
Dim. Horizontal Par. Interna [m]: Norte	0	0	2,5	3,52
Dim. Horizontal Par. Externa [m]: Sul	0,46	0	0	0
Dim. Horizontal Par. Interna [m]: Sul	3,12	3,52	2,5	3,52
Dim. Horizontal Par. Externa [m]: Leste	9,58	0	0	0
Dim. Horizontal Par. Interna [m]: Leste	0	2,7	3	5,91
Dim. Horizontal Par. Externa [m]: Oeste	1,84	2,7	3	5,15
Dim. Horizontal Par. Interna [m]: Oeste	7,73	0	0	0
Possui Porta Interna: Norte	Não	Não	Não	Sim
Possui Porta Interna: Sul	Não	Sim	Não	Sim
Possui Porta Interna: Leste	Não	Não	Sim	Não
Possui Porta Interna: Oeste	Sim	Não	Não	Não

Para os ângulos de sombreamento e desvio apresentados na Tabela 3, observou-se por meio dos cortes os ângulos horizontais de sombreamento causados pelo muro de entorno - conforme as Figura 3, 4 e 5 - tendo em vista que se o elemento de sombreamento está à direita da parede analisada foi considerado como ângulo de sombreamento à direita, e se estiver à esquerda foi considerado como ângulo de sombreamento à esquerda.

Para os ângulos de sombreamento verticais causados principalmente pela marquise e os ângulos verticais de obstrução pelo entorno causados pelo muro de entorno, obteve-se os ângulos como demonstra as Figuras 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12.

Figura 3 – Ângulos horizontais de sombreamento Norte e Oeste da Sala, Norte do Quarto 1. Fonte: Autor

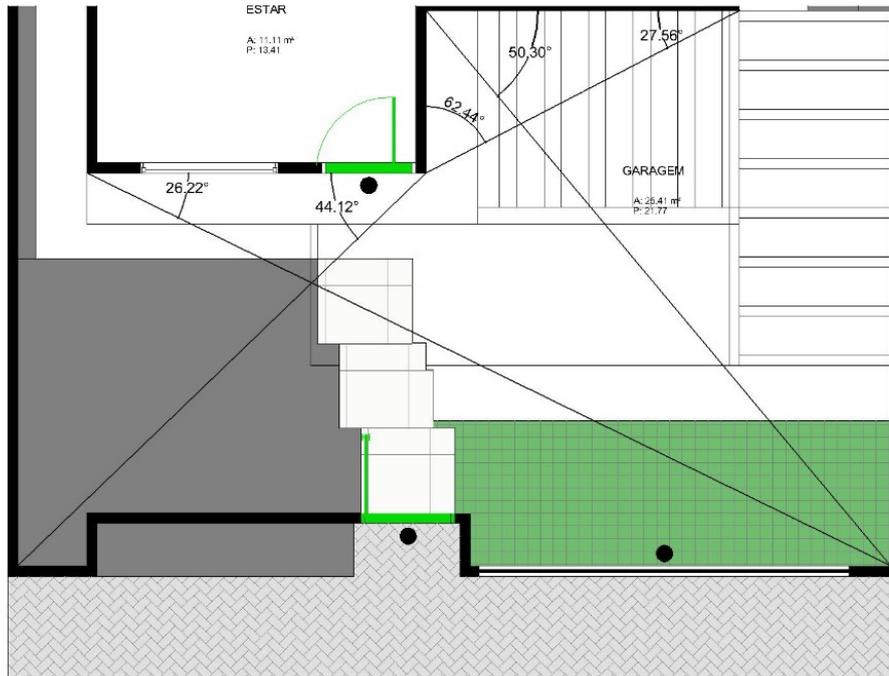


Figura 04 – Ângulos horizontais de sombreamento Leste da Sala. Fonte: Autor

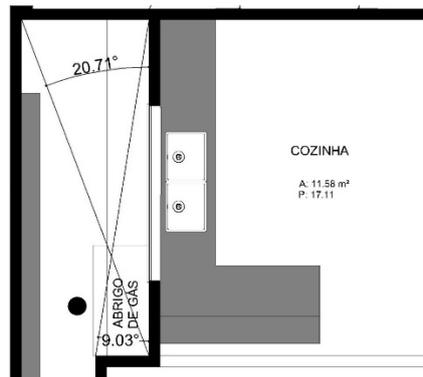


Figura 05 – Ângulos horizontais de sombreamento Sul da Sala e Leste da Suíte. Fonte: Autor

