

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**MARIA EDUARDA ZANOTTI PIEREZAN**

**AVALIAÇÃO TÉRMICA DE PROTÓTIPOS DE MADEIRA COM REVESTIMENTO  
INTERNO DE EMBALAGENS TETRAPAK**

**Alegrete  
2024**

**MARIA EDUARDA ZANOTTI PIEREZAN**

**AVALIAÇÃO TÉRMICA DE PROTÓTIPOS DE MADEIRA COM REVESTIMENTO  
INTERNO DE EMBALAGENS TETRAPAK**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil  
da Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título  
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Simone Dornelles Venquiaruto  
Coorientador: Celso Nobre da Fonseca

**Alegrete  
2024**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

P618a Pierezan, Maria Eduarda Zanotti  
Avaliação térmica de protótipos de madeira com revestimento  
interno de embalagens TetraPak / Maria Eduarda Zanotti  
Pierezan.

46 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade  
Federal do Pampa, ENGENHARIA CIVIL, 2024.

"Orientação: Simone Dornelles Venquiaruto".

1. Tetra Pak. 2. Casas de madeira com frestas. 3.  
Revestimento térmico. I. Título.

MARIA EDUARDA ZANOTTI PIEREZAN

**AVALIAÇÃO TÉRMICA DE PROTÓTIPOS DE MADEIRA COM REVESTIMENTO INTERNO DE EMBALAGENS TETRAPAK**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharela em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 02 de julho de 2024.

Banca examinadora:

Profa. Dra. SIMONE DORNELLES VENQUIARUTO - UNIPAMPA - Orientadora

Prof. Me. CELSO NOBRE DA FONSECA - UNIPAMPA - Coorientador

Eng. Me. MARCELO DE JESUS DIAS DE OLIVEIRA - UNIPAMPA

Prof. Dr. LUIS ERNESTO ROCA BRUNO - UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **SIMONE DORNELLES VENQUIARUTO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/07/2024, às 13:38, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MARCELO DE JESUS DIAS DE OLIVEIRA, ENGENHEIRO-AREA**, em 18/07/2024, às 10:57, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **LUIS ERNESTO ROCA BRUNO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/07/2024, às 11:00, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CELSO NOBRE DA FONSECA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/07/2024, às 11:28, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador 1491777 e o código CRC 5D2D0074.

## **AGRADECIMENTO**

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Sou grata pela confiança depositada em mim durante todo o período da graduação pela professora Dr. Simone, e pelo pessoal do Núcleo de Assistência Estudantil Andreia, Marcele, Mariela, Ketheni.

Agradeço aos meus familiares pelo apoio, compreensão e todo esforço investido na minha educação. Aos meus irmãos que mesmo longe me apoiaram, sem vocês esta conquista não seria possível.

Sou grata pela confiança depositada na minha proposta de projeto pela orientadora e pelo coorientador, Dra. Simone e Me. Celso. Obrigada pela orientação constante, apoio e incentivo durante todo o processo de elaboração deste trabalho.

A colega de graduação Eduarda, por auxiliar na coleta dos dados, sem você este trabalho não teria sido possível.

Aos meus amigos e colegas da graduação, Daiane, Felipe, Ellen e Afonso, que estiveram ao meu lado durante a jornada acadêmica, compartilhando dos inúmeros desafios, que me apoiaram e me ajudaram nessa caminhada.

Por fim, dedico este trabalho a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para minha jornada acadêmica e pessoal, em especial a Salete, Angela, Ione e família, Franciane e família, Miguel, Marta, Pedro e família.

Que este trabalho possa contribuir de forma significativa para o avanço do conhecimento na área e para a construção de um futuro melhor.

## RESUMO

Este estudo investiga a aplicação de embalagens longa vida (Tetra Pak) como isolante térmico, um método ainda pouco explorado na construção civil. A pesquisa foi motivada pelo projeto de extensão “Módulo I: Utilização de Embalagens Tetra Pak como Isolante Térmico de Habitações Populares de Madeira” da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) que demonstrou melhorias significativas no conforto térmico das residências beneficiadas. Foram construídos três protótipos de madeira: um sem revestimento, outro com revestimento Tetra Pak com a parte aluminizada voltada para o interior, e um terceiro com a parte aluminizada voltada para as paredes. Sensores do tipo PT100 e um sistema Arduino foram utilizados para coletar os dados de temperatura ao longo do dia. O objetivo foi avaliar a variação térmica dos protótipos com e sem revestimento e comparar a eficácia das diferentes faces dos painéis. Os resultados indicam que, apesar das imprecisões na conversão dos dados de temperatura, o protótipo com a face aluminizada voltada para as paredes apresentou melhor desempenho térmico, mantendo as temperaturas mais amenas em dias quentes e mais quentes em dias frios. Este revestimento mostrou-se eficaz em refletir a radiação térmica externa e reter o calor interno, evidenciando-se como uma solução recomendada para melhorar o conforto térmico em habitações de madeira.

Palavras Chave: Tetra Pak, casas de madeiras com frestas, revestimento térmico.

## **ABSTRACT**

This study investigates the application of long-life packaging (Tetra Pak) as a thermal insulator, a method that is still little explored in civil construction. The research was motivated by the extension project "Module I: Use of Tetra Pak Packaging as a Thermal Insulator for Wooden Affordable Housing" at the Federal University of Pampa (UNIPAMPA), which demonstrated significant improvements in the thermal comfort of the benefited homes. Three wooden prototypes were built: one without a coating, another with a Tetra Pak coating with the aluminized part facing inwards, and a third with the aluminized part facing the walls. PT100 sensors and an Arduino system were used to collect temperature data throughout the day. The aim was to evaluate the thermal variation of the prototypes with and without coating and to compare the effectiveness of the different panel faces. The results indicate that, despite inaccuracies in the conversion of temperature data, the prototype with the aluminized side facing the walls showed better thermal performance, maintaining milder temperatures on hot days and warmer temperatures on cold days. This coating proved to be effective in reflecting external thermal radiation and retaining internal heat, making it a recommended solution for improving thermal comfort in wooden dwellings.

Keywords: Tetra Pak, wooden houses with gaps, thermal coating.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição de embalagens do tipo Tetra Pak.....	17
Figura 2 – Transferência de calor em uma parede.....	22
Figura 3 – Fluxograma do desenvolvimento do projeto de pesquisa.....	23
Figura 4 – Processo de execução dos protótipos: (a) Planta baixa, (b) Elevação e (c) Protótipo em construção, as cotas da figura têm como unidade de medida.....	24
Figura 5 – Protótipos prontos.....	24
Figura 6 – Passos para a abertura correta das caixas Tetra Pak, onde: (1) Corte das emendas superior e inferior e (2) Corte da emenda central e (3) Embalagem aberta.....	25
Figura 7 – Revestimento dos módulos de madeira: Protótipo revestido com o lado laminado para dentro do ambiente.....	26
Figura 8 – Revestimento dos módulos de madeira: Protótipo revestido com o lado não laminado para dentro do ambiente.....	26
Figura 9 – Sentido telha para melhor escoamento da água da chuva.....	27
Figura 10 – Componentes de medição: (a) Sensor de temperatura PT100, (b) Capacitores 10nf, e (c) Transistores PNP.....	27
Figura 11 – Recebimento dos dados através do Arduíno (UNO).....	28
Figura 12 – Sistema de testes em placa Protoboard.....	29
Figura 13 – Resultados obtidos dos testes realizados na Protoboard, retirados do próprio software Arduino.....	29
Figura 14 – Carregador de celular.....	30
Figura 15 – Sistema final de medição.....	31
Figura 16 – Representação esquemática da montagem do sistema de coleta de dados.....	31
Figura 17 – Localização da implementação dos protótipos, onde: (a) Mapa da cidade de Alegrete/RS com a localização da Universidade; (b) Vista aérea da universidade e (c) Local selecionado para o desenvolvimento da pesquisa.....	32
Figura 19 – Posicionamento dos protótipos.....	32



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Definição dos resíduos da construção civil.....	13
Quadro 2 - Destinação final dos resíduos.....	14
Quadro 3 - Compilação dos trabalhos científicos com Tetra Pak.....	20

## **LISTA DE SIGLAS**

ABRECON - Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

JP – Jauge de Paris

LPP – Linha de Polegadas Portuguesas

PGRS – Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

PMGIRS – Plano Municipal de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos

SIMAGRO – Sistema de Monitoramento e Alertas Agroclimáticos

SINIR – Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1 Objetivo Geral.....	13
1.2 Objetivo Específico.....	13
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
2.1 Resíduos Sólidos na Construção Civil.....	14
2.2 Embalagens do Tipo Tetra Pak.....	17
2.3 Aplicação de Embalagens do Tipo Tetra Pak na Construção Civil.....	18
2.4 Conforto Térmico e Desempenho de Edificações.....	21
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>24</b>
3.1 Seleção dos Materiais.....	24
3.2 Construção dos Protótipos.....	25
3.3 Confeção e Instalação dos painéis nos Protótipos.....	26
3.4 Montagem do Sistema de Coleta de Dados.....	28
3.4.1 Componentes utilizados para a montagem do sistema de medição.....	28
3.4.2 Montagem e testes do sistema.....	29
3.4.3 Dificuldades encontradas na montagem do sistema.....	31
3.4.4 Sistema final de medição.....	31
3.5 Local de Instalação dos Protótipos.....	32
<b>4 SISTEMA DE COLETA.....</b>	<b>34</b>
<b>5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>35</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>40</b>
<b>7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As embalagens longa vida geradas pós consumo ainda são pouco exploradas na área da construção civil, no quesito reciclagem direta. A destinação inadequada desse resíduo gera um passivo ambiental para o planeta o que tem demandado novas alternativas de reuso e reciclagem baseando-se na sustentabilidade.

