

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

DIRETORIA DE ENSINO

COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

LUCAS MENEZES DOS SANTOS

**CONFORTO TÉRMICO NA CONSTRUÇÃO: DESEMPENHO TÉRMICO DE
SISTEMAS DE VEDAÇÕES VERTICAIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ARACAJU

2023

LUCAS MENEZES DOS SANTOS

**CONFORTO TÉRMICO NA CONSTRUÇÃO: DESEMPENHO TÉRMICO DE
SISTEMAS DE VEDAÇÕES VERTICAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel, da Coordenação do Curso de
Engenharia Civil, do Instituto Federal de
Sergipe – Campus Aracaju.

Orientador: Prof^a. Dra. Carla Cristina
Nascimento Santos Pereira

**ARACAJU
2023**

Ficha Catalográfica elaborada pela Bibliotecária Elizabete T. Ramos - CRB-5 1028.
Dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Santos, Lucas Menezes dos

S237c Conforto Térmico na Construção: Desempenho Térmico de
Sistema de Vedações Verticais. Aracaju/SE. / Lucas Menezes dos
Santos. – Aracaju, 2023.

47 f. : il.

Orientador: Dra. Carla Cristina Nascimento Santos Pereira.
Monografia (Graduação - Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto
Federal de Sergipe, 2023.

1. Conforto Térmico. 2. Permacultura. 3. Sistemas de Vedação. I.
Pereira, Carla Cristina Nascimento Santos. II. Título.

CDU 69

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

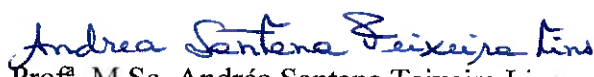
Título da Monografia N° 280

**CONFORTO TÉRMICO NA CONSTRUÇÃO : DESEMPENHO TÉRMICO DE
SISTEMAS DE VEDAÇÕES VERTICAIS**

LUCAS MENEZES DOS SANTOS

Esta monografia foi apresentada às 18 h 43 do dia 09 de janeiro de 2024 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados.

Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.



Profª. M.Sc. Andréa Santana Teixeira Lins

(IFS – Campus Aracaju)



Prof. M.Sc. Luiz Alberto Cardoso dos Santos

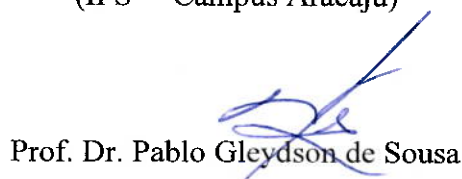
(IFS – Campus Aracaju)



Profª. Drª. Carla Cristina Nascimento Santos Pereira

(IFS – Campus Aracaju)

Orientador



Prof. Dr. Pablo Gleydson de Sousa

(IFS – Campus Aracaju)
Coordenador da COEC

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a Deus, pois sem Sua orientação e bênçãos, esta jornada acadêmica e a conclusão deste trabalho de conclusão de curso não teriam sido possíveis.

Agradeço a minha orientadora, cuja orientação valiosa e *insights* perspicazes foram fundamentais para o desenvolvimento deste projeto.

Agradeço também aos professores que compartilharam seus conhecimentos durante minha jornada acadêmica, enriquecendo meu entendimento e aprimorando a qualidade deste trabalho.

À minha família, expresso minha gratidão pela paciência, apoio incondicional e incentivo constante ao longo dessa jornada.

Aos amigos e colegas de classe, agradeço pela troca de experiências, debates enriquecedores e pelo suporte mútuo que tornaram esta jornada mais significativa.

Este trabalho não seria possível sem a colaboração e inspiração de cada um de vocês. Muito obrigado por fazerem parte deste percurso acadêmico e por contribuírem para o meu crescimento como profissional.

RESUMO

SANTOS, Lucas. **Conforto Térmico na Construção: Desempenho Térmico de Sistema de Vedações Verticais**. 47 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2023.

O conforto térmico é crucial para o bem-estar e produtividade das pessoas em ambientes construídos. Um ambiente termicamente confortável proporciona condições ideais de temperatura, umidade e ventilação, o que influencia diretamente a saúde, satisfação e desempenho das pessoas. Além disso, contribui para a eficiência energética, uma vez que ambientes confortáveis reduzem a necessidade de sistemas de aquecimento ou refrigeração excessivos. Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho térmico de 4 respectivos protótipos de sistemas de vedações verticais (Bloco cerâmico, bloco de concreto, pré-moldado de concreto e sacos de permacultura). Os sistemas avaliados foram bloco cerâmico, bloco de concreto, painéis pré-moldados de concreto e vedação em permacultura, todos com as mesmas dimensões. O experimento envolveu a coleta de dados relacionados à temperatura interna dos protótipos, utilizando um termo-higrômetro ao longo de períodos representativos. Os resultados revelaram que o protótipo construído com bloco cerâmico apresentou o melhor desempenho térmico, proporcionando condições mais favoráveis de conforto térmico. Em contrapartida, o protótipo com painéis pré-moldados de concreto demonstrou o pior resultado, evidenciando desafios em termos de isolamento térmico. A vedação em permacultura ocupa uma posição intermediária, juntamente com os blocos de concreto. Essas descobertas ressaltam a importância da escolha do sistema de vedação na busca por ambientes internos termicamente confortáveis, contribuindo para tomadas de decisões melhores no âmbito da construção sustentável.

Palavras-chave: Conforto Térmico; Permacultura; Sistemas de vedação.

ABSTRACT

SANTOS, Lucas. **Thermal Comfort in Construction: Thermal Performance of Vertical Sealing Systems.** 47 pages. Bachelor's Degree Thesis (Civil Engineering) – Federal Institute of Education, Science, and Technology of Sergipe – Aracaju Campus. 2023.

Thermal comfort is crucial for the well-being and productivity of individuals in built environments. A thermally comfortable environment provides optimal conditions of temperature, humidity, and ventilation, directly influencing people's health, satisfaction, and performance. Moreover, it contributes to energy efficiency by reducing the need for excessive heating or cooling systems. This study aimed to assess the thermal performance of four respective prototypes of vertical sealing systems (ceramic block, concrete block, precast concrete panels, and permaculture bags). The evaluated systems included ceramic blocks, concrete blocks, precast concrete panels, and permaculture sealing, all with the same dimensions. The experiment involved data collection related to the internal temperature of the prototypes, using a thermo-hygrometer over representative periods. The results revealed that the prototype constructed with ceramic blocks exhibited the best thermal performance, providing more favorable thermal comfort conditions. In contrast, the prototype with precast concrete panels showed the poorest result, indicating challenges in terms of thermal insulation. Permaculture sealing occupied an intermediate position, along with concrete blocks. These findings underscore the importance of choosing the sealing system in the pursuit of thermally comfortable indoor environments, contributing to better decision-making in the realm of sustainable construction.

Keywords: Thermal Comfort; Permaculture; Sealing Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplos de exigência para conforto	16
Figura 2 – Zoneamento bioclimático brasileiro	20
Figura 3 – Transmitância térmica de referência para paredes externas	21
Figura 4 – Bloco cerâmico horizontal 6 furos	22
Figura 5 – Bloco vazado de concreto simples	22
Figura 6 – Princípios da Permacultura	25
Figura 7 – Fluxograma das Etapas de Construção	27
Figura 8 – Fôrma para execução do contrapiso	28
Figura 9 – Concretagem dos lastros	29
Figura 10 – Execução da alvenaria de blocos cerâmicos	29
Figura 11 – Execução da alvenaria de blocos de concreto	30
Figura 12 – Montagem das paredes pré-moldadas de concreto armado	30
Figura 13 – Conclusão dos protótipos	32
Figura 14 – Termo-higrômetro	32
Figura 15 – Coleta de dados	33

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Temperaturas registradas dos protótipos no período entre 09h e 09h20min	35
Gráfico 2 – Temperaturas registradas dos protótipos no período entre 12h e 12h20min	36
Gráfico 3 – Temperaturas registradas dos protótipos no período entre 18h e 18h20min	37
Gráfico 4 – Amplitudes térmica média de cada protótipo	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condutividade Térmica dos Materiais	18
Tabela 2 – Média das temperaturas dos protótipos (°C)	38
Tabela 3 – Resultados do desempenho térmico dos protótipos	39

SUMÁRIO

1 Introdução	12
2 Objetivos	14
2.1 Objetivos Gerais	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3 Revisão Bibliográfica	15
3.1 Conforto na Construção	15
3.1.1 Conforto Térmico	16
3.2 Amplitude Térmica	17
3.3 Normas Desempenho	17
3.3.1 NBR ISO 10456	17
3.3.2 NBR 15220	18
3.3.1 NBR 15575	20
3.4 Sistemas de Vedação Vertical.....	21
3.4.1 Bloco cerâmico	21
3.4.2 Bloco vazado de concreto	22
3.4.3 Placa de Concreto Armado Pré-moldado	23
3.4.4 Sacos de Permacultura	23
4 Materiais e Métodos	26
4.1 Materiais	26
4.2 Etapas de Construção	27
4.3 Avaliação do Desempenho Térmico	32
5 Resultados e Discussões.....	35
5.1 Coleta de dados das temperaturas internas e externas	35
5.2 Cálculo da ABNT NBR 15220-2 (2022)	39
6 Conclusões	40
7 Referências	41

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história o ser humano sempre buscou condições mais favoráveis para sua sobrevivência, com o conforto térmico em edificações não seria diferente. Para Pinheiro (2008), ao longo da adaptação humana, foram encontrados registros da busca por abrigo diante das adversidades climáticas e, em períodos mais recentes, pela consecução de condições que proporcionem bem-estar e conforto físico adequados. Além da mera preservação da existência, há uma crescente demanda pela promoção do bem-estar individual.

Atualmente, um dos motivos da busca pela satisfação térmica na região nordeste do Brasil ter se agravado, é devido ao aumento da temperatura associado ao fenômeno El Niño. Este, ocorre quando as águas do Oceano Pacífico, nas proximidades da Linha do Equador, experimentam um aquecimento anormal por um período mínimo de seis meses, provocando variação na temperatura (SOARES, 2023). Então, as pessoas procuram meios de deixar suas residências mais confortáveis para habitarem.

Para Giralt (2022), o conforto térmico guarda uma relação intrínseca com o desempenho energético da edificação. Áreas em que os ocupantes não experimentam condições térmicas satisfatórias estão associadas a um aumento no consumo energético.

Uma abordagem para mitigar esse desafio envolve a implementação de diversos sistemas de vedação vertical, nos quais cada material apresenta propriedades térmicas distintas. Essas propriedades podem desempenhar um papel significativo ao facilitar ou dificultar a obtenção do conforto térmico adequado para atender às necessidades de cada indivíduo.