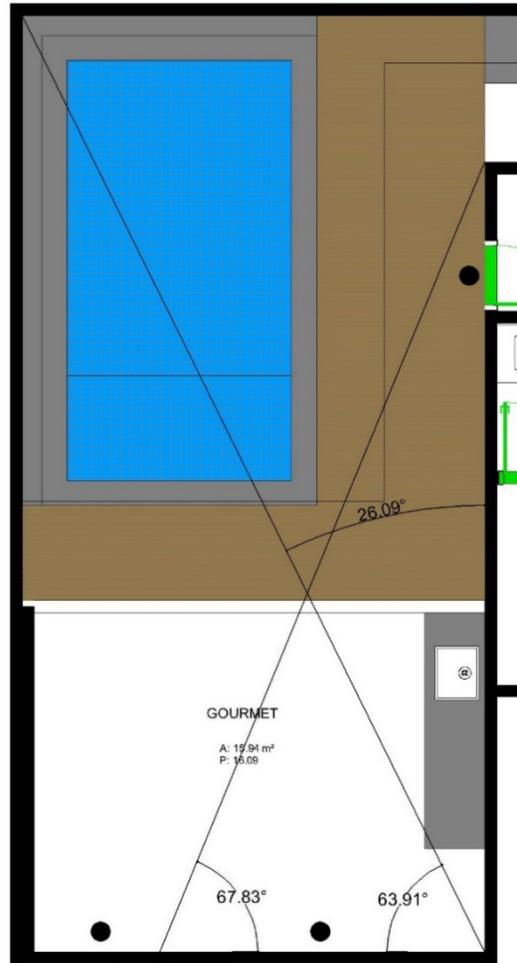


Figura 06 – Ângulos Verticais de Obstrução Norte da Sala. Fonte: Autor

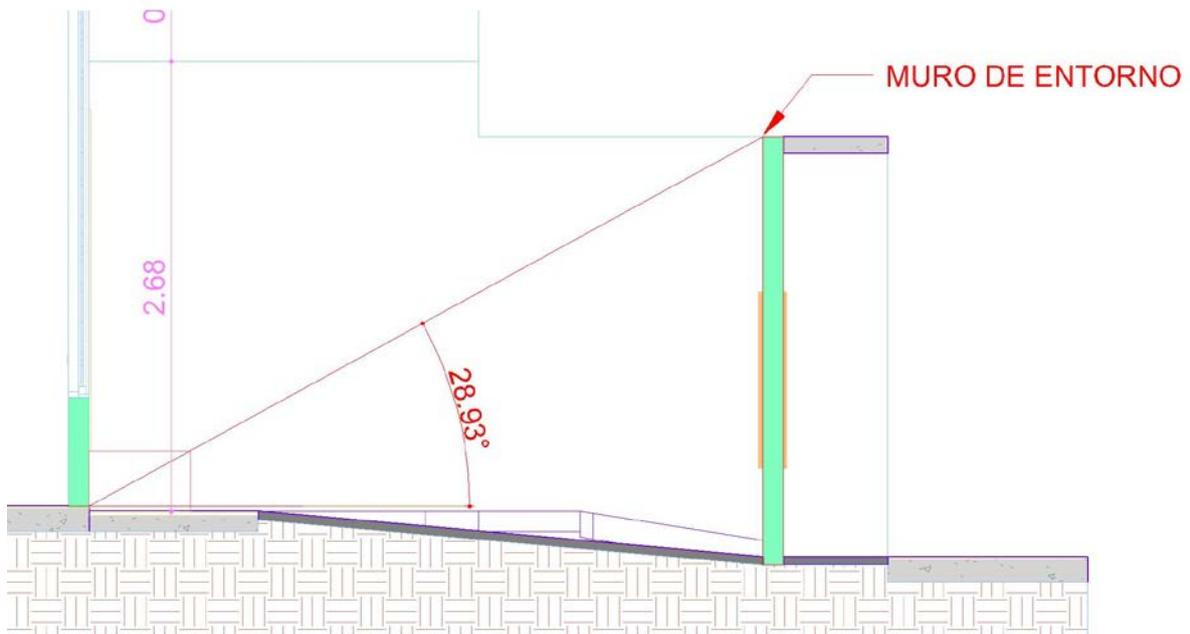


Figura 07 – Ângulos Verticais de Obstrução e Sombreamento Oeste da Sala. Fonte: Autor

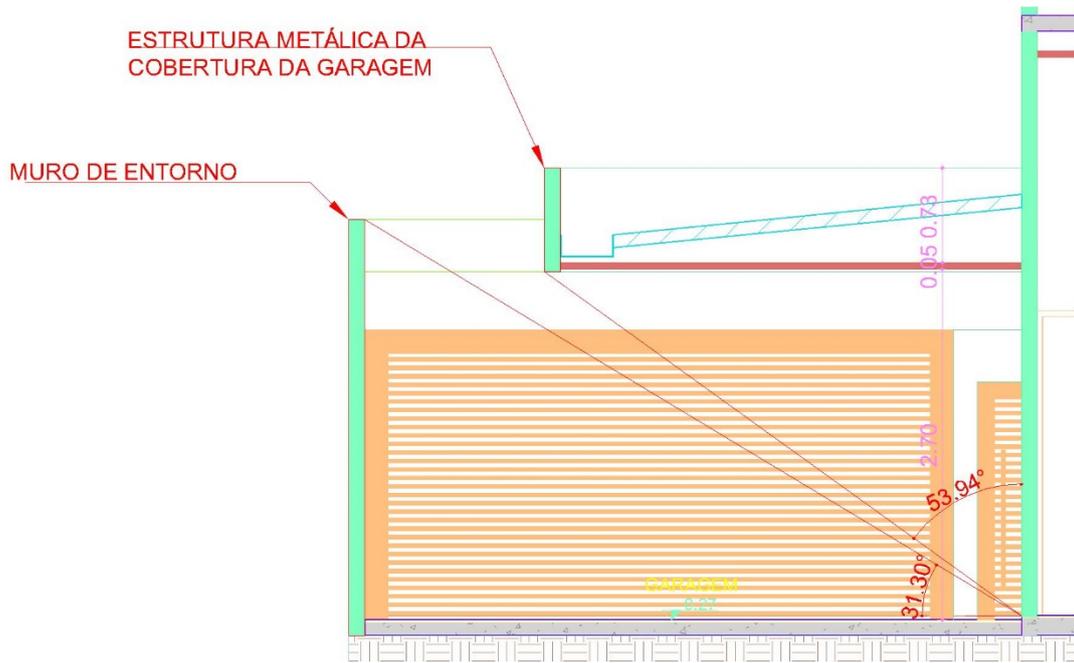


Figura 08 – Ângulos Verticais de Obstrução e Sombreamento Sul da Sala. Fonte: Autor