Algumas pesquisas têm demonstrado a eficácia deste material em contextos distintos. O estudo proposto por Antunes *et al.* (2019) analisou a eficácia de forros ou telhas em residências carentes na cidade de Xique-Xique na Bahia, Silva (2021) realizou um estudo de caso na cidade de Guarapuava-PR, Gihad (2019) avaliou a temperatura e umidade em habitações revestidas internamente, entre outros. Além do uso residencial, alguns estudos analisam a eficácia do material no conforto térmico animal, como o caso do uso de escamoteadores para suínos (SARTOR, *et al.* 2015).

Esta pesquisa foi motivada pelo desenvolvimento do projeto de extensão “Módulo I: Utilização de Embalagens Tetra Pak como Isolante Térmico de Habitações Populares de Madeira”, realizado pela Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA Alegrete. Pierezan (2020) ressalta que, neste projeto, os pesquisadores realizaram a aplicação de painéis térmicos em residências de madeira com frestas previamente selecionadas no município de Alegrete/RS, buscando melhorar o conforto térmico das residências beneficiadas. Os painéis térmicos eram confeccionados a partir da reutilização de embalagens longa vida pós consumo, e aplicados nas residências com grampeadores de madeira. O retorno do projeto mostrou que cem por cento das famílias beneficiadas apontaram uma grande melhoria no conforto térmico dos ambientes, tanto no inverno, quanto no verão. Também foi observado que a aplicação dos painéis térmicos reduziu de forma importante o vento no interior das residências, contribuindo para minimização de doenças sazonais, ocasionadas em geral por mudanças de estações climáticas.

Em função do retorno positivo do projeto de extensão por parte do público alvo e tendo em vista que a região de Alegrete/RS tem grande amplitude térmica tanto no verão, quanto no inverno, a necessidade de avaliar tecnicamente os benefícios dos painéis de embalagens de Tetra Pak justifica o desenvolvimento desta pesquisa. Serão produzidos três protótipos de madeira. Um dos protótipos

permanecerá sem revestimento interno, um segundo protótipo receberá revestimento interno com painel tetra Pak com a parte aluminizada voltada para o ambiente interno, e o terceiro protótipo será revestido com a face aluminizada voltada para as paredes. Os protótipos receberão sensores e um sistema com arduino que realizará a coleta de dados (temperatura interna) durante o decorrer dos dias, permitindo uma melhor avaliação dos benefícios destes painéis.

### **1.1 Objetivo Geral**

Avaliar a variação térmica de protótipos de madeira com e sem revestimento de painéis Tetra Pak.

### **1.2 Objetivo Específico**

- Comparar a variação térmica de protótipos com revestimento de Tetra Pak em relação ao protótipo sem Tetra Pak;
- Avaliar a posição de aplicação das faces dos painéis nos protótipos, frente a variação térmica no interior dos protótipos;
- Comparar a variação térmica do ambiente com a variação térmica do interior do protótipo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada uma revisão da literatura que servirá de embasamento teórico para o desenvolvimento desta pesquisa. O capítulo está organizado em três tópicos distintos. No item 2.1 será abordado a questão dos resíduos sólidos na construção civil no Brasil. No item 2.2 o tema sobre a embalagem do tipo Tetra Pak será explorado, dando ênfase à sua origem, processo de produção e finalidade de uso e pós uso. No item 2.3 será dissertado sobre as aplicações deste tipo de embalagem na construção civil. E por fim no item 2.4 será abordado o tema de conforto térmico e desempenho de edificações.

### 2.1 Resíduos Sólidos na Construção Civil

De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, através da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2022, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, tem-se como definição de resíduos da construção civil:

... provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras...

Nesta mesma resolução são apresentadas as classificações dos resíduos da construção civil, conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Definição dos resíduos da construção civil

Classe	Definição
A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados
B	Resíduos recicláveis para outras destinações, como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, outros
C	Resíduos que não apresentam tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem ou sua recuperação, gesso
D	Resíduos perigosos, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros

Fonte: Adaptado de CONAMA (2022).

Buscando estabelecer procedimentos necessários para o manejo e destinação adequada para estes resíduos, busca-se elaborar e implantar o Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil aos grandes geradores, o qual deve contemplar a caracterização, triagem, acondicionamento, transporte e destinação destes resíduos. E a destinação final dos resíduos também varia de acordo com a sua classe, conforme Quadro 2.

Quadro 2 - Destinação final dos resíduos.

<b>Classe</b>	<b>Destinação</b>
A	Reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhado a aterros de resíduos classe A de reservação para usos futuros
B	Reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura
C	Armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas
D	Armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas

Fonte: Adaptado de CONAMA (2022).

A cidade de Alegrete-RS desde o ano de 2014 conta com o “Plano Municipal de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos - PMGIRS”, com objetivo diagnosticar a geração, quantificação e destino dos resíduos sólidos no município, de modo a estabelecer um planejamento para redução, reutilização, reciclagem, tratamento e destinação final dos resíduos (Secretaria do Meio Ambiente, 2021).

De acordo com Secretaria do Meio Ambiente (2021) os responsáveis pelo Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos - PGRS devem disponibilizar anualmente as informações sobre a implementação e operacionalização de maneira completa e atualizada do plano, seguindo as regras estabelecidas pelo Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos - SINIR, de maneira eletrônica ao órgão municipal competente, ao órgão licenciador ambiental e demais autoridades competentes.

Todos os empreendimentos e atividades que produzem uma quantidade de resíduo classificado como “não domiciliar”, seja pela sua característica, classificação ou quantidade, devem elaborar o PGRS de maneira simplificada (Secretaria do Meio Ambiente, 2021). Onde deve apresentar a indicação da forma de segregação e

acondiçãoamento desses resíduos, através de relatório fotográfico e detalhando como é realizada a destinação final dentro do empreendimento, incluindo informações de dias e horários de descarte, seja na coleta pública municipal, por empresa coletora, por doação ou venda para associações, cooperativas ou catadores autônomos (Secretaria do Meio Ambiente, 2021).

A coleta dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Alegrete-RS atende 100% da área urbana. A destinação final dos resíduos é realizada por uma empresa contratada a um aterro regularmente licenciado, tendo em vista que o aterro do município se encontra com sua capacidade esgotada (Secretaria do Meio Ambiente, 2021).

No ano de 2019 foi implementada a Coleta Seletiva, porém não atende a todos os bairros e nestes há coleta de catadores associados e autônomos. Cada resíduo é processado de uma maneira e na medida em que os resíduos sólidos são descartados misturados o processo se torna mais custoso e por vezes inviável, pela dificuldade de separação por conta da sua composição (Secretaria do Meio Ambiente, 2021).

Segundo a Secretaria do Meio Ambiente (2021), a gestão e o manejo dos Resíduos da Construção Civil e Volumosos é vista como um dos maiores desafios da limpeza do município, por se tratar de gerações de grande volume e por apresentarem características peculiares, diferentes dos outros resíduos.

Devido ao grande número de atividade informais de construção há dificuldade em pressupor qual a destinação dos resíduos, podendo haver descartes clandestinos no município, já para os resíduos gerados por empreendimentos, normalmente, são realizadas as coletas por empresas particulares (Secretaria do Meio Ambiente, 2021).

De acordo com Secretaria do Meio Ambiente (2021), no município de Alegrete há uma empresa privada licenciada que realiza a triagem dos resíduos da construção civil, porém o município não possui local próprio regularizado para a gestão dos mesmos.

Segundo a ABRECON - Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (2020), no ano de 2021 estima-se que existam 380 usinas de reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição. Das empresas catalogadas pela ABRECON, existem usinas privadas, públicas e públicas-privadas,



podendo ser móveis ou fixas. Na região sul as usinas podem processar até 30% da quantidade de resíduos gerados na região (ABRECON, 2020).