Conforme estipulado na Norma de Desempenho Térmico NBR 15575 (ABNT, 2021), seu propósito está centrado na avaliação do comportamento dos sistemas construtivos do edifício em relação aos requisitos dos usuários. A norma foi estruturada considerando as demandas dos usuários e as condições de implementação, delineando os requisitos a serem atendidos, estabelecendo critérios e definindo a metodologia de avaliação. Os requisitos mencionados pela norma, que se enquadram nas categorias de segurança, habitabilidade e sustentabilidade, são delineados de maneira a orientar a concepção e avaliação do desempenho dos edifícios.

Esse trabalho tem como justificativa as variações térmicas significativas nas regiões tropicais brasileiras e a busca contínua pelo conforto térmico. Assim, torna-se essencial implementar o isolamento em edificações. Isso visa criar ambientes mais agradáveis, reduzir os custos de energia elétrica e mitigar impactos ambientais. A ênfase na questão do isolamento e desempenho é crucial não apenas devido à busca pessoal por conforto, mas também devido à necessidade de ajustes nas práticas construtivas, impulsionadas pelas Normas de Desempenho. As construtoras são agora obrigadas a assegurar o conforto térmico nas paredes, atendendo aos requisitos estabelecidos nas normas. Essa necessidade fundamenta a realização deste estudo.

É fundamental compreender os diversos materiais utilizados na vedação de paredes. Isso permite avaliar as características específicas de cada situação e escolher a melhor alternativa para resolver desafios relacionados ao ambiente interno de residências e meio ambiente.

2 OBJETIVOS

Com base nos eventos discutidos na introdução anterior, serão delineados a seguir os objetivos gerais e específicos deste estudo.

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é avaliar o desempenho térmico de quatro respectivos protótipos de sistemas de vedações verticais (Bloco cerâmico, bloco de concreto, pré-moldado de concreto e sacos de permacultura).

2.2. Objetivos específicos

Para obter os dados necessários para este estudo, foram estipulados os seguintes objetivos específicos:

- Determinar a resistência térmica e a transmitância térmica de cada vedação;
- Comparar o desempenho térmico obtido com protótipos e as determinações teóricas realizadas;
- Analisar qual protótipo é menos eficiente para o clima de Aracaju (Zona Bioclimática 8);
- Analisar qual protótipo é o mais eficiente para o clima de Aracaju (Zona Bioclimática 8);

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica sobre conforto térmico envolve a busca de pesquisas anteriores sobre as condições térmicas em ambientes construídos. Essa revisão abrange artigos, livros, normas e fontes acadêmicas, explorando temas como temperatura, umidade e ventilação.

3.1.1 Conforto na Construção

Segundo Mählmann (2018, p. 118) conforto, de forma geral, é uma condição mental que expressa satisfação em relação ao ambiente em que o indivíduo está inserido, podendo ser térmico, acústico, lumínico ou até relacionado a qualidade do ar.

O que abrange de forma geral o conforto na construção é o ambiental, para Mählmann (2018), é uma meta essencial que visa tornar edifícios e ambientes urbanos apropriados para atender às necessidades e satisfação das pessoas que os utilizam. Esse princípio está intrinsecamente relacionado com o propósito fundamental de garantir condições habitáveis, ao mesmo tempo em que se promove a utilização responsável dos recursos disponíveis.

A NBR 15220-1 (ABNT, 2005) define conforto térmico como “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente”.

Para Maia (2021), o conforto acústico é atingido quando quaisquer ruídos que impedem a produtividade e desenvolvimento de tarefas são eliminados. Na construção é preciso selecionar os materiais com propriedades compatíveis com as exigências legais e do cliente, dispô-los da melhor forma, para que os indivíduos não tenham a saúde comprometida e possam ser produtivos.

“A iluminação natural é considerada a melhor fonte de luz para proporcionar uma boa interpretação das cores, e sua qualidade está diretamente ligada a seu ajuste à resposta visual humana.” (PINHEIRO, 2014, p. 17). Portanto, para um bem-estar visual, o ambiente deve possuir alguma fonte de luz natural.

Segundo Ramirez (2023), apenas treze países tiveram a qualidade do ar saudável em 2022. Grande parte desse problema vem da queima de combustíveis fósseis e queimadas, sendo essas as principais causas da poluição do ar.

As normas trazem alguns critérios para os diferentes tipos de conforto, como pode-se observar na figura 1:

Figura 1 – Exemplos de exigência para conforto

Requisito	Critério para bom desempenho ou atendimento de exigência mandatória	Documento de referência
Conforto térmico	Porcentagem máxima de pessoas insatisfeitas com a movimentação de ar: 10%	ISO 7730
	Assimetria máxima de temperatura radiante na horizontal: < 10 °C	
	Temperatura operativa interna máxima como uma função da temperatura média mensal externa, para ambientes não climatizados	ASHRAE 55/2005
Conforto acústico	Nível de ruído máximo no interior de dormitórios: 45 dB (A)	ABNT NBR 10152:2017
	Tempo de reverberação máximo em salas de aula: entre 0,6 s e 0,7 s, dependendo do volume do recinto	ANSI/ASA S12.60
	Nível de pressão sonora total, ponderado em A, maior que o nível de interferência na fala	ISO 9921:2003
Conforto visual	Nível de iluminância mínima de 500 lux no entorno imediato e maior ou igual a 750 lux na tarefa	ABNT NBR ISO/ CIE 8995-1:2013
	Possibilidade de ter contato visual com o exterior	DIN 5034-1
	Índice de ofuscamento máximo de 19, causado pelo sistema de iluminação artificial, em salas de espera	AS/NZS 1680.2
Qualidade do ar	Concentração máxima de CO ₂ no ar: 1.000 PPM em ambientes de escritório climatizados	Resolução da Agência Nacional de Vigilância Sanitária
	Valor máximo recomendável para contaminação microbiológica deve ser < 750 ufc/m ³ de ar ambiente em ambientes de escritório climatizado	
	Quantidade máxima de aerodispersóides deve ser < 80 µg/m ³ de ar em ambientes de escritório climatizados	

Fonte: Mählmann, 2018, p. 119

3.1.2 Conforto Térmico

Para Frota e Schiffer (2016), o ser humano é um animal homeotérmico. Portanto, sua temperatura interna é mantida normalmente em torno dos 37°C, com uma variação mínima entre 36,1 e 37,2°C. Dessa forma, o organismo humano só experimenta a sensação de conforto térmico quando as trocas de calor com o ambiente são feitas sem a necessidade de nenhuma ferramenta de termorregulação.

Para Lamberts (2011) o conforto térmico está baseado em três fatores:

- a) A satisfação do homem ou seu bem-estar em se sentir termicamente confortável;
- b) A performance humana, as atividades intelectuais, manuais e perceptivas.
- c) A conservação de energia, pois devido à gradativa automatização da sociedade, as pessoas passam muito tempo em ambientes artificialmente controlados em termos de temperatura. Ao entender isso, pode-se evitar desperdícios desnecessários de energia.

Ainda assim, por existir uma grande variedade biológica entre indivíduos, é impossível garantir a plenitude do conforto térmico. No entanto, procura-se uma condição térmica agradável para a maior parte do grupo.

3.1.3 Amplitude Térmica

De acordo com Tozzo (2023), a amplitude térmica se define como a diferença entre a temperatura máxima e mínima apresentada em determinado local, durante determinado período. Em situações em que a discrepância entre as temperaturas é pequena, a amplitude térmica é considerada baixa, enquanto em casos de uma grande diferença, a amplitude é categorizada como alta.

Para Oliveira (2019), no Brasil, as regiões Norte e Nordeste apresentam uma amplitude térmica reduzida devido ao seu clima tropical e equatorial, resultando em temperaturas elevadas ao longo de todo o ano.

3.2 Normas Desempenho

Segundo Tumelero (2020), as Normas Brasileiras (NBRs) são desenvolvidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), desempenhando um papel crucial na criação de regulamentações técnicas que abrangem uma ampla gama de áreas, desde pesquisa acadêmica até processos empresariais. Essas normas desempenham um papel fundamental na padronização, organização e aprimoramento da qualidade de documentos e procedimentos. Ao seguir as NBRs, as organizações e indivíduos conseguem garantir que a documentação e os processos sigam um padrão comum, simplificando a compreensão e promovendo a uniformidade em diferentes setores. Nas seguintes seções serão abordadas parte das NBR ISO 10456, NBR 15220, NBR 15575-4.

3.2.2 NBR ISO 10456

A NBR ISO 10456 (ABNT, 2022) aborda a avaliação do desempenho energético de produtos e sistemas de edifícios, especialmente em relação à conservação de energia. Inclui diretrizes para calcular a transferência de calor e umidade, exigindo valores de propriedades térmicas e de umidade. Esses valores podem ser obtidos a partir de dados declarados, que são baseados em medições dos produtos. A norma oferece informações tabuladas para condutividade térmica de materiais, como pode ser observado na tabela 1, e também especifica procedimentos para determinar valores térmicos declarados e de projeto. Esses procedimentos são aplicáveis a uma faixa de temperatura

entre -30 °C e +60 °C e a norma também fornece coeficientes de conversão para temperatura e umidade, sendo válidos entre 0 °C e 30 °C.

Tabela 1 – Condutividade Térmica dos Materiais

Material	Condutividade Térmica (w/m.k)
Concreto	2
Fibrocimento	0,95
Solo	0,56
Blocos cerâmicos	1
Concreto armado	2,5

Fonte: NBR ISO 10456, ABNT 2022

W/m.k - Watts por metro por kelvin

3.2.3 NBR 15220

A NBR 15220 é dividida em três partes, cada uma abordando aspectos específicos relacionados ao desempenho térmico em edificações:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades

Essa seção da NBR tem como objetivo definir os termos relacionados ao desempenho térmico de edificações, além de estabelecer os símbolos e unidades correspondentes para esses termos.

Define parâmetros como tipos de temperatura, umidade relativa do ar, irradiância solar, entre outros, que devem ser considerados na avaliação do conforto térmico.

- Parte 2: Componentes e elementos construtivos das edificações – Resistência e Transmitância térmica – Métodos de cálculo.

Para GRAF (2011), a transmitância térmica (U) é uma medida que descreve a capacidade de um elemento construtivo em permitir a passagem de calor quando existe uma diferença de temperatura entre os meios de cada lado desse elemento em regime estacionário. A NBR 15220-2 (ABNT, 2022) define como sendo o inverso da resistência térmica.

$$U = \frac{1}{R_{tot}} \quad (1)$$

Onde:

U = transmitância térmica

R_{tot} = resistência total do elemento

A capacidade térmica é a “quantidade de calor necessária para variar em uma unidade de temperatura de um sistema” (NBR 15220-1, ABNT 2005).