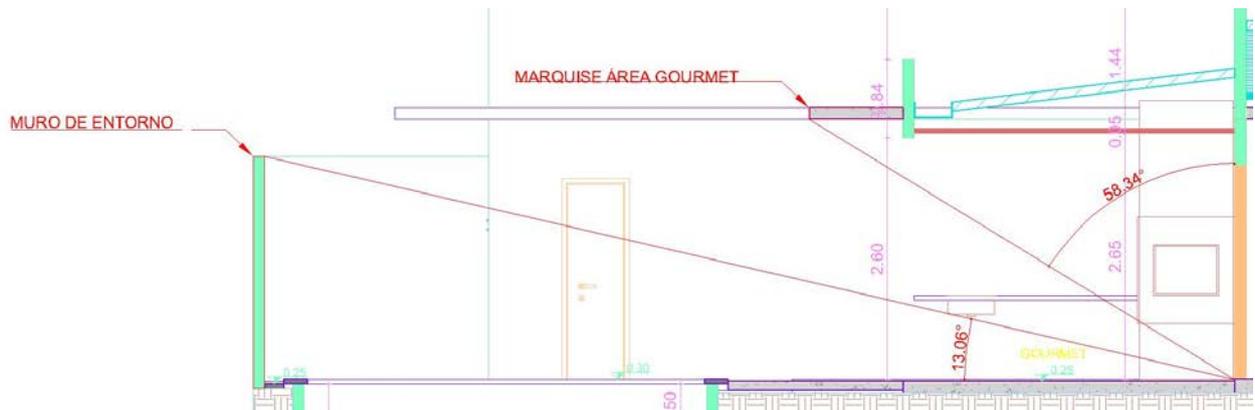


Figura 09 – Ângulos Verticais de Obstrução Leste da Sala. Fonte: Autor

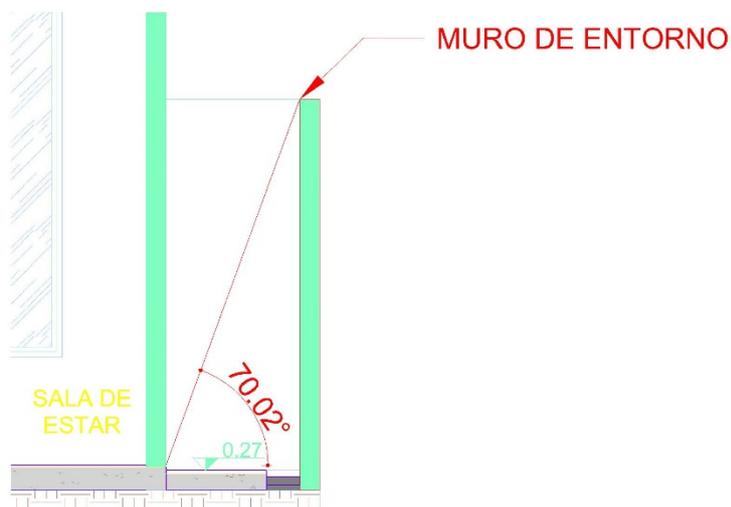


Figura 10 – Ângulos Verticais de Obstrução e Sombreamento Leste da Suíte. Fonte: Autor

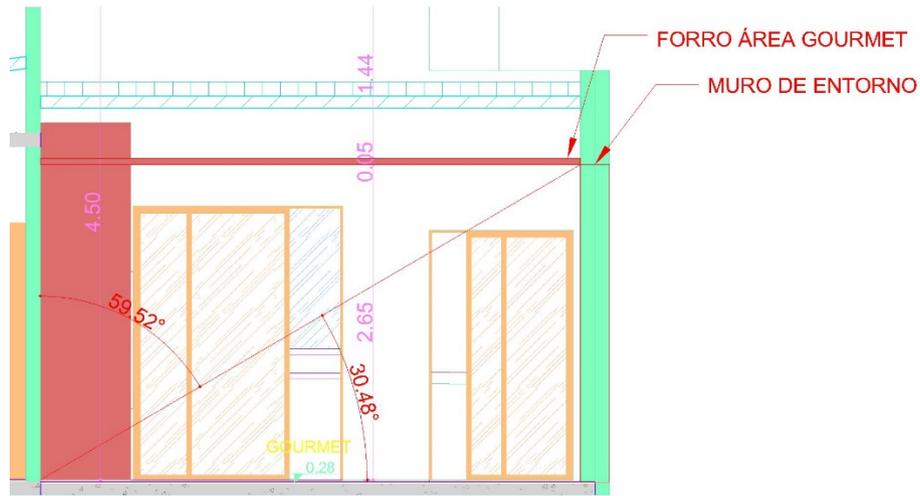


Figura 11 – Ângulos Verticais de Obstrução e Sombreamento Norte do Quarto1. Fonte: Autor

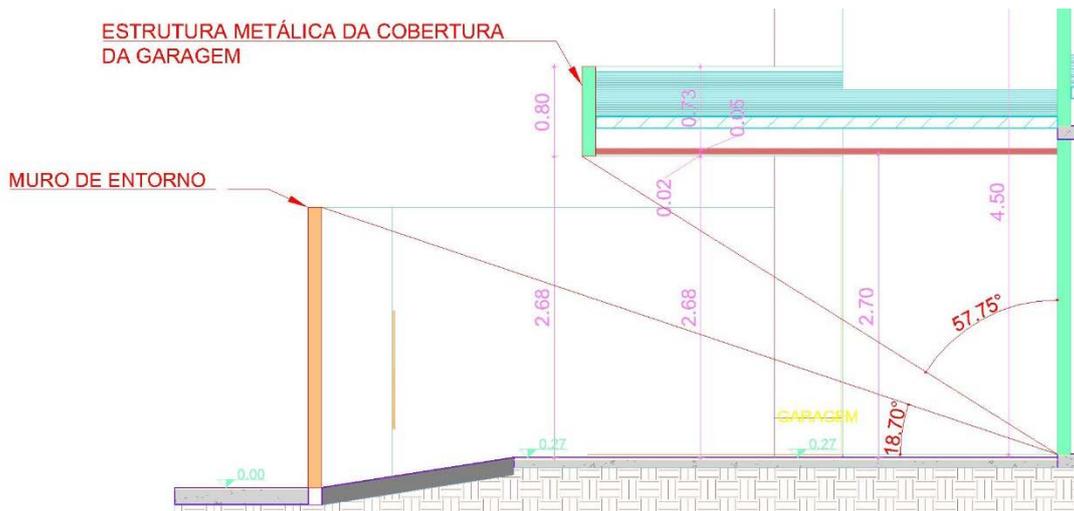


Figura 12 – Ângulos Verticais de Obstrução e Sombreamento Oeste do Quarto1, Quarto2 e Suíte. Fonte: Autor