## **2.2 Embalagens do Tipo Tetra Pak**

A empresa Tetra Pak foi fundada no ano de 1951 na Suécia, por Ruben Rausing, inicialmente fabricavam embalagens cartonadas tetraédricas para envase de creme. Posteriormente foi introduzido o polietileno como revestimento plástico para os envases e foram variando os volumes das embalagens de acordo com as necessidades e alimentos (Tetra Pak, 2023a).

A empresa Tetra Pak ao longo dos anos buscou desenvolver tecnologias e soluções para permitir que os alimentos ficassem seguros e disponíveis em todos os lugares, de modo a proteger o alimento, as pessoas e o planeta (Tetra Pak, 2023b).

A Tetra Pak (2023c) foi pioneira na tecnologia asséptica, a qual permite que o produto alimentício seja embalado de modo que dure mais, sendo distribuído e armazenado sem a necessidade de refrigeração ou conservantes, esta tecnologia permite levar alimentos e bebidas seguros para consumo em partes remotas do mundo, onde o acesso a alimentos seguros não pode ser garantido. Os processos assépticos garantem que o alimento líquido mantenha a cor, a textura, o sabor original e o valor nutricional por até 12 meses (Tetra Pak, 2023d).

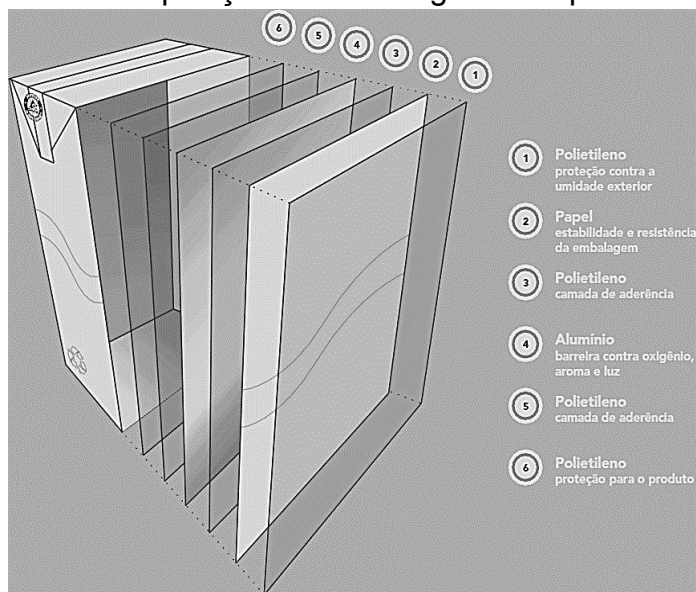
A Tetra Pak (2023e) veio para o Brasil no ano de 1957, mas sua primeira fábrica foi inaugurada em 1978, em uma cidade do interior de São Paulo, e a segunda em 1999, em Ponta Grossa/PR, ambas com certificações internacionais, tendo capacidade para desenvolver soluções completas e personalizadas para atender seus clientes de maneira rápida e eficiente.

De acordo com Tetra Pak (2023f) suas embalagens são compostas por três materiais, alumínio, papel cartão e polietileno, como apresentado na Figura 1, porém sua estrutura pode variar dentro do portfólio de embalagens.

As embalagens apresentam como ciclo de vida a retirada da matéria prima, sua fabricação e envase, seguidas para o consumo. Posteriormente após o descarte é realizada a coleta e reciclagem deste material, os quais transformam-se em novos produtos. O papel cartão pode dar origem a cadernos, caixas, sacolas, o plástico-alumínio pode ser transformado em canetas, paletes, bancos e até mesmo

telhas ecológicas, as quais são impermeáveis, absorvem menos calor e possuem isolamento acústico, o composto de polietileno e alumínio pode se transformar em quadros de bicicletas. A reciclagem reduz o impacto climático e acúmulo de resíduos (Tetra Pak, 2023g).

Figura 1 - Composição de embalagens do tipo Tetra Pak.



Fonte: Cunha (2021).

A empresa acredita que apesar da reciclagem ocorrer de forma importante, a mesma não irá suprir as crescentes demandas de geração de resíduos globais, os quais apresentam expectativas de aumento de 70%. Deste modo busca projetar-se embalagens cartonadas a base de papel com o propósito de reciclagem, aumentando o teor de fibras e redução dos plásticos e alumínios tornam-se mais atrativas para as recicladoras, tornando o processo mais fácil (Tetra Pak, 2023h).

### 2.3 Aplicação de Embalagens do Tipo Tetra Pak na Construção Civil

Nas últimas décadas, algumas indústrias e pesquisadores têm voltado as suas pesquisas para avaliar materiais alternativos com potencialidade para uso na construção civil. Entre esses materiais, destaca-se a embalagem do tipo Tetra Pak.

Já existem disponíveis no mercado brasileiro alguns produtos oriundos do reaproveitamento destas embalagens como telhas, modulares para instalação de paredes verdes, entre outros.

Uma das empresas que realiza a reciclagem das embalagens Tetra Pak é a PlastPrime, do Paraná, a qual apresenta em seu portfólio sistemas modulares de plásticos para paredes verdes e jardins verticais, também produz decks modulares de plástico, sendo uma alternativa de maior durabilidade e baixa manutenção quando comparado ao deck de madeira, blocos intertravados para calçadas, estacionamentos e áreas de lazer, sendo permeáveis e recicláveis, possibilitando o escoamento da água (Brasil, 2018).

A Ecopex (2023) é uma empresa que utiliza da reciclagem de embalagens Tetra Pak para confecção de produtos voltados para construção civil, de modo a garantir qualidade, durabilidade, baixa manutenção e sustentabilidade em seus produtos. Apresenta em seu portfólio telhas ecológicas, chapas ecológicas (tapumes, bandejas, divisórias, outdoor, forros, caixas de transporte), tapumes ecológicos para fechamento de obras.

No meio científico, pesquisadores têm voltado o seu interesse em estudar a embalagem Tetra Pak como revestimento, analisando a variação térmica que este produto pode promover na edificação. Sendo possível encontrar em sua maioria trabalhos que analisam a eficiência térmica das embalagens sendo utilizadas como forro ou subcobertura de habitações.

Silva *et al.* (2015) avaliaram o conforto térmico em seis modelos físicos com escala reduzida de aviários utilizando diferentes coberturas (telhas recicladas com Tetra Pak, telhas cerâmicas, telhas de fibrocimento, telhas de alumínio, telhas de fibrocimento com subcobertura de Tetra Pak, e telhas de fibrocimento com forro de Tetra Pak). Silva *et al.* (2015) concluíram que o reaproveitamento da embalagem como forro contribuiu para redução dos valores de temperatura e umidade e carga térmica de radiação, porém o reaproveitamento das embalagens como subcobertura não foi favorável, pois apresentou valores semelhantes ao da telha de fibrocimento.

Antunes *et al.* (2019) estudou a eficiência térmica de placas Tetra Pak como forro em residências carentes na cidade de Xique-Xique na Bahia. O autor observou em seu estudo uma redução térmica de aproximadamente 4°C com o uso das placas de Tetra Pak, concluiu que este tipo de forro pode ser uma alternativa eficaz e de baixo custo.

Cembranel *et al.* (2019) analisou a embalagem Tetra Pak em protótipos de madeira com forro PVC e telha de fibrocimento, de modo a simular uma edificação

residencial. Os autores analisaram três situações: na primeira o isolamento aplicado sobre o forro foi de embalagens Tetra Pak, na segunda foi utilizado outro isolante térmico comercial e na terceira situação não foi utilizado nenhum tipo de isolamento térmico, de modo a comparar as diferentes situações. Os resultados obtidos da pesquisa demonstraram que as embalagens Tetra Pak apresentam a mesma condição de isolamento térmico que o isolante comercial.

Silva (2021), realizou um estudo de caso na cidade de Guarapuava, no estado do Paraná, onde analisa a gestão de qualidade do projeto “Brasil Sem Frestas”, o qual realiza revestimento verticalmente com Tetra Pak. O qual através de simulações utilizando o software EnergyPlus pode-se comprovar que o material auxilia no isolamento térmico, entretanto com pouca significância.

Mohamad *et al.* (2019), analisa o desempenho térmico das embalagens Tetra Pak, no período do verão na cidade de Santa Maria/RS, através da análise de temperatura e umidade relativa do ar, através do isolamento térmico vertical de um protótipo que simula residências de madeira de baixo padrão, apresentando como conclusão a necessidade de reestruturação do projeto de revestimento, por apresentar desempenho inadequado para o período do verão, onde as temperaturas e a umidade relativa do ar foram superiores aos dados climáticos externos a residência.