A resistência térmica (R) é o “quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela

densidade de fluxo de calor, em regime estacionário” (NBR 15220-1, ABNT 2005). Em outras palavras, ela quantifica a capacidade desse elemento de resistir à transferência de calor, expressando como a diferença de temperatura se relaciona com o fluxo de calor através do material. Se a condutividade do material for conhecida, a resistência térmica pode ser obtida a partir da seguinte fórmula:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (2)$$

Onde:

R = resistência térmica do elemento (m².K/W)

d = espessura da camada (m)

λ = coeficiente de condutividade térmica do material (W/m.K)

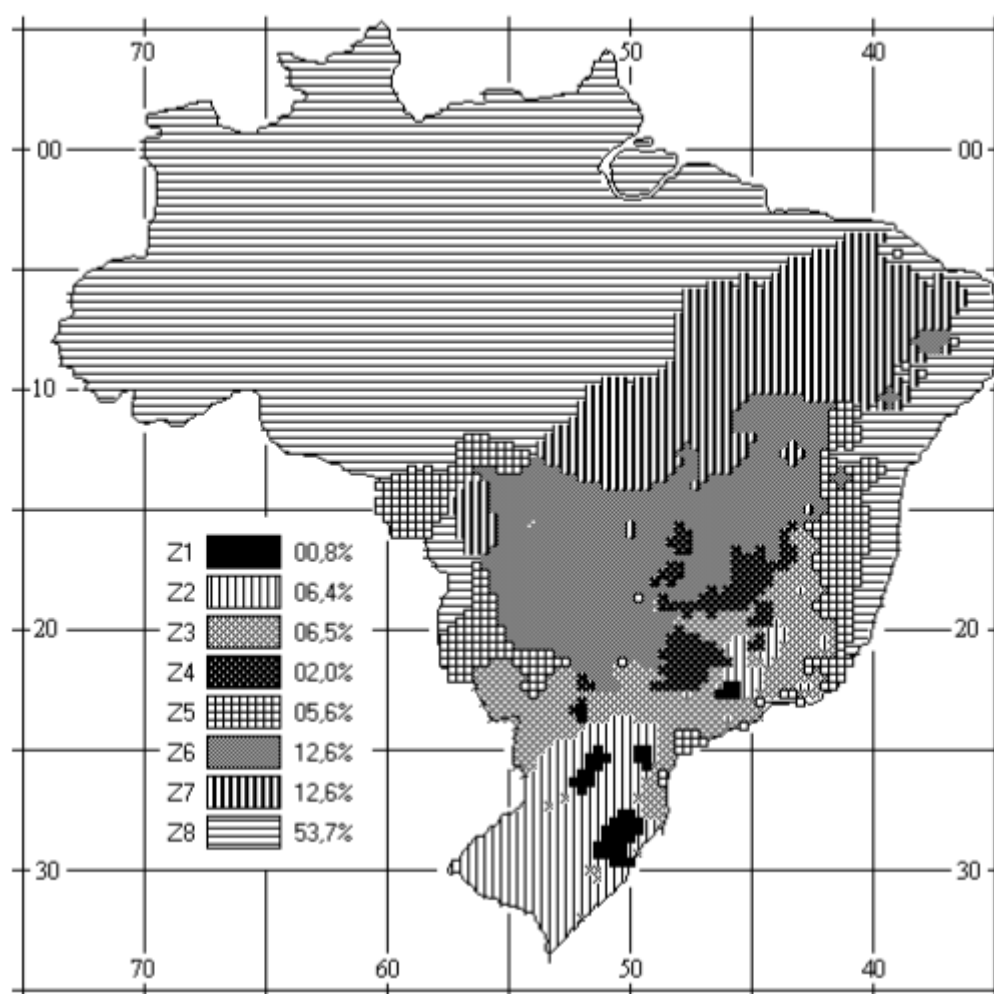
Define os critérios de projeto para garantir o conforto térmico em edificações, incluindo o dimensionamento de sistemas de condicionamento de ar e ventilação. Considerando aspectos como isolamento térmico, orientação solar e ventilação natural.

- Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social

De acordo com Barbosa e Carvalho (2010), define-se zoneamento como Uma estratégia de ordenamento territorial é representada pelo instrumento jurídico que o planejamento urbano utiliza para estabelecer os planos de ocupação do solo, garantindo a adequada distribuição das diversas finalidades de uso do solo em uma área urbana (apud Mählmann, 2018, p. 117). Uma das categorias de zoneamento é a ambiental, que busca preservar o meio e as suas condições naturais.

Esta parte trata do zoneamento bioclimático do Brasil, que Mählmann (2018, p. 121) estabelece como um instrumento feito a partir de um estudo sobre o clima do Brasil, que auxilia na obtenção do conforto térmico. Assim, dividindo o país em oito zonas climáticas específicas, conforme a figura 2 abaixo:

Figura 2 - Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: NBR 15220-3, ABNT 2005

Esse mapa fornece informações sobre as características climáticas de cada zona e a norma traz orientações para o projeto de edificações de acordo com a zona bioclimática em que se encontram. Ainda, pode-se observar que área em que o presente trabalho se encontra é a zona 8 (Aracaju / SE).

3.2.4 NBR 15575

A NBR 15575 (ABNT, 2021) é dividida em seis partes e estabelece diretrizes abrangentes que uma construção residencial deve cumprir para garantir seu desempenho adequado durante a ocupação. Ela estipula padrões relativos à segurança, conforto habitável e sustentabilidade, delineando os requisitos, critérios e procedimentos de avaliação que devem ser seguidos.

O capítulo 11 da parte 1 estabelece requisitos e critérios acerca do desempenho térmico das edificações. Este, depende de alguns fatores como paredes e coberturas, áreas de ventilação e envidraçadas, entidades que possuem cargas térmicas internas e do clima da cidade. Essa seção tem como objeto avaliar os ambientes sem condicionamento do ar, ou quando ele é feito de forma artificial.

A NBR 15575-4 (ABNT, 2021) é a referência para os cálculos deste trabalho. Ela estabelece a avaliação do desempenho térmico de nível mínimo para sistemas de vedações verticais externas (SVVE), sendo um procedimento simplificado obrigatório. Portanto um parâmetro será adotado, como indicado na figura 3.

Figura 3 – Transmitância térmica de referência para paredes externas

Transmitância térmica de paredes (U_{par}) $W/(m^2 \cdot K)$		
Zonas bioclimáticas 1 e 2	Zonas bioclimáticas 3 a 8	
$U_{par} \leq 2,7$	$\alpha_{par}^a \leq 0,6$	$\alpha_{par} > 0,6$
	$U_{par} \leq 3,7$	$U_{par} \leq 2,5$
^b α_{par} é a absorptância à radiação solar da superfície externa da parede. Recomenda-se a consideração da degradação do desempenho desta superfície, conforme ABNT NBR 15575-1:2021, 11.2 Os limites de α_{par} estabelecem a transmitância térmica de referência que deve ser considerada nas paredes externas. No caso de paredes com superfície externa em chapas metálicas de qualquer natureza, com ou sem aplicação de pintura ou outro acabamento, a superfície externa deve apresentar valor de emitância térmica superior a 0,7, para as zonas bioclimáticas 3 a 8. O valor da emitância térmica deve ser comprovado por meio de laudo técnico conforme a ABNT NBR 15575-1:2021, Tabela 1. Unidades habitacionais com APP que adotarem valores de transmitância térmica de paredes externas que ultrapassem os limites desta Tabela devem ser avaliadas por meio do procedimento de simulação computacional, estabelecido na ABNT NBR 15575-1:2021, 11.4.		

Fonte: NBR 15575-4, ABNT 2021

O cálculo da capacidade térmica não se faz necessário, pois a zona bioclimática 8 na qual o experimento foi realizado não possui exigência (NBR 15575-4, ABNT 2021).

3.3 Sistemas de Vedação Vertical

Para Pereira (2018), a alvenaria de vedação não é projetada para suportar cargas verticais, somente seu peso próprio. É o método mais utilizado no Brasil para separar, vedar os ambientes e são as principais formas de garantir conforto térmico para as edificações. Existem diferentes materiais que são utilizados para vedação, blocos cerâmicos, blocos de concreto, pré-moldados de concreto e sacos de permacultura, são alguns exemplos.

3.3.2 Bloco Cerâmico

Esses blocos são feitos com bordas retas e têm aberturas cilíndricas ou prismáticas. Eles são criados através do processo de extrusão, onde toda a umidade é removida e a matéria orgânica é queimada, resultando na vitrificação pela fusão dos grãos de sílica. Esses blocos são produzidos pela queima da cerâmica vermelha. (LEGGERINI, 2021).

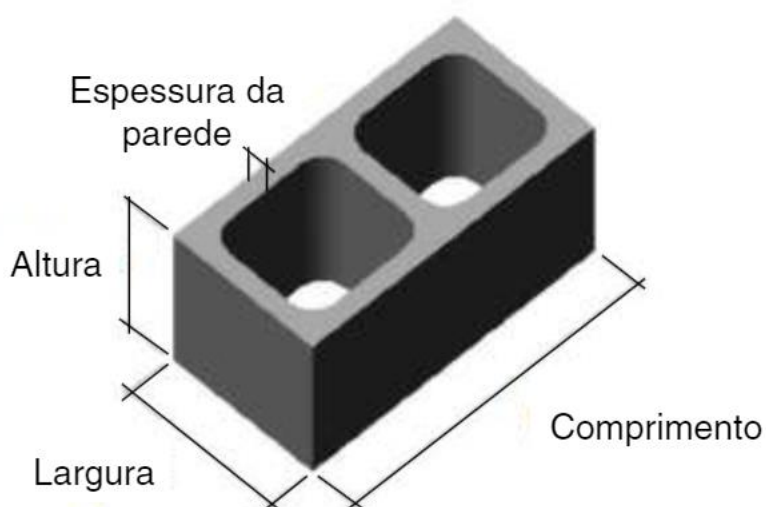
Figura 4 – Bloco cerâmico horizontal 6 furos

Fonte: Dishelp, 2023

Para Akutsu (2021), o bloco cerâmico possui destaque em relação a retenção de calor e umidade. Tem uma baixa taxa de absorção de água, porém seu coeficiente de condutibilidade térmica e secagem são três vezes menores. Assim sendo, são excelentes isolantes térmicos em regiões tropicais com maiores temperaturas. Entretanto, são extremamente ineficientes em regiões mais frias

3.3.3 Bloco Vazado de Concreto

“Componente para execução de alvenaria, com o sem função estrutural, vazado nas faces superior e inferior, cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta” (NBR 6136, ABNT 2016).

Figura 5 – Bloco vazado de concreto simples

Fonte: NBR 6136, ABNT 2016

Observando a figura 5, os furos têm função de passar instalações. Os blocos de vedação são os mais baratos do mercado e são mais utilizados em muros ou como suporte de estruturas de concreto armado (Oliveira, 2019).

Além disso, para Oliveira (2019), os blocos de concreto possuem algumas vantagens.

- Alta resistência
- Auxilia na produtividade
- Aplicação direta em superfícies
- Isolamento acústico
- Isolamento térmico

Os furos distribuem a frequência dos sons, e graças a eles, os blocos são melhores isolantes de temperatura comparado aos maciços.