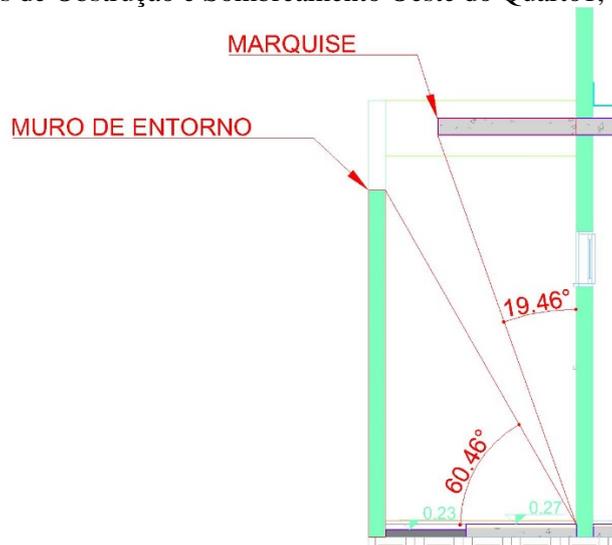


Tabela 3 – Ângulos de obstrução, sombreamento e desvio. Fonte: Autor

Parâmetro	Sala	Quarto 1	Quarto 2	Suíte
Ângulo de desvio em relação ao norte verdadeiro [°]	5,81	5,81	5,81	5,81
AHSd [°]: Norte	44,12	27,56	0	0
AHSe [°]: Norte	26,22	50,3	0	0
AVE [°]: Norte	28,93	18,7	0	0
AVS fac [°]: Norte	0	57,75	0	0
AHSd [°]: Sul	4,48	0	0	0
AHSe [°]: Sul	67,83	0	0	0
AVE [°]: Sul	13,06	0	0	0
AVS fac [°]: Sul	16,06	0	0	0
AHSd [°]: Leste	20,71	0	0	26,09
AHSe [°]: Leste	0	0	0	0
AVE [°]: Leste	70,02	0	0	30,48
AVS fac [°]: Leste	0	0	0	59,52
AHSd [°]: Oeste	0	0	0	0
AHSe [°]: Oeste	0	0	0	0
AVE [°]: Oeste	31,3	60,46	60,46	60,46
AVS fac [°]: Oeste	53,94	19,46	19,46	19,46

### 3.3 Aberturas da edificação

Para as aberturas, esquematizadas nas Figuras 13, 14, 15 e 16, obtemos os parâmetros da Tabela 4 e Tabela 5, as áreas de ventilação foram obtidas desconsiderando os caixilhos, desta forma janelas com metade de sua quantidade de folhas fixas e a outra metade móvel tiveram uma taxa efetiva para ventilação de 50% e para a área translúcida considerou-se os caixilhos desta forma houve uma redução da área total.