Sartor *et al.* (2015), analisa o desempenho térmico da embalagem Tetra Pak como isolante térmico em escamoteadores aquecidos, realizando um experimento em laboratório, nas dependências da Universidade Federal de Santa Maria em Palmeira das Missões/RS, e outro em campo na sala de maternidade de suínos, no município de Campo Novo/RS . Pode-se concluir que o revestimento térmico apresenta efeito positivo como isolante térmico, pois aumenta a temperatura ambiente, melhorando as condições térmicas, proporcionando um ambiente confortável para as leitões lactantes.

O Quadro 3 apresenta um resumo dos trabalhos científicos consultados e das conclusões obtidas pelos respectivos pesquisadores Silva *et al.* (2015), Antunes *et al.* (2019), Cembranel *et al.* (2019), Sartor *et al.* (2015), Silva (2021) e Mohamad *et al.* (2019).

Quadro 3 - Compilação dos trabalhos científicos com Tetra Pak

Pesquisador/ ano	Aplicação do Tetra Pak	Região da pesquisa	Conclusão
Silva <i>et al.</i> (2015)	Como subcobertura e como forro para telha de fibrocimento	Francisco Beltrão, Paraná	O reaproveitamento como forro contribuiu para redução dos valores de temperatura e umidade e carga térmica de radiação. O reaproveitamento das embalagens como subcobertura não foi favorável, pois apresentou valores semelhantes ao da telha de fibrocimento.
Antunes <i>et al.</i> (2019)	Forro em residências	Xique-Xique, Bahia	Redução térmica de aproximadamente 4°C com o uso das placas de Tetra Pak. Este tipo de forro pode ser uma alternativa eficaz e de baixo custo.
Cembranel <i>et al.</i> (2019)	Subcobertura em forro PVC	Lavras, Minas Gerais	Os resultados obtidos da pesquisa demonstraram que as embalagens Tetra Pak apresentam a mesma condição de isolamento térmico que o isolante comercial.
Sartor <i>et al.</i> (2015)	Revestimento em escamoteadores	Palmeira das Missões e Campo Novo, Rio Grande do Sul	Revestimento térmico apresentou resultados positivos como isolante térmico, aumentando a temperatura do ambiente, melhorando as condições térmicas, proporcionando um ambiente confortável para as leitoas lactantes.
Silva (2021)	Revestimento vertical	Guarapuava, Paraná	O material auxiliou no isolamento térmico, porém com pouca significância.
Mohamad <i>et al.</i> (2019)	Revestimento vertical	Santa Maria, Rio Grande do Sul	Desempenho inadequado para o período do verão, com temperaturas e umidade relativa do ar superiores ao ambiente externo.

Fonte: Elaboração Própria (2023).

## 2.4 Conforto Térmico e Desempenho de Edificações

Segundo NBR 16401-2:2008, o conforto térmico é uma sensação subjetiva, devido às variações individuais, psicológicas e fisiológicas, de tal modo que não é possível determinar condições em que 100% dos indivíduos estejam confortáveis.

De acordo com Yik *et al.* (2020), a avaliação do conforto térmico em edifícios envolve a análise de diversas variáveis como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, radiação solar e atividade metabólica dos moradores. Diferentes modelos e metodologias foram desenvolvidos para medir e quantificar o conforto térmico em diferentes contextos climáticos e culturais.

Frota *et al.* (2001) e Lambert *et al.* (2016) relatam que as condições de conforto térmico dependem da atividade que o indivíduo realiza, de sua vestimenta e das variáveis do ambiente de modo a encontrar o equilíbrio térmico, estabilizar as

diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente.

As trocas térmicas advêm de duas condições: diferença de temperatura entre os corpos, conhecida como troca seca (condução, radiação, convecção), ou mudança de estado de agregação, a troca úmida (evaporação, condensação) (Frota *et al.*, 2001).

A radiação solar é uma energia que atinge a Terra após ser parcialmente absorvida pela atmosfera, a quantidade de radiação varia de acordo com a época do ano e da latitude (Frota *et al.*, 2001).

O sol incide sobre o edifício, resultando em ganho de calor dependendo da intensidade da radiação solar e das propriedades térmicas dos materiais da construção. Os componentes do edifício, quando expostos à luz solar direta ou difusa, que são ambas formas de radiação de alta temperatura, podem ser categorizados como: opacos, ou transparentes/translúcidos (Frota *et al.*, 2001).

Segundo a empresa Solida Engenharia e Construção, os cômodos de uma edificação possuem diferentes temperaturas ambiente em virtude de não receber sol e ventilação de forma igual, havendo a necessidade de trabalhar o conforto térmico para facilitar a adequação aos ambientes, pois a falta dele pode acarretar em problemas como perda de produtividade até problemas de saúde, sejam eles físicos ou mentais.

Ambientes confortáveis termicamente promovem bem-estar físico e psicológico, reduzindo o estresse e melhorando a qualidade do sono (Li *et al.*, 2021).

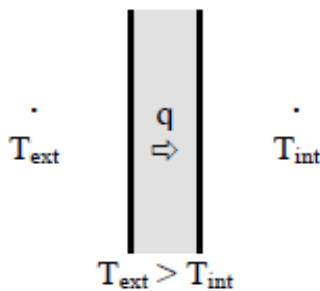
Segundo Jiang *et al.* (2020), é fundamental no estudo do desempenho térmico de edificações, a avaliação das estratégias de projeto para controlar a transferência de calor interna e externa, de modo a explorar a eficácia de diferentes técnicas, como isolamento térmico, seleção de materiais e design bioclimático, para melhoria do desempenho térmico das edificações.

De acordo com Frota *et al.* (2001), dois fenômenos importantes para o comportamento térmico do edifício estão associados à inércia térmica: amortecimento e atraso de onda de calor, resultantes do aquecimento ou resfriamento dos materiais, o que depende das características térmicas da envolvente e dos componentes construtivos, da densidade, da condutibilidade e da capacidade calorífica da parede. Quando a temperatura exterior se eleva, certo fluxo de calor penetra na parede, porém não atravessa imediatamente, aquecendo-a

internamente, atravessa com certo amortecimento e atraso.

Assim sendo, um corpo A cede parte de sua energia para um corpo B até que suas temperaturas se igualem, atinjam o equilíbrio térmico. De acordo com a Figura 2, pode-se perceber o fluxo de calor em função da diferença de temperatura, no caso de paredes (Lambert *et al.*, 2016).

Figura 2 - Transferência de calor em uma parede.



Fonte: Lambert *et al.* (2016).

De tal modo a inércia de uma parede varia de acordo com seu peso e espessura, no entanto os revestimentos aplicados também são significativos, pois revestimentos isolantes diminuem as trocas de calor com a parede, reduzindo sua inércia (Frota *et al.*, 2001).

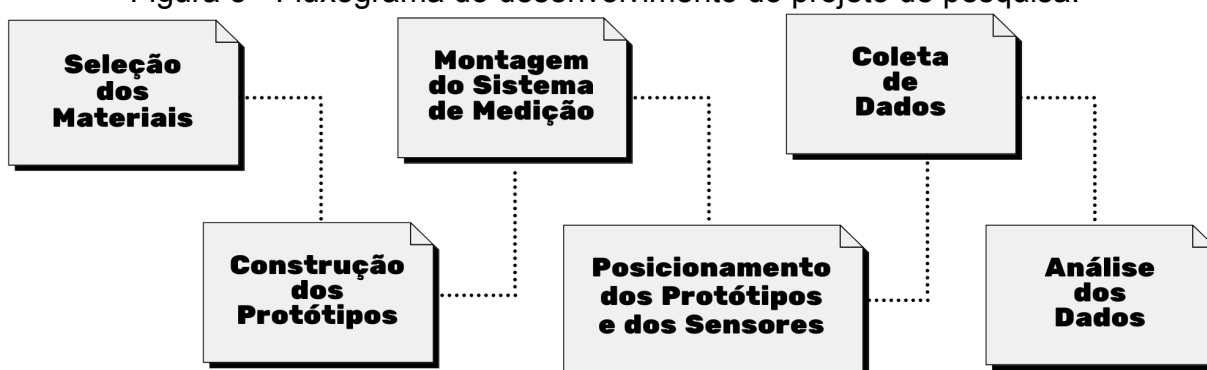
De acordo com Giovani (2018), um aspecto importante na procura de um isolamento térmico é a consideração da eficiência energética das edificações, e a busca por estratégias como escolhas de materiais eficientes e a utilização de ventilações naturais, para garantir o aumento do conforto térmico dos moradores e, ao mesmo tempo, minimizar o consumo de energia.

De modo a otimizar o desempenho térmico e reduzir o consumo de energia para aquecimento e arrefecimento dos ambientes, busca-se analisar a influência dos fatores externos, como o clima e a orientação da edificação, utilizando modelos computacionais, simulando o desempenho térmico, prevendo o comportamento das edificações em diferentes cenários ambientais (Ascione *et al.*, 2020).