3.3.4 Placa de Concreto Armado Pré-Moldado

Segundo Parizotto (2017) a integração entre o concreto simples e a armadura é fundamental no concreto armado. A aderência entre esses elementos é essencial para garantir que resistam de forma coesa às forças aplicadas. Essa conexão sólida é crucial para a eficácia do sistema estrutural, permitindo que o concreto e a armadura atuem de maneira conjunta contra as solicitações de esforços.

De acordo com a NBR 9062 (ABNT 2017), elementos pré-moldados são moldados previamente em local distinto do seu destino.

Álvares (2018) constatou em seu estudo de caso de parede de concreto armado, que a temperatura interna das casas atingia maiores valores do que a externa no período de verão. Além disso, no inverno, as temperaturas externas e internas praticamente se igualaram. Assim, faz-se necessário o uso de roupas de frio no inverno e a utilização de métodos para resfriar o ambiente para que os moradores obtenham a sensação de conforto térmico.

3.3.5 Sacos de Permacultura

A permacultura foi criada por Bill Mollison e David Holmgren na década de 70, originalmente chamada de “agricultura permanente”. Entretanto, com o passar dos anos transcendeu a agricultura e atingiu outras áreas, passando a ser chamada de “cultura permanente”. Nos dias de hoje, tem como alvo principal garantir a sustentabilidade (SANTOS, 2023).

A permacultura possui 3 pontos de ética:

- Cuidar da terra
- Cuidar das pessoas
- Cuidar do futuro

Além disso, Santos (2023) apresenta doze princípios de planejamento que devem andar de mãos dadas com essas condutas de ética, conforme figura 6:

1. Observar e interagir: Este princípio enfatiza a importância da observação atenta da natureza e dos sistemas antes de tomar medidas. Devemos compreender como as coisas estão interconectadas e interagem antes de agir.

2. Captar e armazenar energias: A permacultura promove o uso eficiente de recursos naturais, como energia solar e água da chuva, e incentiva o armazenamento dessas energias para uso futuro, reduzindo a dependência de recursos não renováveis.

3. Obter rendimento: Além de planejar a longo prazo, a permacultura valoriza a obtenção de benefícios imediatos, atendendo às necessidades básicas das pessoas de maneira sustentável.

4. Praticar a autorregulação e aceitar retornos: são projetados para autorregular-se sempre que possível, ajustando-se com base no *feedback* da natureza. Isso ajuda a evitar desequilíbrios ecológicos.

5. Usar e valorizar os serviços e recursos renováveis: A permacultura prioriza o uso de recursos naturais renováveis, como sol, vento e água, sempre que possível, em vez de depender de recursos não renováveis.

6. Não produzir desperdícios: Este princípio incentiva a minimização do desperdício através das ações de recusar, reduzir, reaproveitar, reparar e reciclar, promovendo um estilo de vida mais consciente.

7. Planejar partindo de padrões para os detalhes: A permacultura começa com um planejamento amplo, considerando padrões naturais e culturais, e depois se concentra nos detalhes específicos de implementação.

8. Integrar ao invés de segregar: A integração de elementos nesse sistema promove relações cooperativas e simbióticas entre eles, em vez de segregação ou competição.

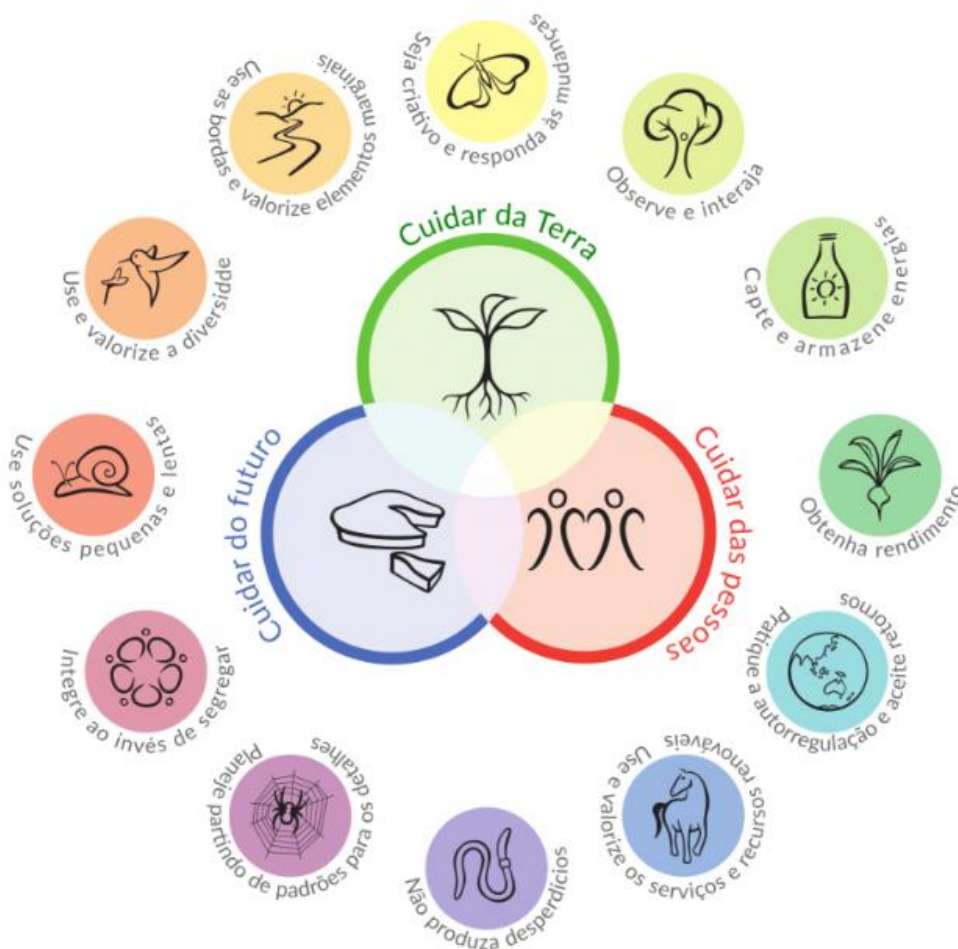
9. Usar soluções pequenas e lentas: A permacultura valoriza soluções locais, pequenas e de implementação gradual, em vez de depender de tecnologias complexas e rápidas que podem ter impactos negativos.

10. Utilizar e valorizar a diversidade: A diversidade de plantas, animais e culturas é vista como fundamental para a resiliência e a sustentabilidade.

11. Usar as bordas e valorizar elementos marginais: As áreas de transição entre diferentes sistemas são reconhecidas como ricas em biodiversidade e oportunidades de design criativo.

12. Ser criativo e responda às mudanças: A permacultura incentiva a criatividade na adaptação constante aos desafios e mudanças, garantindo a flexibilidade dos sistemas e a capacidade de resposta a eventos inesperados.

Figura 6 – Princípios da Permacultura



Fonte: Santos, 2023

Para Rosa (2021), o método de construção conhecido como "*earthbags*" é uma técnica que combina elementos antigos e contemporâneos, consistindo essencialmente em empilhar sacos cheios de terra (também chamados de sacos de areia) para criar construções. Os sacos de areia, historicamente utilizados pelo exército para a construção de barricadas e para o controle de enchentes, provaram ser altamente versáteis e adaptáveis na construção de habitações.

As paredes resultantes desse método são incrivelmente robustas, proporcionando massa térmica eficaz para controle de temperatura, sendo praticamente à prova de balas e exibindo resistência notável a desastres naturais, como terremotos e inundações. O grande benefício dessa abordagem é que essas construções podem ser erguidas de maneira simples, rápida e econômica, fazendo uso de materiais facilmente acessíveis.

Portanto, o método "*earthbags*" representa uma solução de construção eficaz e acessível, que aproveita as vantagens de um método antigo para criar habitações modernas e resistentes.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O propósito deste estudo consiste em efetuar uma análise comparativa do desempenho térmico de distintos tipos de vedação vertical em contextos residenciais, empregando quatro protótipos em um experimento controlado. O projeto é estruturado em três fases distintas: a fase inicial abarca a caracterização dos materiais utilizados e a montagem dos protótipos; a segunda fase envolve a coleta de dados, bem como sua posterior avaliação; e, por fim, a terceira etapa concentra-se na análise dos cálculos e na avaliação das condições de conforto térmico.

No que tange à construção dos protótipos, a conformidade com as normas técnicas foi estritamente seguida, em consonância com as diretrizes estabelecidas na NBR 15575 (ABNT, 2021) para edificações residenciais, bem como os cálculos são conduzidos conforme as especificações estipuladas na NBR 15220-2 (ABNT, 2022) relativas à transferência de calor nas edificações. O foco do trabalho foi a análise das propriedades térmicas, incluindo a resistência e a transmitância térmica dos distintos materiais que compõem as paredes ou vedação vertical, com o intuito de determinar qual deles proporciona as condições mais favoráveis para o conforto térmico.

Os experimentos foram conduzidos em Aracaju, no bairro Robalo, no estado de Sergipe, em uma área com pouca concentração de edificações. A escolha deste local é respaldada pela sua classificação na zona bioclimática 8, caracterizada por uma excelente exposição solar e condições de ventilação favoráveis. Todos os protótipos seguiram um padrão uniforme em relação às dimensões, e cada um foi dotado de uma laje e um telhado construídos com os mesmos materiais. A distinção primordial entre os protótipos está na constituição das alvenarias, que foram erigidas com materiais diversos, constituindo, assim, o cerne da análise realizada neste estudo.

4.1 Materiais

Cada um dos protótipos foi construído baseado no estudo de Fiegenbaum (2018), incorporando lajes de 10 centímetros de espessura, e uma cobertura composta por telhas de fibrocimento. Todos os protótipos possuem uma abertura quadrada de 20 cm² posicionada na mesma direção. Esse orifício foi vedado com poliestireno expandido (EPS), escolhido devido às suas propriedades como isolante térmico eficaz e custo acessível. Este orifício, no qual as medições de temperatura serão conduzidas, é idêntico em todos os protótipos.

Devido ao custo mais elevado das placas de concreto armado, as mais acessíveis possuíam 80 cm². Em virtude disto, todas as alvenarias verticais dos protótipos findaram em 80 x 80 x 80 cm.