Figura 13 – Janela da cozinha (J6). Fonte: Autor



Figura 14 – Janela dos quartos (J2). Fonte: Autor

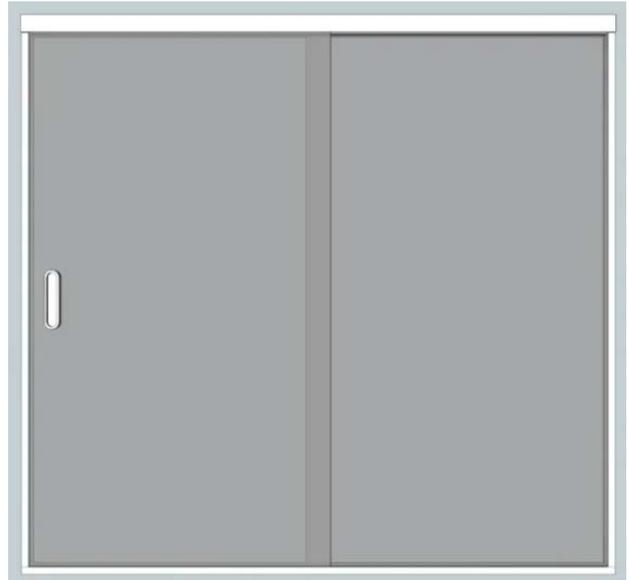


Figura 15 – Janela dos banheiros (J3 e J7). Fonte: Autor

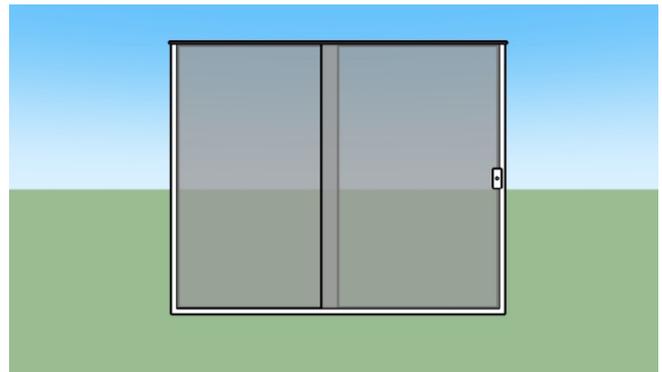


Figura 16 – Porta suíte (J8). Fonte: Autor

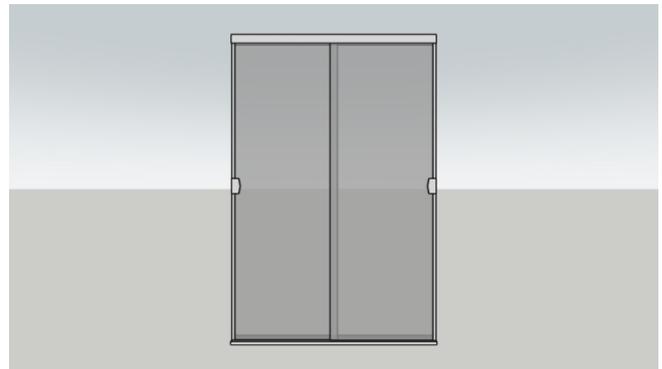


Tabela 4 – Área Translucida e efetiva para ventilação. Fonte: Autor

ITEM	ÁREA TOTAL (M²)	ÁREA DE VENTILAÇÃO (M²)	ÁREA TRANSLUCIDA (M²)	ÁREA EFETIVA PARA VENTILAÇÃO (%)
J1	5,28	2,64	4,48	0,5
J2	1,50	0,75	1,26	0,5
J3	0,52	0,26	0,36	0,5
J4	0,24	0,12	0,15	0,5
J5	0,60	0,30	0,44	0,5
J6	0,95	0,48	0,72	0,5
J7	0,60	0,30	0,42	0,5
P1	2,30	1,15	0	0,5
P2	1,68	0,84	0	0,5
P3	1,68	0,84	0	0,5
P4	1,47	0,74	0	0,5
P5	1,68	0,84	1,68	0,5
P6	4,03	2,01	3,63	0,5
P7	2,52	1,26	2,2	0,5
P8	3,15	1,58	2,8	0,5
P9	1,26	0,63	0	0,5
P10	0,56	0,28	0	0,5
P11	2,31	1,16	0	0,5
P12	11,25	5,63	0	0,5
P13	0,64	0,32	0	0,5

Tabela 5 – Área Translucida por fachada. Fonte: Autor

Parâmetro	Sala	Quarto 1	Quarto 2	Suite
Área de superfície dos elementos transparentes [m²]: Norte	4,48	0	0	0
Área de superfície dos elementos transparentes [m²]: Sul	0	0	0	0
Área de superfície dos elementos transparentes [m²]: Leste	0,72	0	0	0
Área de superfície dos elementos transparentes [m²]: Oeste	0	1,26	1,26	2,8

### 3.4. Elementos construtivos

Desta forma, por meio da calculadora do Projeteer, obteve-se as propriedades térmicas dos elementos de cobertura, composta, da parte externa para interna, por telha de fibrocimento de 8 mm de espessura, camada de ar maior que 5 cm com fluxo descendente, laje pré-moldada com lajota de 12 cm e forro de gesso de 3 cm; as janelas de vidro simples incolor de 3 mm; contrapiso

composto por um contrapiso de concreto de 10 cm e piso porcelanato de 1,20 cm de espessura; e para as paredes, considerou-se uma camada de argamassa de 2,50 cm na parte externa, seguida de um bloco cerâmico 9x19x19 cm e argamassa interna de 1,50 cm e pintura na cor cinza de 58% de absorvância, conforme demonstrado nas Figuras 17, 18, 19 e 20 e resumido na Tabela 9.

Figura 17 – Parâmetros cobertura. Fonte: Projeteer



Figura 18 – Parâmetros vidros. Fonte: Projeteer



Figura 19 – Parâmetros contrapiso. Fonte: Projeteer



Figura 20 – Parâmetros paredes. Fonte: Projeteer



Tabela 6 – Resumo das propriedades térmicas dos elementos. Fonte: Autor

Parâmetro	Sala	Quarto 1	Quarto 2	Suite
Transmitância térmica do elemento transparente [W/m²K]	5,7	5,7	5,7	5,7
Fator solar do elemento transparente (FS)	0,87	0,87	0,87	0,87
Transmitância térmica do piso [W/m²K]	3,2	3,2	3,2	3,2
Capacidade térmica do piso [kJ/(m².K)]	222,1	222,1	222,1	222,1
Absortância da parede externa	0,58	0,58	0,58	0,58
Transmitância térmica das paredes externas [W/m²K]	2,4	2,4	2,4	2,4
Capacidade térmica das paredes externas [kJ/(m².K)]	122,7	122,7	122,7	122,7
Absortância da cobertura	0,65	0,65	0,65	0,65
Transmitância térmica da cobertura [W/m²K]	1,5	1,5	1,5	1,5
Capacidade térmica da cobertura [kJ/(m².K)]	221	221	221	221

### 3.5. Classificação pela INI-R

Com todos esses parâmetros realizou-se a classificação pelo metamodelo da interface web da INI-R, com uma telha fibrocimento com absortância de aproximadamente 0,65 e outra com um acabamento em pintura branca com absortância de aproximadamente 0,20.

Figura 21 -Telha de fibrocimento acabamento natural. Fonte: Dornelles, 2021.

TFC09		Cinza claro HSL: ausente	Espessura: 6 mm Acabamento natural	0,64	<b>0,64</b>
-------	---	-----------------------------	---------------------------------------	------	-------------

Figura 22 -Telha de fibrocimento reflexiva com pintura branca. Fonte: Dornelles, 2021.