### 3 METODOLOGIA

A pesquisa está organizada em seis etapas (Figura 3), e pretende avaliar o desempenho térmico de protótipos de madeira, com e sem revestimento interno de embalagens do tipo Tetra Pak, em diferentes estações do ano. A pesquisa será desenvolvida em área de campo aberto na Universidade Federal do Pampa - Campus Alegrete/RS.

Figura 3 - Fluxograma do desenvolvimento do projeto de pesquisa.



Fonte: Elaboração própria (2023).

#### 3.1 Seleção dos Materiais

A seleção e aquisição dos materiais para construção dos módulos foi realizada em parceria com a empresa Escala Engenharia e Construção (Alegrete/RS), a qual forneceu os materiais (madeiras, pregos, telhado) necessários para a construção dos protótipos. Boa parte dos materiais selecionados (ripas de madeira, recortes de telhado de fibrocimento) já haviam sido utilizados em obras e posteriormente seriam descartados por não terem utilidade para novas obras devido ao pequeno tamanho e/ou quantidade. O reaproveitamento destas matérias primas viabilizou a execução desta pesquisa.

Os painéis térmicos foram obtidos a partir de coleta e beneficiamento de caixas do tipo Tetra Pak. Esta etapa foi realizada em parceria com o projeto “Módulo II: Oficinas de Montagem de Painéis de Embalagens Tetra Pak como Isolante Térmico de Habitações Populares de Madeira”. O projeto já realizava a coleta de embalagens geradas pós consumo pela comunidade acadêmica do campus Alegrete/RS.

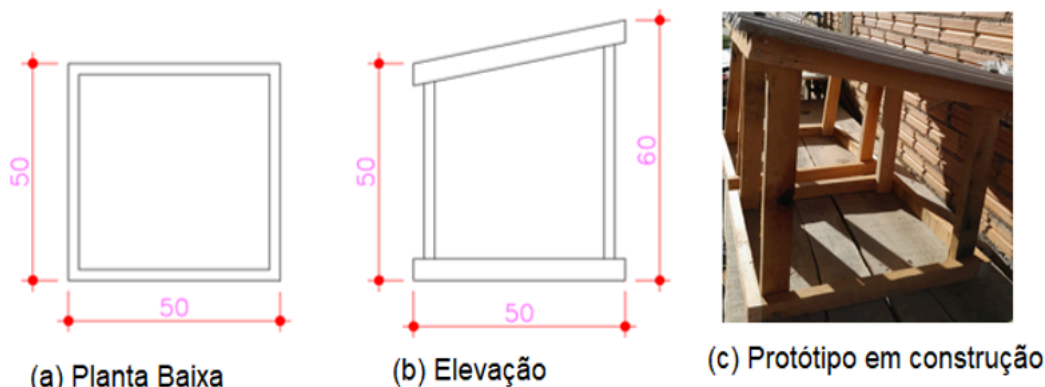


Os materiais e componentes eletrônicos que irão compor o sistema de monitoramento foram adquiridos pela internet e serão apresentados mais detalhadamente no tópico 3.3 – Montagem do Sistema de Coleta de Dados.

### 3.2 Construção dos Protótipos

A construção dos protótipos (Figura 4) foi realizada por um profissional da empresa Escala Engenharia e Construção, dispondo das medidas 50cmx50cm. O telhado foi executado com inclinação de 20% para permitir o escoamento da água da chuva e atender as prescrições do fabricante das telhas de fibrocimento.

Figura 4 – Processo de execução dos protótipos: (a) Planta baixa, (b) Elevação e (c) Protótipo em construção, as cotas da figura têm como unidade de medida centímetros.



Fonte: Elaboração Própria (2023).

A Figura 5 apresenta os protótipos prontos, antes do revestimento.

Figura 5 - Protótipos prontos.



Fonte: Acervo do Autor (2023).

No total, foram construídos três protótipos utilizando ripas de madeira de tamanhos 2,5cmx5cm e 2,5cmx7cm e telhado de fibrocimento 4mm fixado com prego tipo telheiro 18x21 (JP x LPP). As ripas de madeira foram fixadas nas laterais dos protótipos com pregos 17x27 (JP x LPP), simulando habitações de madeira com frestas.

### 3.3 Confeção e Instalação dos painéis nos Protótipos

Após a aquisição dos envases, as embalagens comprometidas (sujas e/ou danificadas) foram descartadas. As embalagens em bom estado de conservação foram higienizadas e abertas com o auxílio de guilhotina e tesoura, seguindo os passos apresentados na Figura 6.

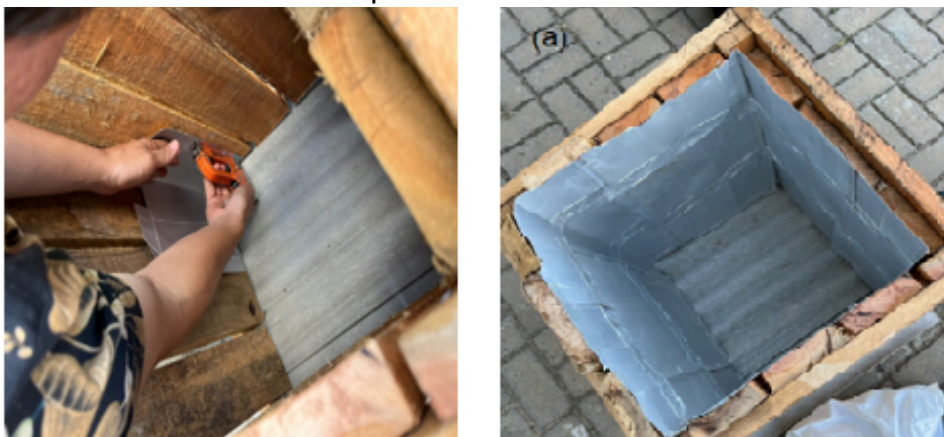
Figura 6 - Passos para a abertura correta das caixas Tetra Pak, onde: (1) Corte das emendas superior e inferior e (2) Corte da emenda central e (3) Embalagem aberta.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Após a preparação dos painéis dois dos protótipos foram revestidos com embalagens do tipo Tetra Pak e um protótipo permaneceu sem revestimento interno, para servir como referência. Dos protótipos revestidos, um recebeu o revestimento interno com o lado laminado da caixa para dentro do ambiente (Figura 7) e o outro protótipo recebeu a aplicação do painel com o lado não laminado para dentro do ambiente (Figura 8).

Figura 7 – Revestimento dos módulos de madeira: Protótipo revestido com o lado laminado para dentro do ambiente.



Fonte: Acervo do Autor (2023).

Figura 8 – Revestimento dos módulos de madeira: Protótipo revestido com o lado não laminado para dentro do ambiente.



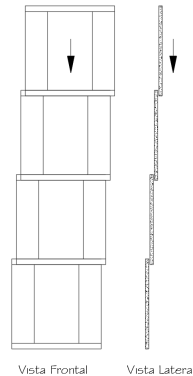
Fonte: Acervo do Autor (2023).

O revestimento dos protótipos foi realizado durante uma oficina do projeto de extensão “Módulo II: Oficinas de Montagem de Painéis de Embalagens Tetra Pak como Isolante Térmico de Habitações Populares de Madeira” (registro 2022.EX.AL.1222). A oficina foi ministrada na UNIPAMPA no ano de 2023 por Maria Pierezan, contando com o auxílio dos discentes participantes da oficina.

Para aplicação do revestimento foi levado em consideração a possibilidade de o material entrar em contato com a água da chuva durante o experimento devido a presença das frestas nos protótipos. Em função do exposto, os painéis de Tetra Pak foram posicionados nas paredes em sentido telha (de baixo para cima – Figura 9) para que possibilitasse um escoamento da água sem danificar o material. A aplicação dos painéis foi realizada utilizando grampeadores de madeira.

O sentido telha permite que a água escoe pela placa, sem ficar acumulada entre as placas de modo que viesse a danificar o material.

Figura 9 - Sentido telha para melhor escoamento da água da chuva.



Fonte: Elaboração Própria (2023).

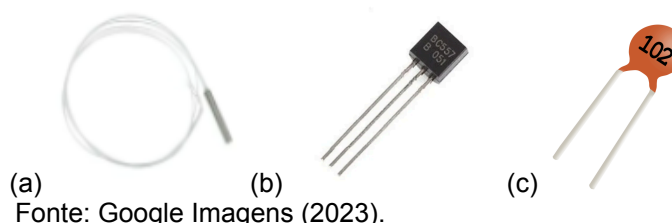
### 3.4 Montagem do Sistema de Coleta de Dados

A montagem do sistema de medição foi realizada com a orientação e coordenação do prof. Celso Nobre da Fonseca em parceria com alguns discentes e técnicos dos laboratórios de Engenharia Elétrica. Montado um sistema de coleta de dados com placa Arduino e quinze sensores os quais realizarão a coleta de dados da temperatura interna dos protótipos.