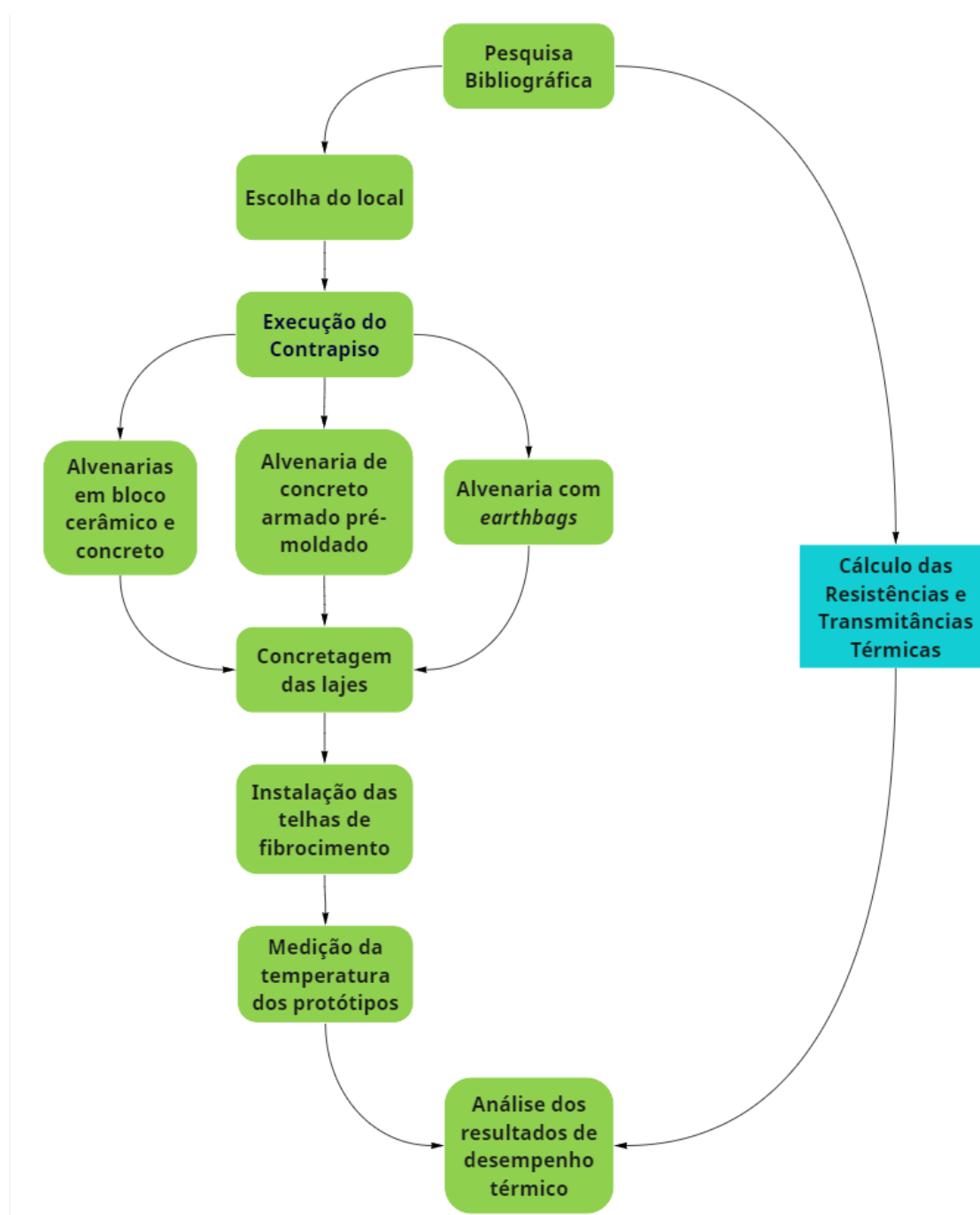
A distinção essencial entre os protótipos reside apenas no material empregado para a execução da alvenaria vertical, sendo essa a única variável técnica que os diferencia.

Os pontos de interesse na alvenaria são elementos estruturais essenciais que, devido à sua natureza simplificada, ausência de sobrecarga e falta de necessidade de desempenhar funções estruturais específicas, foram dispensados de um processo de preenchimento das lacunas nos blocos de cerâmica e nas colunas de alvenaria estrutural.

4.2 Etapas de Construção

Os processos realizados para realização do estudo podem ser resumidos observando a figura 7.

Figura 7 – Fluxograma das Etapas de Construção



Fonte: Autor (2023)

Todos os processos destacados em verde na Figura 7 requereram uma sequência ordenada para a conclusão do trabalho. Em contrapartida, os cálculos efetuados com base nas normas foram realizados de forma simultânea, beneficiando-se das informações prévias disponíveis.

1) Pesquisa bibliográfica

Primeiramente, um passo crucial envolveu aprofundar o conhecimento nas normas técnicas relevantes, especificamente as NBRs 15220, 15575 e ISO 10456. Esse estudo minucioso foi fundamental para estabelecer uma sólida base teórica que sustentaria todo o processo. Essas normas desempenharam um papel fundamental na definição dos parâmetros e critérios necessários para avaliar o desempenho térmico dos protótipos garantindo, assim, a conformidade com as diretrizes e requisitos estabelecidos.

2) Escolha de local para realização do estudo

Para não existir alterações nos resultados, foram feitas marcações nos locais dos protótipos de forma a garantir que não projetassem sombras uns sobre os outros, como visto na figura 8.

Figura 8 – Fôrma para execução do contrapiso



Fonte: Autor (2023)

As formas foram confeccionadas com materiais previamente existentes no local.

3) Cálculo da resistência e transmitância térmica

Em paralelo com a execução dos protótipos, os cálculos da resistência e transmitância térmica foram feitos baseados na NBR 15220-2 (ABNT, 2022), onde apresenta o método simplificado para realização dos cálculos de resistência e transmitância térmica.

4) Execução dos lastros de concreto

Todos foram executados de maneira uniforme, com cimento CII areia lavada e brita 1, conforme figura 9. Optou-se por realizar a cura com água durante 5 dias para evitar fissuras no concreto.

Figura 9 – Concretagem dos lastros



Fonte: Autor (2023)

- 5) Execução das alvenarias em bloco cerâmico, concreto e montagem das paredes pré-moldadas de concreto armado

Após a execução dos concretos, sucedeu a confecção das alvenarias de vedação verticais como observado na figura 10, 11 e 12.

Figura 10 – Execução da alvenaria de blocos cerâmicos



Fonte: Autor (2023)

Os protótipos elaborados com blocos cerâmicos e concretos foram confeccionados no mesmo dia de execução.

Figura 11 – Execução da alvenaria de blocos de concreto



Fonte: Autor (2023)

Conforme ilustrado na Figura 11, a última camada precisou ser cortada para se alinhar às dimensões dos demais modelos.

Figura 12 – Montagem das paredes pré-moldadas de concreto armado



Fonte: Autor (2023)

O protótipo pré-moldado foi erguido com maior velocidade, dado que as placas foram previamente moldadas, demandando apenas a montagem durante o processo construtivo.

6) Execução da alvenaria com *earthbags*

A princípio, os sacos de aniagem, que foram encontrados no Mercado Municipal de Aracaju são muito grandes para desenvolver as vedações deste estudo, a construção em permacultura. Entretanto, para realização do trabalho, optou-se por cortá-los e costurá-los com tamanhos similares aos blocos de concreto e cerâmica para que o resultado não seja prejudicado devido a suas dimensões.

Então, constatou-se que os sacos de polipropileno disponíveis no mercado, comumente empregados na construção em permacultura, apresentam espessuras maiores que os demais materiais. No entanto, no intuito de assegurar a homogeneidade metodológica, optou-se por proceder ao corte e costura desses sacos, a fim de ajustar suas dimensões de maneira a se assemelharem aos blocos convencionais de concreto e cerâmica. Isso foi realizado com a finalidade de evitar qualquer interferência indesejada no desempenho devido às discrepâncias dimensionais.

Os sacos foram preenchidos com solo local, de acordo com método construtivo preconizado, sendo preenchidos aproximadamente a 90% de sua capacidade, deixando-se apenas a quantidade necessária para o fechamento. Subsequentemente, todos os sacos foram selados com fios de calibre 15, a fim de prevenir qualquer escape de material, seguido de um processo de compactação para reforçar sua resistência. Adicionalmente, entre as fileiras de sacos, foi empregado arame farpado para a sua fixação.

7) Concretagem das lajes

Similar ao utilizado em residências, a decisão foi tomada de empregar sistemas de lajes compostos por lajotas e vigotas em detrimento da utilização de elementos de laje pré-moldados, pois o vão dos protótipos é bastante pequeno, possibilitando o uso da laje treliçada com lajota cerâmica.

8) Instalação das telhas de fibrocimento

As telhas foram uniformemente dispostas em todos os protótipos, adotando um ângulo de inclinação de 10% com o propósito de prevenir a retenção de água e evitar qualquer influência nos resultados.

9) Medição da temperatura dos protótipos

Com a finalização dos protótipos, visto na figura 13, deu-se início à etapa de avaliação das medições, as quais foram realizadas em diversas fases.

Figura 13 – Conclusão dos protótipos



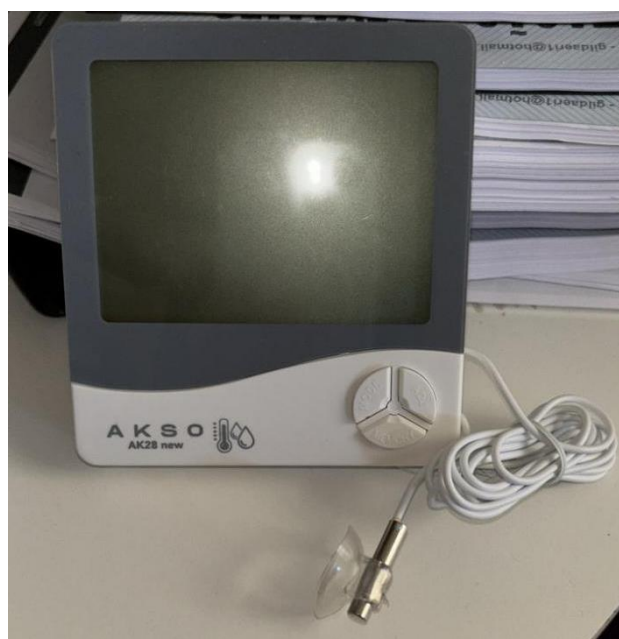
Fonte: Autor (2023)

Acima estão representados todos os protótipos em suas configurações finais.

4.3 Avaliação do Desempenho Térmico

Para avaliação do desempenho térmico, foram coletados dados referentes à temperatura interna e externa de cada protótipo utilizando um termo-higrômetro (figura 14) que possibilitou a realização do estudo através da comparação entre as medições dos 4 modelos.

Figura 14 – Termo-higrômetro



Fonte: Autor (2023)

Este aparelho possui algumas características que devem ser destacadas:

- **Ampla Faixa de Medição:** O sensor interno abrange temperaturas de -10 a 50°C e níveis de umidade relativa de 20 a 99%. Além disso, o sensor externo/sonda permite medições de temperatura entre -50 a 70°C.
- **Resolução e Precisão:** Com uma resolução de 0,1°C para temperatura e 1% para umidade relativa, o dispositivo fornece leituras, com uma margem de erro de 0,1°C na faixa de 10 a 50°C e 1,5°C nas demais faixas de temperatura, além de 1,5% de margem de erro para a umidade relativa.
- **Faixa de Umidade de Operação:** é projetado para operar em uma faixa de 20% a 99% de umidade relativa, sem preocupações com condensação.
- **Design e Sensor Externo:** Com dimensões de 98 x 106 x 23 mm. O sensor externo possui um cabo de 1,5 metros.
- **Funções Adicionais:** Além das medições precisas de temperatura e umidade, o dispositivo oferece funcionalidades adicionais para maior conveniência. Ele registra automaticamente as temperaturas máximas e mínimas, permitindo o acompanhamento das variações ao longo do tempo. Pode-se alternar entre as unidades de medida Celsius (°C) e Fahrenheit (°F). Além disso, possui um relógio interno.