TFC02		Branco H: 122,28 S: 8,99 L: 92,71	Espessura: 5 mm Telha refletiva com pintura branca	0,22	<b>0,23</b>
-------	--	--	--	------	-------------

### 3.6. Sistema de aquecimento de água

A edificação analisada possui apenas aquecimento de água pontualmente no chuveiro, por conta disto a comparação feita pela IRI-R onde analisamos o modelo real com o modelo de referência terá os mesmos valores de Consumo de Água Quente por Fontes Elétricas na Condição Real de 3544 kWh/ano, levando entao uma redução de 0% ao comparar os dois modelos.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Classificação da Envoltória

Nas Tabelas 7 e 8 e Figuras 23 e 24 são apresentados os valores de Percentual de horas ocupadas dentro de uma faixa de temperatura operativa – PHFT (%), Incremento mínimo do percentual de horas ocupadas dentro de uma faixa de temperatura operativa – ΔPHFTmín (%), Temperatura operativa anual máxima (Tomáx), Temperatura operativa anual mínima (Tomín), Carga térmica de aquecimento – CgTA (kWh/ano), Carga térmica de refrigeração – CgTR (kWh/ano), para o metamodelo com telha de fibrocimento natural e para telha de fibrocimento reflexiva com tinta branca.

Tabela 7 – Resultados envoltória do metamodelo com telha de fibrocimento natural

Resultados	
PHFT (%):	67.32
PHsFT (%):	32.24
PHiFT (%):	0.44
CgTR (kWh/ano):	3724.63
CgTA (kWh/ano):	50.87
Tomax (°C):	33.38
Tomin (°C):	16.89
Consumo para resfriamento (kWh/ano):	1489.85
Consumo para aquecimento (kWh/ano):	20.60

Figura 23 – Classificação da edificação com telha de fibrocimento natural.

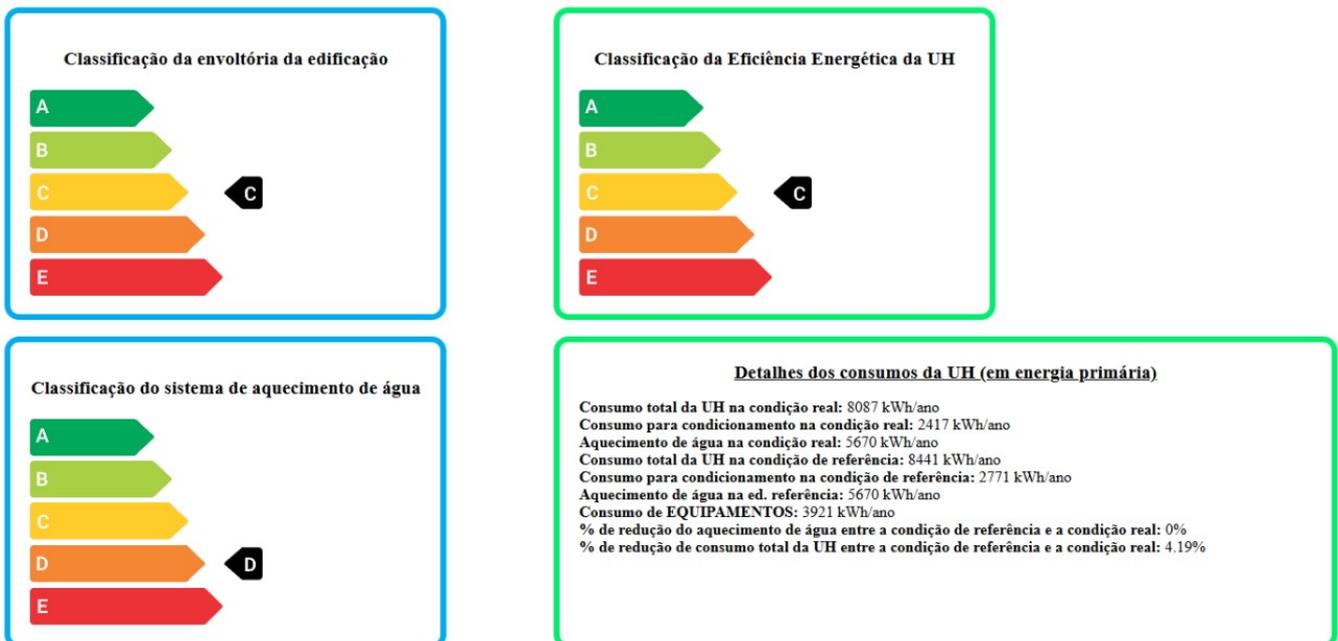
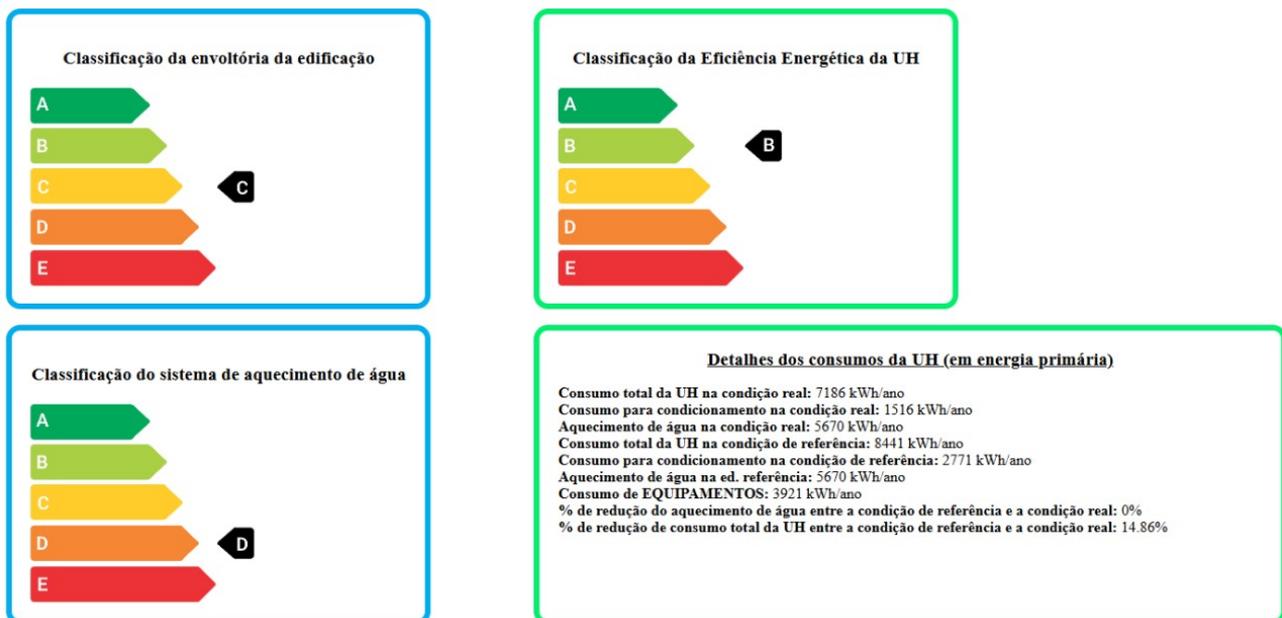