#### 3.4.1 Componentes utilizados para a montagem do sistema de medição

Para a montagem do sistema de medição será utilizado um Arduino UNO, placa protoboard e alguns componentes de medição (Figura 10) entre os quais cita-se: o PT100, cabos de fios usados tipo UTP (cabo de internet), bornes, transistores e capacitores.

Figura 10 – Componentes de medição: (a) Sensor de temperatura PT100, (b) Capacitores 10nf, e (c) Transistores PNP.



Fonte: Google Imagens (2023).

Os bornes serão usados para acomodar os sensores PT100 na protoboard, os transistores pnp serão utilizados para diminuir o número de entradas do Arduino, pois o mesmo não possui entradas suficientes para utilização com o número de sensores que será utilizado (15 sensores). Nesse caso, transistores PNP serão utilizados para a utilização da técnica conhecida como multiplexação (CAPUANO, 2018), que nada mais é do que fazer com que os muitos sinais de saída, no caso os sinais dos diversos sensores, sejam colocados em uma única via para conectar a uma única entrada do Arduino.

Os sensores para a captação da temperatura ambiente serão do tipo PT100, fornecidos pela universidade (UNIPAMPA). O sensor PT100 será utilizado para as coletas de temperaturas de contato, no meio e ao centro das paredes dos protótipos, e também para coleta das temperaturas do ambiente, sendo posicionado no meio do protótipo.

Todos os componentes estão ligados a um Arduino modelo UNO (Figura 11) e para a coleta de dados será utilizado a saída de dados do Arduino via computador, disponibilizado pelo Grupo de Pesquisa - GPTec. Esses dados serão guardados em arquivos do tipo TXT, os quais podem ser utilizados ou transferidos para qualquer outro tipo de software, como Excel ou planilhas e softwares estatísticos, como R ou Estatística.

Figura 11 – Recebimento dos dados através do Arduino (UNO).



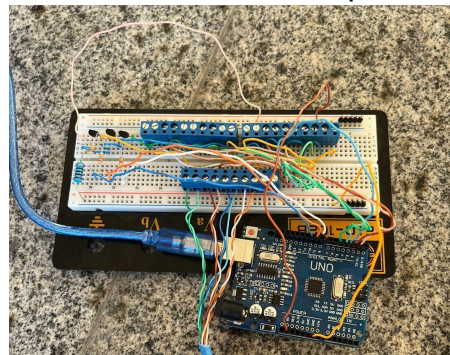
Fonte: Acervo do Autor (2023).

### **3.4.2 Montagem e testes do sistema**

Antes da montagem do sistema final foram realizadas simulações em ambiente de laboratório para fins de testes em uma placa Protoboard (Figura 12), matriz de contatos. Os resultados desta simulação estão apresentados na Figura 13.

Na fase de montagem do sistema foram testados os sensores PT100 para verificar o correto funcionamento dos mesmos. Para fins de teste, o tempo entre as leituras foi de minuto a minuto, para maior agilidade no processo. Observou-se um comportamento crítico para o sensor PT100, portanto, foi utilizado um resistor de precisão de 100 ohms suficiente para obter a precisão desejada da medida de temperatura. No geral as simulações funcionaram de forma desejável para este caso.

Figura 12 - Sistema de testes em placa Protoboard.



Fonte: Acervo do Autor (2024).

A visualização da saída dos resultados experimentais será obtida através do próprio software Arduino, que permite uma visualização dos resultados conforme a Figura 13, utilizando-se de código conforme anexo A.

Figura 13 - Resultados obtidos dos testes realizados na Protoboard, retirados do próprio software Arduino.

```
codigomaria_26032024.ino
28     delay(250);
29   }
30   // for(byte x = 2; x <= 6; x++){
31   // Serial.print("leitura: ");
32   // Serial.print(x);
33   // Serial.print(" ");
34   // Serial.print(analogRead(AS));
35   // Serial.print("\n");
36   // delay(1500);
37   // PORTD <<= 1;
38   // }
39   Serial.println();
40   digitalWrite(y, LOW);
41
42
43
44   //Serial.println("feito!");
45 }
```

Output Serial Monitor x

Message: Enter to send message, or press the an COM25

```
2111:1111
011:11111
2111:1111
2111:1111
011111:11
011111:11
2111:1111
011
```

Fonte: Acervo do Autor (2024).

### 3.4.3 Dificuldades encontradas na montagem do sistema

No decorrer da montagem do sistema de medição surgiram algumas dificuldades que precisaram ser resolvidas. O primeiro caso foi a de apresentar uma grande quantidade de sensores para um pequeno número de portas de entrada no Arduino UNO. Esse problema foi solucionado com a utilização de transistores, que permitiram reduzir o número de entradas a ser utilizadas no Arduino.

Outro problema enfrentado na montagem do sistema de medição foi a medição da temperatura pelo PT100. Esse problema foi resolvido atribuindo-se o uso de um resistor de precisão de 100 ohms para o PT100. Em relação ao PT100, sua precisão aumenta, ou seja, se torna útil para ser utilizado pelo Arduino, já que este sensor não faz parte dos sensores de temperatura que são utilizados geralmente no próprio Arduino. Outro problema encontrado foi a falta de corrente suficiente para suprir os sensores, problema este resolvido com uma fonte externa a partir de um carregador comum de celular (Figura 14).

Figura 14 - Carregador de celular.

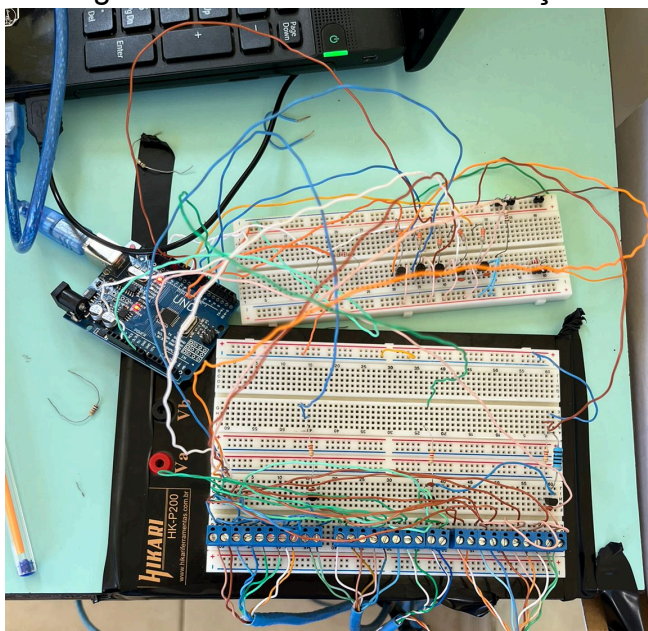


Fonte: Acervo do Autor (2024).

### 3.4.4 Sistema final de medição

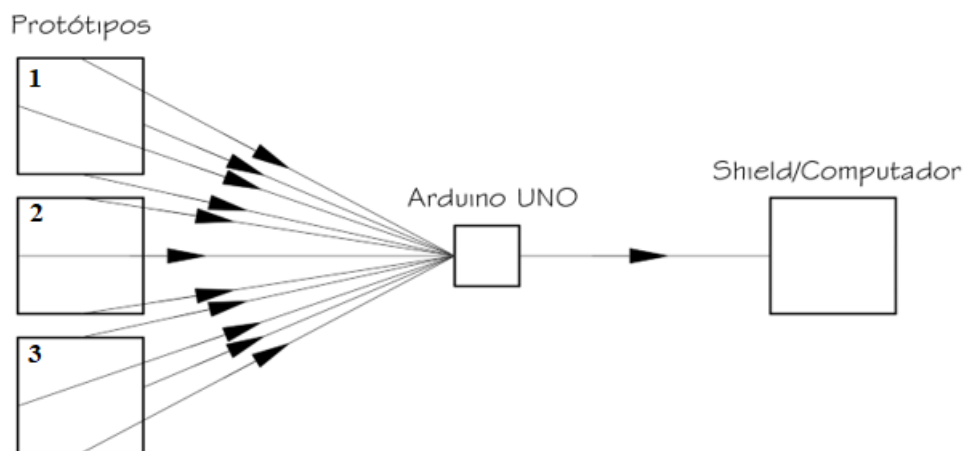
O sistema final de medição ficará de acordo com a figura 16 a seguir, de maneira a exemplificar o funcionamento do sistema, onde os dados de temperatura coletados pelos sensores nos protótipos serão conduzidos para o Arduino o qual passará as informações para o computador que realizará a coleta dos dados, e na figura 17 de maneira esquemática o sistema de coleta de dados.

Figura 15 - Sistema final de medição.



Fonte: Acervo do Autor (2024).