Para efetuar a medição das temperaturas, o termo-higrômetro foi posicionado em proximidade ao protótipo destinado à coleta (figura 15). Utilizando o sensor interno localizado na extremidade do cabo do dispositivo, procedeu-se à medição das temperaturas internas introduzindo-o no orifício existente no EPS. Simultaneamente, o aparelho automaticamente registrou e calculou a temperatura externa nas imediações do protótipo em questão.

Figura 15 – Coleta de dados



Fonte: Autor (2023)

Na figura acima, está representada a abordagem adotada para a coleta de dados de cada um dos protótipos, com a temperatura externa registrada na parte superior, a temperatura interna na parte intermediária, o horário na parte inferior esquerda e o percentual de umidade na parte inferior direita. Ademais, em conformidade com as orientações do manual do fabricante, foi necessário um período de espera de 5 minutos para assegurar maior precisão nas medições.

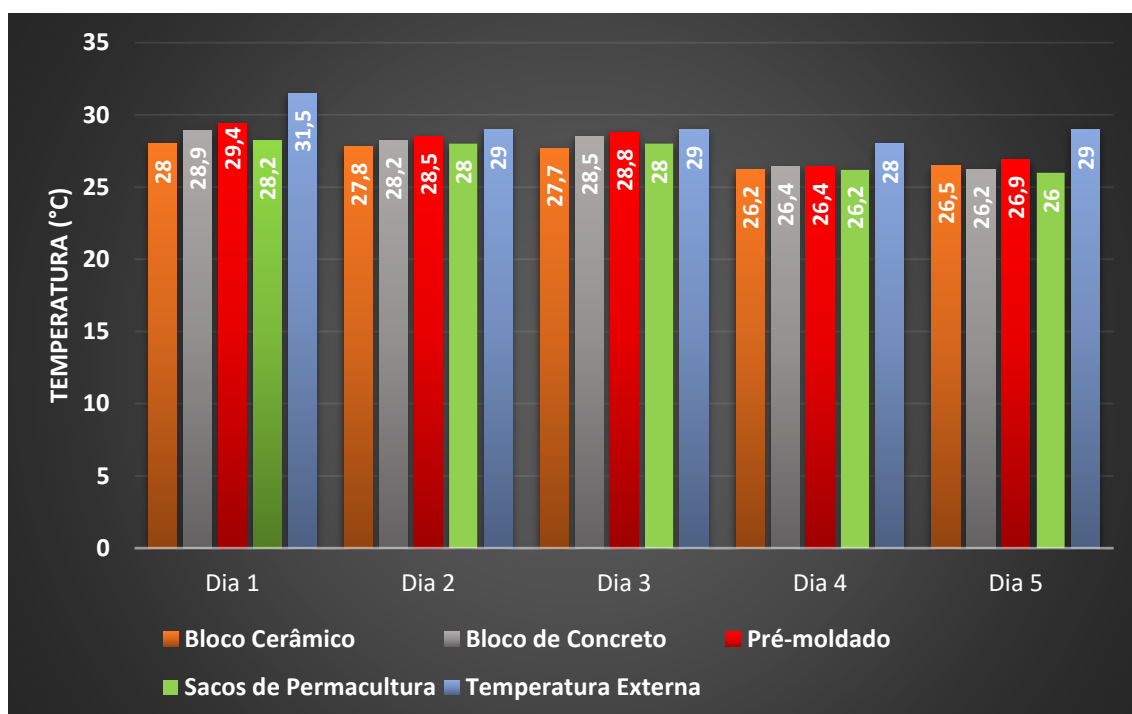
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para atingir os resultados com a metodologia proposta, foram realizados os cálculos apresentados na NBR 15220-2 (ABNT, 2022) e as medições das temperaturas internas e no ambiente externo de cada um dos protótipos utilizando o termo-higrômetro.

5.1 Coleta de dados das temperaturas internas e externas

Decidiu-se registrar os valores de temperatura em intervalos regulares ao longo de cinco dias consecutivos, mantendo os horários, a fim de obter uma amostragem mais abrangente. Então, foi obtido o valor de cada uma das temperaturas como pode ser visto nos gráficos 1, 2 e 3.

Gráfico 1 – Temperaturas registradas dos protótipos no período entre 09h e 09h20min



Fonte: Autor (2023)

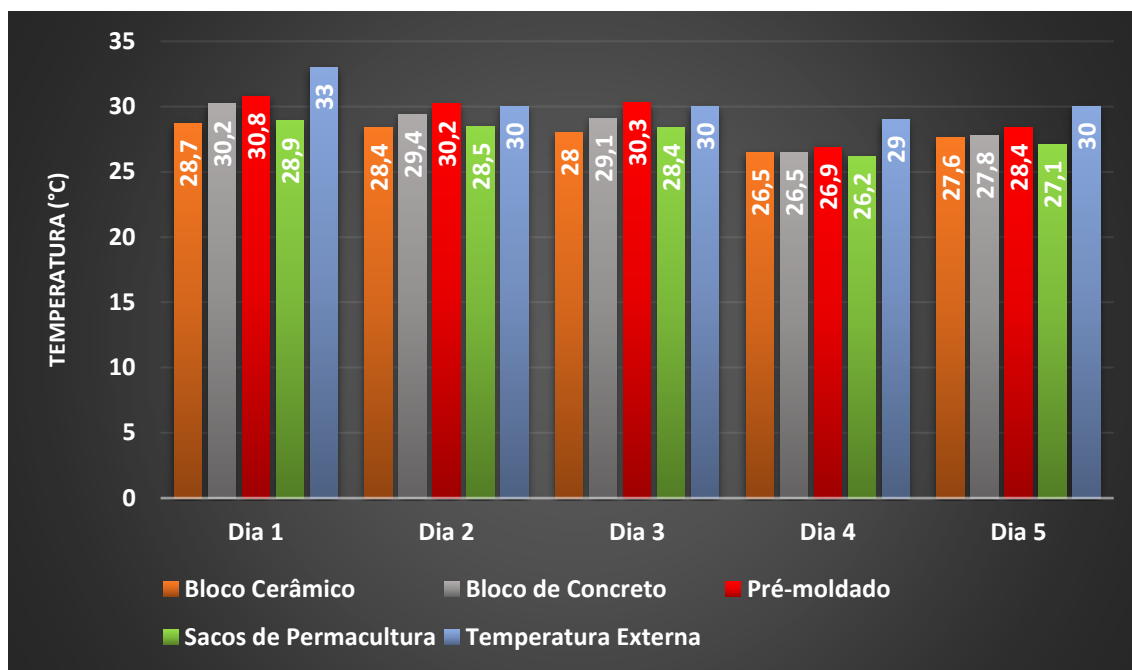
Ao analisar o gráfico, observa-se que, durante esse intervalo de tempo específico, a temperatura mais elevada foi registrada no ambiente externo no primeiro dia, enquanto a temperatura mais baixa foi registrada nos sacos de permacultura no quarto dia. Vale ressaltar que, nos dias 1, 2 e 3, o clima foi ensolarado, enquanto nos dias 4 e 5 esteve nublado, com chuvas no quarto dia.

No dia em que ocorreu precipitação (dia 4), todos os quatro protótipos registraram menores temperaturas. Durante esse período, a variação de temperatura entre os protótipos foi mínima, com o modelo de bloco cerâmico apresentando valores idênticos aos sacos de permacultura, enquanto os dois modelos de concreto também exibiram valores iguais.

Nos primeiros três dias, as temperaturas dos protótipos seguiram um padrão, indo da menor para a maior, respectivamente: cerâmica, permacultura,

concreto, pré-moldado e externa. No entanto, no quinto dia, houve uma maior divergência desse padrão, destacando-se o protótipo de bloco cerâmico com a segunda temperatura mais alta, enquanto os *earthbags* registraram as temperaturas mais baixas.

Gráfico 2 – Temperaturas registradas dos protótipos no período entre 12h e 12h20min



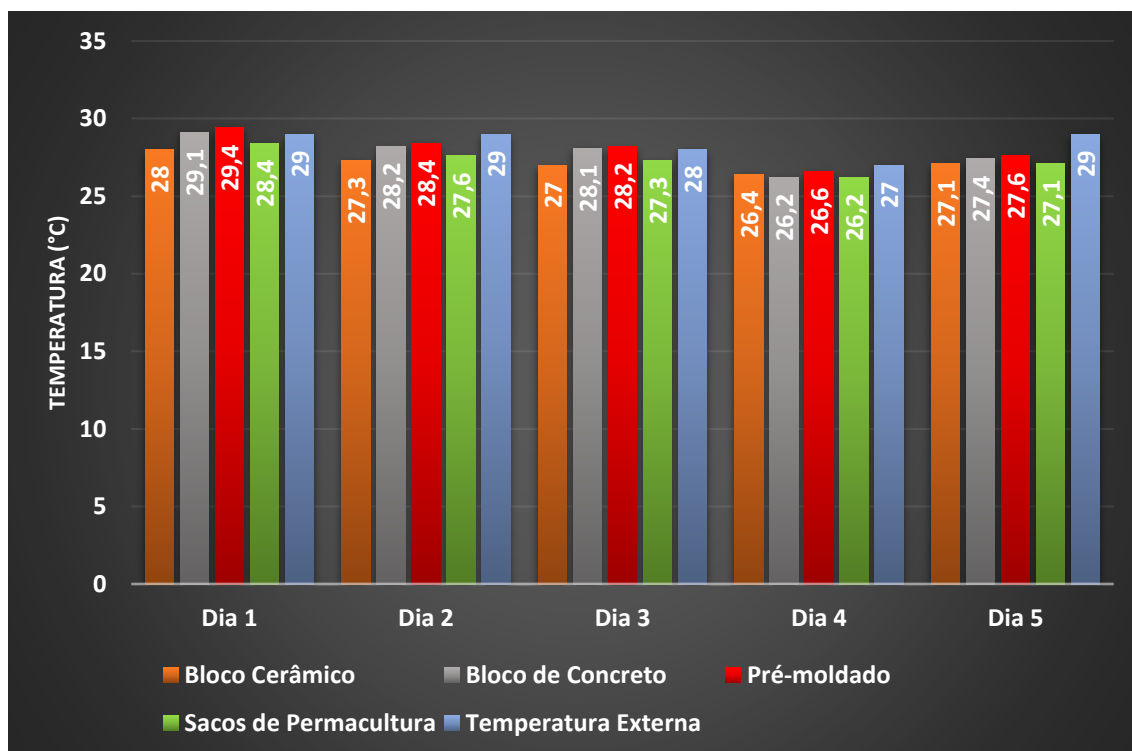
Fonte: Autor (2023)

Conforme evidenciado no Gráfico 2, as temperaturas mais elevadas do dia foram registradas ao meio-dia, sendo a temperatura externa do primeiro dia a mais alta entre todas.