Tabela 8 – Resultados envoltória do metamodelo com telha de fibrocimento reflexiva com tinta branca.

**Resultados**

PHFT (%):	80.39
PHsFT (%):	18.53
PHiFT (%):	1.08
CgTR (kWh/ano):	2284.40
CgTA (kWh/ano):	83.17
Tomax (°C):	30.92
Tomin (°C):	16.14
Consumo para resfriamento (kWh/ano):	913.76
Consumo para aquecimento (kWh/ano):	33.67

Figura 24 – Classificação da edificação com telha de fibrocimento reflexiva com tinta branca.



**4.2. Discussões**

O Percentual de Horas em Conforto Térmico (PHFT) aumentou de 67,32% para 80,39% com a aplicação da pintura branca na telha de fibrocimento. Esse aumento significativo reflete a capacidade da telha pintada de reduzir o ganho térmico, diminuindo a quantidade de calor transmitido para o interior da edificação. Como resultado, os ambientes internos permanecem mais confortáveis, especialmente em períodos de maior incidência solar.

Sobre o CgTR e CgTA (kWh/ano): O CgTR foi reduzido de 3724,63 kWh/ano para 2284,40 kWh/ano, evidenciando menor necessidade de resfriamento. Já o CgTA aumentou de 50,87 kWh/ano para 83,17 kWh/ano, devido a menores ganhos de calor interno durante o período mais frio.

Sobre o Consumo Energético: Com a pintura branca, o consumo total da UH foi reduzido de 8087 kWh/ano para 7186 kWh/ano, representando uma economia de 11,1%. O consumo para resfriamento caiu de 1489,85 kWh/ano para 913,76 kWh/ano, uma

redução de aproximadamente 38,7%.

Os resultados destacam o impacto positivo da pintura branca em telhas de fibrocimento no desempenho térmico e energético da edificação. A redução no consumo de energia para resfriamento está diretamente relacionada à diminuição da temperatura máxima operativa (Tomax), que foi reduzida de 33,38°C para 30,92°C. Essa mudança demonstra que o material pintado reflete mais radiação solar, reduzindo o calor transmitido para o interior da edificação.

Por outro lado, a leve elevação do consumo para aquecimento em condições frias reflete a menor retenção de calor pela cobertura pintada. Esse aumento, no entanto, é compensado pela significativa economia energética no resfriamento, resultando em um balanço energético global positivo.

Comparando com a condição de referência da INI-R, a pintura branca aproxima a residência de uma classificação mais eficiente, demonstrando o impacto de soluções simples no desempenho energético e ambiental das edificações residenciais e contribuindo para uma menor dependência de sistemas de climatização artificial. Esse resultado reforça o papel de estratégias passivas na promoção da eficiência energética.

## 5. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto da aplicação de pintura branca em telhas de fibrocimento sobre a eficiência energética de uma residência unifamiliar, por meio do uso do metamodelo da INI-R.

Os resultados obtidos demonstraram que a pintura branca contribui significativamente para a melhoria do desempenho térmico da edificação, reduzindo a carga térmica de resfriamento em 38,74% e o consumo total de energia da UH em 11,1%. Esses dados comprovam que o uso de estratégias passivas, como a escolha de materiais e acabamentos adequados, é eficaz para diminuir a dependência de sistemas artificiais de climatização, promovendo construções mais sustentáveis.

Apesar do sucesso alcançado, este estudo apresenta algumas limitações:

- A análise foi restrita a uma única tipologia de residência e clima, não abrangendo a diversidade bioclimática brasileira.
- Os efeitos da pintura branca em telhas de fibrocimento foram avaliados apenas com base no método simplificado da INI-R, sem validação experimental.

Como oportunidades para pesquisas futuras,

recomenda-se:

- Realizar estudos em regiões com diferentes características climáticas e tipologias de edificação para validar a aplicação da estratégia em escala nacional.
- Investigar o impacto de outras cores e materiais reflexivos em coberturas para ampliar as alternativas de eficiência energética.
- Realizar estudos experimentais para validar e complementar os resultados obtidos por simulação.

Com base nos resultados, conclui-se que o objetivo do trabalho foi atingido, oferecendo uma contribuição prática para o setor de construção sustentável e para o enfrentamento da crise energética global. A implementação de estratégias simples e acessíveis, como a pintura branca em telhas, pode representar um avanço significativo rumo a edificações mais eficientes e resilientes.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Primeiramente, agradeço aos meus pais, que, mesmo à distância, sempre me apoiaram incondicionalmente, oferecendo amor, compreensão e incentivo, elementos essenciais para a conclusão dessa jornada. A vocês, minha eterna gratidão.