Figura 16 - Representação esquemática da montagem do sistema de coleta de dados.



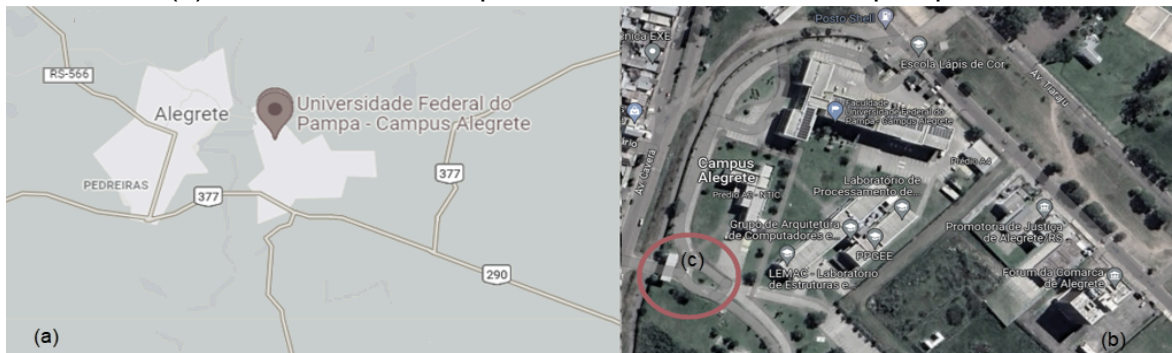
Fonte: Elaboração Própria (2023).

### 3.5 Local de Instalação dos Protótipos

A escolha do local para implementação da pesquisa (Figura 17) levou em consideração a acessibilidade à rede elétrica para a conexão dos equipamentos de medição e armazenamento de dados, e também a segurança em relação a roubos e danos aos equipamentos.



Figura 17 - Localização da implementação dos protótipos, onde: (a) Mapa da cidade de Alegrete/RS com a localização da Universidade; (b) Vista aérea da universidade e (c) Local selecionado para o desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: Retirado de Google Maps (2023).

O local selecionado para o posicionamento dos protótipos está próximo a uma das portarias da Universidade Federal do Pampa – campus Alegrete/RS (Figura 18).

Figura 18 - Posicionamento dos protótipos.



Fonte: Acervo do Autor (2024).

## 4 SISTEMA DE COLETA

Após a montagem do sistema, os dados foram coletados a cada duas horas, durante os meses de abril e maio, em dias alternados. Este período de coleta permitiu observar a influência térmica dos painéis Tetra Pak no ambiente interno dos protótipos ao longo do dia, em diferentes condições meteorológicas, incluindo dias ensolarados, nublados e chuvosos.

Os dados coletados pelo Arduino são apresentados em um formato que varia de 0 até 1023. Esses valores correspondem às variações detectadas pelos sensores de temperatura e devem ser convertidos para valores exatos de temperatura, utilizando-se para isto um termômetro como referência, para ajustar e converter esses números para temperatura.

A relação entre a resistência do sensor PT100 e a temperatura é bem definida e linear em uma faixa específica de temperatura (0 a 100°C), mas pode ser descrita com mais precisão utilizando uma equação de calibração, ou seja, seguem uma regra linear do tipo  $y = ax + b$  (onde  $a$  e  $b$  são os coeficientes,  $y$  representa a temperatura e  $x$  o dado fornecido pelo Arduino), bastam duas medidas coletadas pelo Arduino e suas respectivas temperaturas dadas pelo termômetro para obtermos a temperatura registrada pelo sensor e ajustarmos a equação para conversão dos demais dados.

Como exemplo, suponhamos que o Arduino fornece os valores 500 e 600, enquanto no termômetro os registros respectivos a esses números foram de 25° e 45°, então a lei que governa a temperatura a partir desses dados é a equação 1.

$$y = \frac{1}{5}x - 75 \quad \text{Equação (1)}$$

Por conveniência, foi decidido que a saída será armazenada a partir dos números registrados pelo Arduino, pois pode ocorrer de os sensores possuírem valores diferentes de  $a$  e  $b$ .

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os dados coletados (Anexo B) foram organizados de acordo com os períodos do dia: manhã, tarde e noite. Para facilitar a visualização e análise dos dados, foi calculada a média das temperaturas obtidas nestes períodos, considerando a pequena variação climática observada. Os períodos foram definidos da seguinte forma: manhã das 05h às 12h, tarde das 13h às 19h e noite das 20h às 04h. Além disso, foram calculadas as médias das temperaturas de contato das paredes, bem como a média geral de cada protótipo.

Através da calibração dos sensores pode-se obter a seguinte equação:

$$T = 0,27x - 81,15 \quad \text{Equação (2)}$$

onde:

T = temperatura;

x = valor fornecido pelo Arduino;

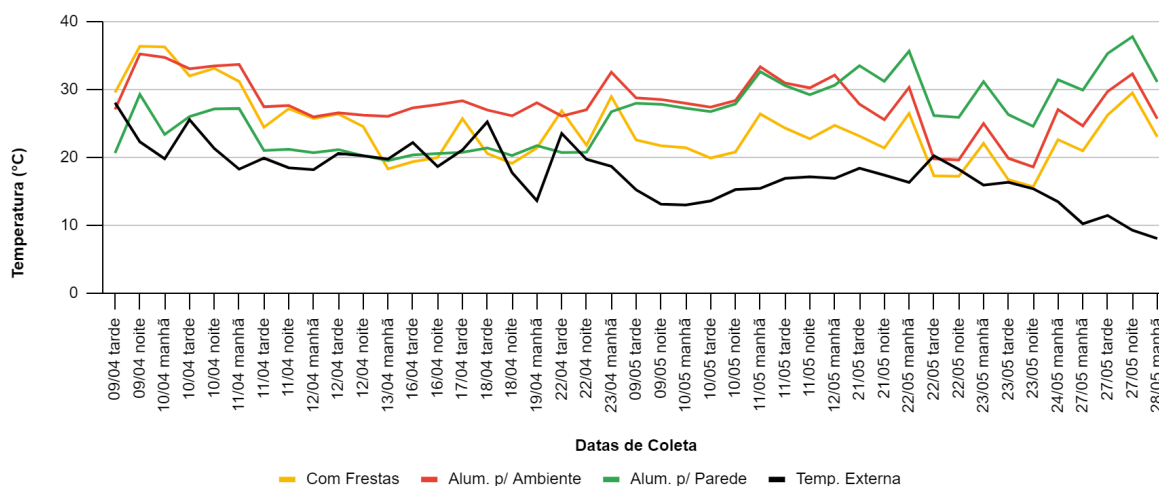
b = coeficiente encontrado a partir da temperatura registrada no momento da coleta.

Através da equação foram apresentados valores anormalmente altos para um ambiente residencial típico, onde estes valores discrepantes sugerem um problema na conversão dos dados coletados, visto que o sensor PT100 não apresentou o comportamento linear esperado.

Apesar das imprecisões na conversão dos dados com valores anormais de temperatura, foi realizada uma análise de comparação entre os protótipos.

O gráfico 1 apresenta o desempenho térmico dos protótipos para o período de 21 dias. As temperaturas externas mostradas no Gráfico 1 serviram de parâmetro de comparação entre os protótipos e foram fornecidas pela Estação Meteorológica FES12408, localizada em Alegrete/RS (SIMAGRO/RS, 2024).

Gráfico 1 - Variação de temperatura dos protótipos.



Fonte: Elaboração Própria (2024).

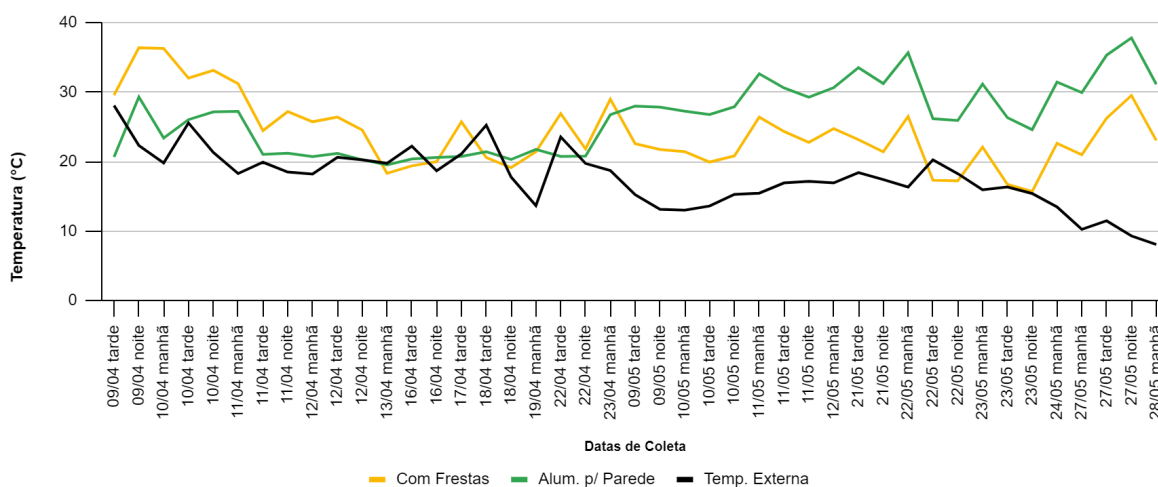
Observa-se que em dias mais quentes, o ambiente com frestas e com revestimento laminado ambiente apresentaram temperaturas mais elevadas, enquanto o protótipo com revestimento laminado voltado para fora manteve-se mais próximo às temperaturas externas. Em contraste, nos dias mais frios, o ambiente sem revestimento não demonstra temperaturas semelhantes às do exterior, mesmo com a presença de frestas. Este fato sugere que as temperaturas utilizadas para a construção do gráfico podem não refletir com precisão a realidade. Ademais, os protótipos revestidos mostram-se eficientes em dias frios, pois tendem a manter o ambiente mais aquecido, proporcionando maior conforto térmico.