Nos dias 2 e 3, o protótipo pré-moldado registrou temperaturas internas superiores às temperaturas externas, o que resulta em considerável desconforto, especialmente considerando que a região já apresenta temperaturas naturalmente elevadas devido ao clima tropical.

Durante os dias nublados desse período, todos os protótipos registraram as temperaturas mais baixas, com o modelo utilizando sacos de permacultura apresentando as mínimas.

Gráfico 3 – Temperaturas registradas dos protótipos no período entre 18h e 18h20min



Fonte: Autor (2023)

Durante o período das 18:00, foi observado que os protótipos de concreto (bloco e pré-moldado) exibiram temperaturas superiores às externas nos dias 1 e 3. Esta disparidade térmica que ocorreu também nos dias 2 e 3 no turno das 12:00, resultou em um ambiente interno com uma sensação térmica desagradável, agravada pelo clima naturalmente quente da região ao longo do dia. Essa discrepância entre as temperaturas internas dos protótipos em relação à temperatura externa pode ser atribuída à artefatos produzidos com cimento, que são maiores condutores de calor do que cerâmica ou solo (NBR ISO 10456, ABNT 2022).

No período chuvoso (dia 4), o modelo com sacos de permacultura registrou temperaturas mais baixas em comparação com o modelo de blocos cerâmicos, alcançando valores iguais no dia seguinte, que estava nublado. Além disso, nesse mesmo dia, esse protótipo não apresentou variação de temperatura.

Por fim, foi elaborada uma tabela contendo a média das temperaturas obtidas, conforme pode ser observado a seguir:

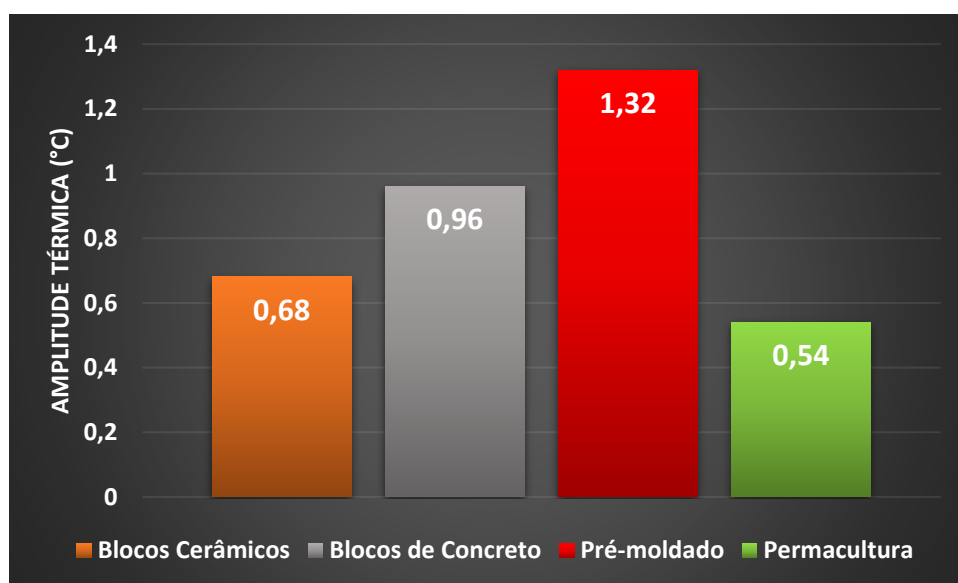
Tabela 2 – Média das temperaturas dos protótipos (°C)

	Cerâmica	Concreto	Pré-moldado	Permacultura	Externa
09h	27,24	27,64	28	27,28	29,3
12h	27,84	28,6	29,32	27,82	30,4
18h	27,16	27,8	28,04	27,32	28,4

Fonte: Autor (2023)

A tabela 2 confirma a ordem padrão de temperatura dos protótipos que ocorreu durante os 5 dias, sendo elas em ordem crescente: blocos cerâmicos, sacos de permacultura, blocos de concreto e pré-moldado de concreto. O modelo de permacultura apresentou uma menor média das temperaturas durante o meio-dia (27,82°C) comparado ao de blocos cerâmicos (27,84°C). Isso foi possível levando em consideração os períodos de chuva, pois a cerâmica possui a menor retenção de água em relação aos outros protótipos.

Calculando a diferença entre a maior e a menor temperatura, obtém-se a amplitude térmica. A seguir, encontra-se o gráfico construído com essas informações.

Gráfico 4 – Amplitudes térmica média de cada protótipo

Fonte: Autor (2023)

Analisando o gráfico, vale ressaltar que o protótipo que utilizou permacultura demonstrou menor amplitude térmica média ao longo dos dias, ou seja, o resultado da maior temperatura média subtraída da menor temperatura média. Por outro lado, o protótipo de pré-moldado obteve maior amplitude térmica. Assim, a utilização dos sacos de permacultura vem a ser muito útil em locais que apresentarem grandes variações de temperatura.

5.2 Cálculo da ABNT NBR 15220-2 (2022)

A seguir, o resultado dos cálculos feitos para obtenção da resistência térmica total e transmitância térmica total com base no processo simplificado da ABNT NBR 15220-2 (2022):

Tabela 3 – Resultados do desempenho térmico dos protótipos

	Cerâmica	Concreto	Pré-moldado	Permacultura
$R_{tot} ((m^2.K)/W)$	0,476	0,37	0,22	0,458462
$U (W/(m^2.K))$	2,10084	2,702703	4,545455	2,181208

Fonte: Autor (2023)

Como explicado no capítulo 2 - Revisão Bibliográfica, a Resistência Térmica (tabela 2) representa a dificuldade na transmissão de calor, sendo que uma resistência térmica mais elevada indica uma menor taxa de transferência de calor através da parede. Isso é comprovado pelos dados coletados, já que o protótipo de blocos cerâmicos com valor de resistência térmica igual a 0,476 ($m^2.K/W$) possuiu as menores temperaturas, ou seja, a quantidade de calor atravessada pela parede constituída de bloco cerâmico foi a menor, enquanto que o resultado do protótipo pré-moldado apresentou resistência térmica igual a 0,22 ($m^2.K/W$), obtendo assim a maior quantidade de calor atravessando essa vedação, resultando em temperaturas internas mais elevadas. Enquanto os demais modelos analisados neste trabalho, a vedação em permacultura obteve resistência térmica similar ao protótipo de bloco cerâmico enquanto que a de bloco de concreto, apresentou valores de resistência intermediário, possivelmente devido aos blocos de concreto, apesar de ser um artefato de cimento, serem elementos vazados. Isso pode ser explicado devido ao ar ter uma resistência térmica própria igual a 0,17 ($m^2.K/W$), e os blocos de concreto possuem vazios constituídos de ar, enquanto a vedação em pré-moldado de concreto não possui esses espaços vazados, resultando no valor muito baixo já citado de resistência térmica.

Já em relação à transmitância térmica também expostas na tabela 2, a transmitância térmica mais baixa indica uma, os menores valores foram encontrados nos protótipos de bloco cerâmico e permacultura, com valores respectivos 2,10084 $W/m^2.K$ e 2,181208 $W/m^2.K$, ou seja, esses protótipos apresentaram uma menor capacidade da parede em permitir a passagem de calor, em relação aos protótipos de bloco de concreto e pré-moldado de concreto que resultaram em 2,702703 e 4,545455 $W/m^2.K$, respectivamente. Cabe salientar que de acordo com NBR 15575-4 (ABNT, 2021), para a zona bioclimática 8 (Aracaju se enquadra nessa zona bioclimática) a transmitância térmica não deve exceder 2,5 $W/(m^2.K)$. Comparando com os dados da tabela 2, nota-se que o protótipo de pré-moldado de concreto excedeu e quase dobrou o limite estabelecido em norma, enquanto que o protótipo de blocos de concreto ultrapassou em 0,2 $W/(m^2.K)$ desse limite. Pode-se inferir então, que para uso na cidade de Aracaju, as vedações em bloco de concreto e pré-moldado de concreto são inadequadas por não proporcionarem bom isolamento térmico.

6 CONCLUSÕES

Ao seguir os procedimentos delineados na metodologia e conduzir as análises durante a obtenção dos dados nos ensaios, foi possível atingir o objetivo geral proposto no início deste trabalho, que consistiu em avaliar o desempenho térmico de 4 respectivos protótipos de sistemas de vedações verticais (Bloco cerâmico, bloco de concreto, pré-moldado de concreto e sacos de permacultura).

Com exceção dos *earthbags*, os materiais utilizados nos protótipos são convencionais na construção civil brasileira. O sistema de vedação com blocos cerâmicos destacou-se como o mais eficiente termicamente na zona bioclimática 8, proporcionando temperaturas internas mais agradáveis devido às condições climáticas elevadas ao longo do dia na região. Contrariamente, o modelo com pré-moldado de concreto apresentou as temperaturas mais elevadas, algumas vezes superando as condições externas, resultando em desconforto térmico em determinados horários.

É importante destacar que apenas os protótipos construídos com blocos cerâmicos e utilizando sacos de permacultura atenderam aos requisitos de transmitância térmica estabelecidos pela norma NBR 15575-4 (ABNT, 2021) para a zona bioclimática 8. Em contrapartida, ambos os modelos de concreto excederam esse limite estabelecido.

A indústria da construção civil no Brasil tem demonstrado uma preferência significativa pela adoção de sistemas pré-moldados, impulsionada pela velocidade construtiva, praticidade, retorno rápido de capital e redução de desperdícios (OLIVEIRA, 2019). Contudo, é crucial ter em mente não apenas as considerações econômicas, mas também atender às exigências normativas e garantir a qualidade de vida daqueles que irão habitar essas edificações. O equilíbrio entre eficiência construtiva e conformidade com padrões regulatórios e requisitos de bem-estar dos ocupantes é essencial para um desenvolvimento sustentável e satisfatório no setor.

Os sacos de permacultura evidenciaram ser isolantes térmicos de desempenho notável, aproximando-se em eficácia aos blocos cerâmicos, e destacando-se por exibir a menor amplitude térmica mínima em comparação com os demais protótipos. Adicionalmente, em regiões tropicais caracterizadas por elevadas temperaturas e umidade, os sacos de permacultura registraram temperaturas mais estáveis e agradáveis para habitação. Assim, este método construtivo surge como uma perspectiva promissora para futuras explorações, considerando seus benefícios termo ambientais e potencial adaptabilidade em contextos tropicais.