A minha irmã, por ser sempre uma fonte de apoio e inspiração, e aos meus amigos, especialmente os que fiz na universidade, que estiveram ao meu lado durante todo o percurso acadêmico, proporcionando momentos de aprendizado, alegria e parceria.

Agradeço à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) pela infraestrutura, pelos ensinamentos e pela oportunidade de crescimento profissional e pessoal ao longo do curso.

Por fim, agradeço imensamente ao meu orientador, Professor Arthur Santos Silva, pela orientação dedicada, pela paciência, proporcionando todo o suporte necessário para o desenvolvimento deste trabalho.

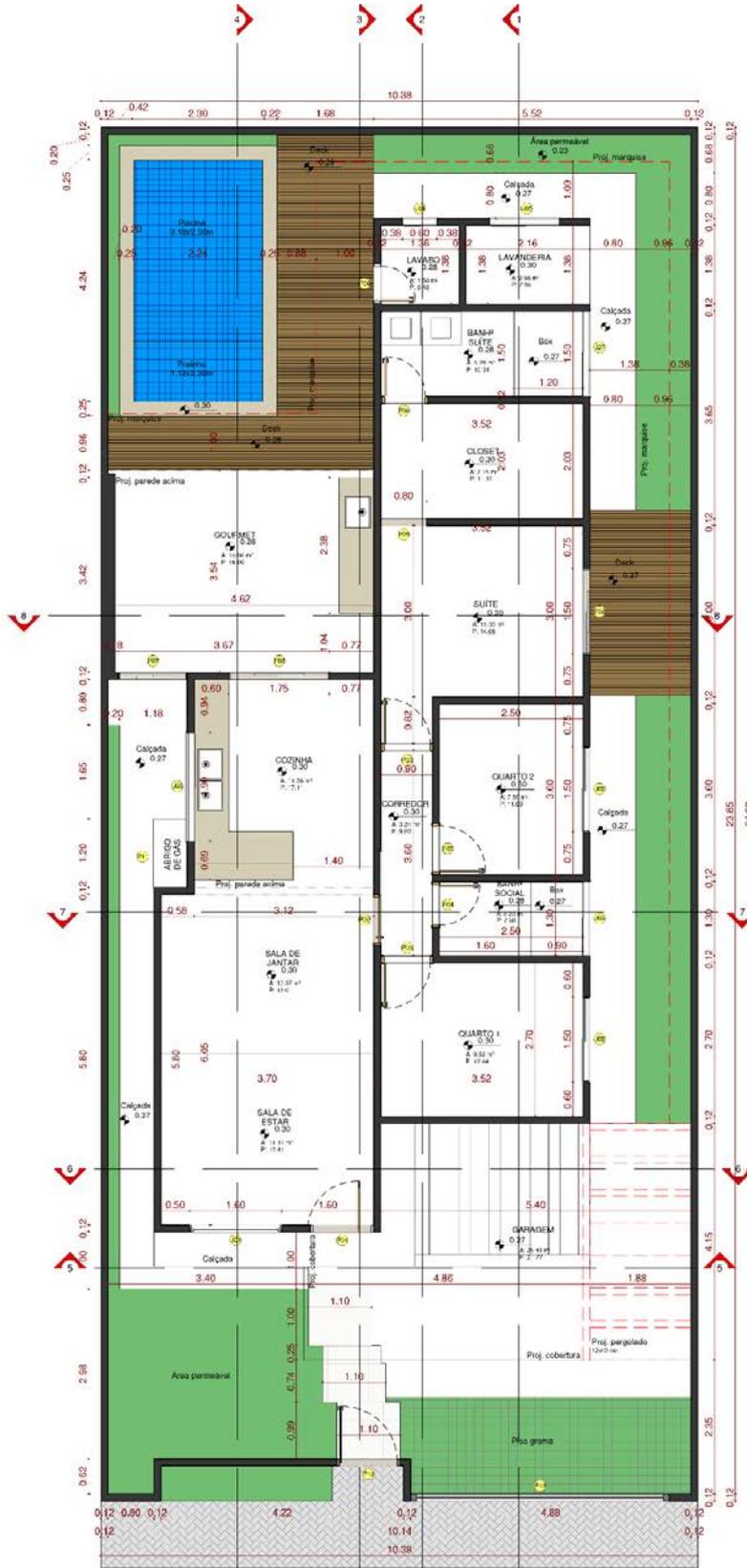
A todos, muito obrigado!

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DORNELLES, Kelen Almeida. **Biblioteca de absorvância de telhas: base de dados para análise de desempenho termoenergético de edifícios**. São Carlos: Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2021.

- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). Portaria INMETRO nº 50, de 16 de outubro de 2013. **Anexo Geral V – Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros.** Rio de Janeiro: INMETRO, 2013.
- LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2:** Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Componentes e elementos construtivos das edificações – Resistência e transmitância térmica – Métodos de cálculo. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2023: Ano base 2022.** Rio de Janeiro: EPE, 2023.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **ProjetEEE: projetando edificações energeticamente eficientes.** Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575:2024** – Edificações habitacionais: Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- ELETROBRAS/PROCEL. **Manual INI-R Simplificado.** [s.l.]: Eletrobras/Procel, 2023. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/inir>. Acesso em: 10 nov. 2024.
- ELETROBRAS/PROCEL. **Manual INI-R Definições.** [s.l.]: Eletrobras/Procel, 2023. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/inir>. Acesso em: 10 nov. 2024.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). Portaria nº 309, de 6 de setembro de 2022. **Instruções normativas para eficiência energética de edificações residenciais.** [s.l.]: INMETRO, 2022. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/inir>. Acesso em: 10 nov. 2024.
- 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, 2005.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy System: Buildings.** Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/buildings>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel).** Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/procel>. Acesso em: 10 dez. 2024.

ANEXO A



1 PLANTA BAIXA  
1:50

### ANEXO B