A demanda por conforto térmico tem crescido continuamente, uma vez que considerações ambientais e custos relacionados à energia elétrica desempenham papéis significativos não apenas na fase de construção, mas também na manutenção das edificações. É essencial ponderar sobre as abordagens mais eficientes para isolar os ambientes, bem como sobre a escolha dos melhores materiais na construção, considerando diversos fatores, como custo, durabilidade, aspectos estéticos, conforto térmico e sustentabilidade.

7 REFERÊNCIAS

AKUTSU, Maria. Desempenho térmico de paredes em blocos cerâmicos. **Anicer**, 2021. Disponível em: <https://revista.anicer.com.br/desempenho-termico-de-paredes-em-blocos-ceramicos/>. Acesso em: 24 set. 2023.

ÁLVARES, Simone Mesquita. **Desempenho térmico de habitações em paredes de concreto: estudo de caso em São Carlos-SP e diretrizes de projeto para a Zona Bioclimática 4**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-26072018-160121/publico/DissCorrigidaSimoneMesquitaAlvares.pdf>. Acesso em: 03 de outubro de 2023.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 15220-1. **Desempenho Térmico de Edificações. Parte 1: Definições, Símbolos e Unidades**. Brasil, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 15220-2. **Desempenho Térmico de Edificações. Parte 2: Componentes e Elementos Construtivos das Edificações – Resistência e Transmitância Térmica – Métodos de Cálculo (ISO 6946:2017 MOD)**. Brasil, 2022.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 15220-3. **Desempenho Térmico de Edificações. Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social**. Brasil, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 15575-4. **Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas – SVVIE**. Brasil, 2021.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 6136. **Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria – Requisitos**. Brasil, 2016.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 9062. **Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado**. Brasil, 2017.

Bloco cerâmico 9 x 19 x 24. **Dishelp**, 2023. Disponível em: <https://www.dishelp.com.br/product/bloco-ceramico-9-x-19-x-24.html>. Acesso em: 24 de setembro de 2023.

FIEGENBAUM, A. **Análise comparativa de isolamento térmico entre painéis pré-moldados, alvenaria de vedação de blocos de concreto e blocos cerâmicos para fins de conforto térmico**. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade do Vale do Taquari. Lajeado, p. 90. 2018.

FROTA, Anesia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual do Conforto Térmico**. 8. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2016. 20 p. ISBN 85-85445-39-4.

GIRALT, Rômulo Plentz. **Desempenho térmico e eficiência energética como estratégias de preservação do patrimônio arquitetônico**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2022. Disponível em:

<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/256297/001164939.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 de dezembro de 2023.

GRAF, Helena Fernanda. **Transmitância térmica & energia incorporada na arquitetura: sua relação nas superfícies do invólucro de uma edificação residencial unifamiliar conforme a NBR 12721**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: [https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=](https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=7ae19d4f03c24b455bb9c43885061b576a43d13d)

[7ae19d4f03c24b455bb9c43885061b576a43d13d](https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=7ae19d4f03c24b455bb9c43885061b576a43d13d). Acesso em: 26 de setembro de 2023.

LAMBERTS, Roberto et al. **Conforto e Stress Térmico**. UFSC, 2011. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200_apostila%202011.pdf_2.pdf. Acesso em: 17 ago. 2023.

LEGGERINI, Maria Regina Costa. **Materiais Cerâmicos na Construção Civil: Blocos Cerâmicos**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: https://www.politecnica.pucrs.br/professores/mregina/ARQUITETURA_-_Materiais_Tecnicas_e_Estruturas_I/estruturas_i_capitulo_III_paredes.pdf. Acesso em: 24 de setembro de 2023.

MAIA, Ernani. **O conforto acústico na arquitetura**. MAIA arquitetura, 2021. Disponível em: <https://maiaarquitetura.com.br/o-conforto-acustico-na-arquitetura/>. Acesso em: 29 set. 2023.

MÄHLMANN, Fabiana G.; SCOPEL, Vanessa G.; MARIANO, Gabriela F.; et al. **Conforto ambiental**. Sagah: Grupo A, 2018. E-book. ISBN 9788595027183. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595027183/>. Acesso em: 29 set. 2023.

SANTOS, Lucas. NÚCLEO DE ESTUDOS EM PERMACULTURA DA UFSC. **O que é permacultura?**. Disponível em: <https://permacultura.ufsc.br/o-que-e-permacultura/>. Acesso em: 02 de outubro de 2023.

OLIVEIRA, Felipe. Amplitude Térmica. **Educa+Brasil**, 2019. Disponível em: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/geografia/amplitude-termica>. Acesso em: 22 de dezembro de 2023.

OLIVEIRA, Flávio. Blocos de concreto: entenda como podem auxiliar em sua obra e suas principais vantagens. **Superbid**, 2019. Disponível em: <https://blog.superbid.net/blocos-de-concreto-entenda-o-seu-uso-e-como-podem-auxiliar-a-sua-obra/#:~:text=Popularmente%20conhecido%20como%20blocos%20de,obra%20pode%20se%20ancorar%20nele.&text=Os%20blocos%20de%20concreto%20geralmente%20t%C3%AAm%20dois,na%20vertical%20de%20sua%20estrutura>. Acesso em: 03 de outubro de 2023.

PARIZOTTO, Liana. **Concreto armado**. Porto Alegre: Grupo A, 2017. E-book. ISBN 9788595020917. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595020917/>. Acesso em: 03 de outubro de 2023.

PEREIRA, Caio. **Alvenaria de Vedação – Vantagens e Desvantagens**. Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/alvenaria-de-vedacao/>. Acesso em: 24 de setembro de 2023.

PINHEIRO, Antônio Carlos da Fonseca B.; CRIVELARO, Marcos. **Conforto Ambiental - Iluminação, Cores, Ergonomia, Paisagismo e Critérios para Projetos**. São Paulo: Editora Saraiva, 2014. E-book. ISBN 9788536518596. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518596/>. Acesso em: 29 set. 2023.

PINHEIRO, Jairo. Conforto Térmico. **WebArtigos**, 2008. Disponível em: <https://www.webartigos.com/artigos/conforto-termico/10020>. Acesso em: 20 de dezembro de 2023.

RAMIREZ, Rachel. Apenas 13 países tiveram qualidade do ar “saudável” em 2022, segundo relatório. **CNNBrasil**, 2023. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/apenas-13-paises-tiveram-qualidade-do-ar-saudavel-em-2022-segundo-relatorio/>. Acesso em: 02 out. 2023.

SOARES, Lucas. Super El Niño. **Olhar Digital**, 2023. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2023/11/23/ciencia-e-espaco/super-el-nino-fenomeno-pode-causar-estragos-em-dezembro-confira/>. Acesso em: 22 de dezembro de 2023.

TOZZO, Stefanie. Entenda como funciona a amplitude térmica. **Tempo Agora**, 2023. Disponível em: <https://tempoagora.uol.com.br/noticia/2023/10/25/entenda-como-funciona-a-amplitude-termica-2677>. Acesso em: 22 de dezembro de 2023.

TUMELERO, Naína. **Tudo o que você precisa saber sobre NBR – Normas técnicas ABNT**. mettzer, 2020. Disponível em: <https://blog.mettzer.com/nbr-abnt/#:~:text=O%20que%20significa%20NBR%3F,a%20empresas%20ou%20determinadas%20situa%C3%A7%C3%B5es>. Acesso em: 25 de outubro de 2023.

APÊNDICE A – CÁLCULOS DA NBR 15220-2/2022 BLOCO CERÂMICO

ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS

Protótipo de 80 x 80 cm
Espessura do bloco: 14 cm

$$\alpha := 0,65$$

$$R_{si} := 0,13 \frac{(m^2 \cdot K)}{\bar{W}}$$

$$R_{se} := 0,04 \frac{(m^2 \cdot K)}{\bar{W}}$$

$$R_{ar} := 0,17 \frac{(m^2 \cdot K)}{\bar{W}}$$

$$\lambda_{cerâmica} := 1 \frac{\bar{W}}{(m \cdot K)}$$

$$R_{tot} := \frac{(0,14 + 0,555 + 0,14 + 0,555 + 0,14)}{5} + R_{si} + R_{se} = 0,476 \frac{(m^2 \cdot K)}{\bar{W}}$$

$$U := \frac{1}{R_{tot}} = 2,1008 \frac{\bar{W}}{(m^2 \cdot K)}$$

APÊNDICE B – CÁLCULOS DA NBR 15220-2/2022 BLOCO DE CONCRETO

ALVENARIA DE BLOCOS DE CONCRETO

Protótipo de 80 x 80 cm

Espessura do bloco: 14 cm

$$\alpha := 0,65$$

$$R_{si} := 0,13 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

$$R_{se} := 0,04 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

$$R_{ar} := 0,17 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

$$\lambda_{concreto} := 2 \frac{W}{(m \cdot K)}$$

$$d_1 := 0,03 \text{ m}$$

$$R_1 := \frac{d_1}{\lambda_{concreto}} = 0,015 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

$$R_{tot} := R_1 + R_{ar} + R_1 + R_{si} + R_{se} = 0,37 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

$$U := \frac{1}{R_{tot}} = 2,7027 \frac{W}{(m^2 \cdot K)}$$

APÊNDICE C – CÁLCULOS DA NBR 15220-2/2022 PRÉ-MOLDADO DE CONCRETO

PRÉ-MOLDADO DE CONCRETO

Protótipo de 80 x 80 cm

Espessura da placa: 10 cm

$$\alpha := 0,65$$

$$R_{si} := 0,13 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

$$R_{se} := 0,04 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

$$R_{ar} := 0,17 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

$$\lambda_{concreto} := 2 \frac{W}{(m \cdot K)}$$

$$d := 0,1 m$$

$$R_1 := \frac{d}{\lambda_{concreto}} = 0,05 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

$$R_{tot} := R_1 + R_{si} + R_{se} = 0,22 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

$$U := \frac{1}{R_{tot}} = 4,5455 \frac{W}{(m^2 \cdot K)}$$

APÊNDICE D – CÁLCULOS DA NBR 15220-2/2022 SACO DE PERMACULTURA

SACOS DE PERMACULTURA

Protótipo de 80 x 80 cm

Espessura da alvenaria: 14 cm

$$\alpha := 0,65$$

$$R_{si} := 0,13 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

$$R_{se} := 0,04 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

$$R_{ar} := 0,17 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

$$\lambda_{solo} := 0,52 \frac{W}{(m \cdot K)}$$

$$d := 0,15 \text{ m}$$

$$R_1 := \frac{d}{\lambda_{solo}} = 0,2885 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

$$R_{tot} := R_1 + R_{si} + R_{se} = 0,4585 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

$$U := \frac{1}{R_{tot}} = 2,1812 \frac{W}{(m^2 \cdot K)}$$