Embora os dados convertidos não estejam muito precisos, o Gráfico 1 indica que o protótipo com revestimento com laminado voltado para as paredes destacou-se em termos de eficiência térmica. Este protótipo apresentou temperaturas mais amenas em dias mais quentes e em dias mais frios, apresentou temperaturas mais quentes em relação aos outros protótipos.

Em dias mais quentes o revestimento aluminizado mostrou capacidade superior de refletir a radiação térmica externa, e em dias mais frios manteve o calor interno, atuando como uma barreira que minimiza a perda de calor. Pode-se perceber isso através do gráfico a seguir, onde são apresentadas as variações de temperatura dos três protótipos e da temperatura externa.

O gráfico 2 apresenta o comparativo entre as temperaturas internas do protótipo com frestas com laminado voltado para as paredes e o protótipo com frestas sem revestimento laminado.

Gráfico 2 - Variação de temperatura para o protótipo com frestas com laminado voltado para parede e o protótipo com frestas sem revestimento.

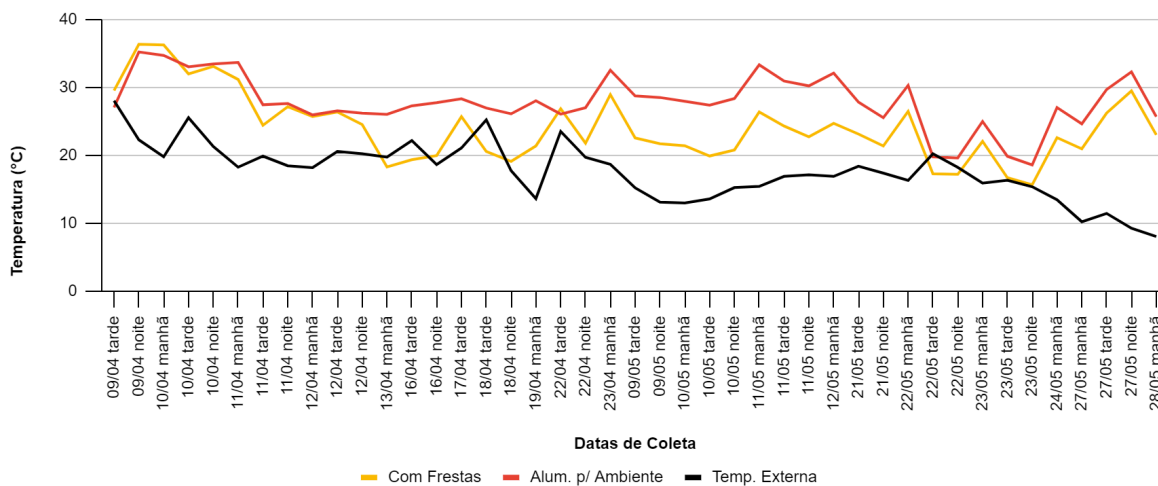


Fonte: Elaboração Própria (2024).

No gráfico 2 o protótipo com revestimento com alumínio voltado para parede apresenta um ambiente mais agradável para temperaturas mais frias em comparação ao protótipo com frestas. Em dias mais quentes, o revestimento reflete a incidência solar, e em dias mais frios, mantém uma temperatura superior à do ambiente com frestas.

No gráfico 3 é apresentado um comparativo das temperaturas internas do protótipo com frestas sem revestimento e do protótipo com frestas com o revestimento laminado voltado para dentro do ambiente do protótipo.

Gráfico 3 - Variação de temperatura do protótipo com revestimento aluminizado voltado para as paredes e do protótipo com frestas e sem revestimento.

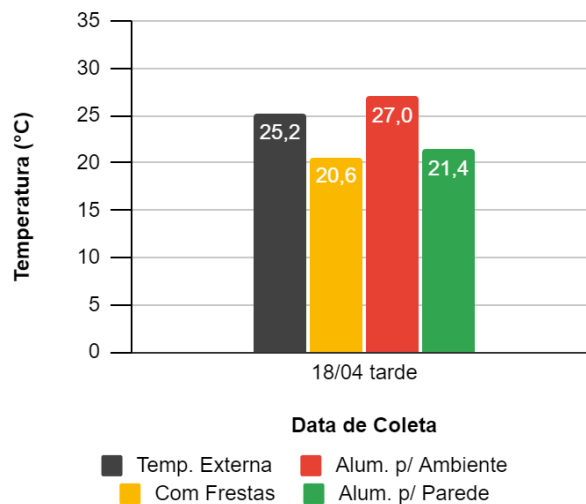


Fonte: Elaboração Própria (2024).

Observa-se que as temperaturas no protótipo com laminado voltado para o ambiente são superiores às do protótipo com frestas sem revestimento, indicando que a temperatura interna é mantida sem interferências externas de vento e frio. No entanto, em dias quentes, esse ambiente pode se tornar desconfortavelmente quente.

Nos gráficos 4 e 5 busca-se comparar os dados de temperaturas internas dos três protótipos e os dados de temperatura externa obtidos do site da SIMAGRO/RS (2024) para os dias críticos (dia com maior e menor temperatura ambiente). O dia crítico com maior temperatura externa ocorreu em 18 de abril de 2024 e o dia crítico com menor temperatura ambiente ocorreu em 28 de maio de 2024.

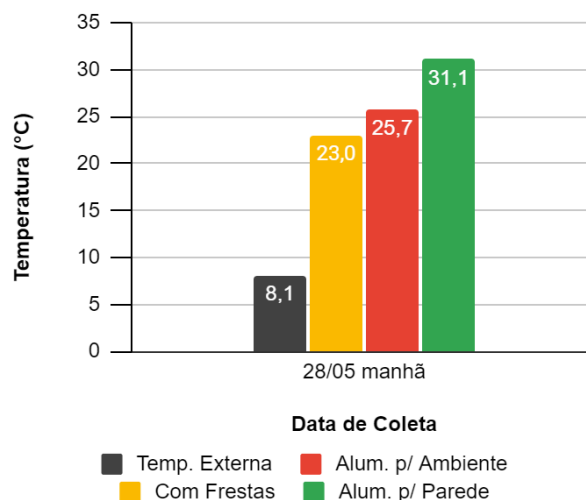
Gráfico 4 – Temperaturas dos protótipos na data de maior temperatura externa.



Fonte: Elaboração Própria (2024).

Observa-se que para o dia mais crítico no calor o comportamento do protótipo com frestas e do protótipo com o revestimento aluminizado voltado para a parede foram similares e em média 16,8% inferior ao da temperatura ambiente. O protótipo com o revestimento aluminizado voltado para o ambiente apresentou maior temperatura entre todos os protótipos investigados, superando em 6,9% a temperatura ambiente.

Gráfico 5 – Temperaturas dos protótipos na data de menor temperatura externa.



Fonte: Elaboração Própria (2024).

Os protótipos revestidos com painéis Tetra Pak (Gráfico 5) apresentaram maior temperatura interna em dias frios em comparação ao protótipo com frestas e sem revestimento. Nota-se que o protótipo com revestimento aluminizado voltado para a parede apresentou a maior temperatura interna entre os protótipos, resultando em um ambiente mais aquecido em dias frios. Em relação ao protótipo com frestas, a variação de temperatura interna do protótipo com o revestimento aluminizado voltado para o ambiente foi 12% superior, enquanto que para o protótipo com o revestimento aluminizado voltado para as paredes foi 35% superior. Estes resultados indicam que o revestimento com painéis Tetra Pak pode ser eficaz, uma vez que minimizam a passagem do frio para o interior dos protótipos e amenizam o calor em dias mais quentes. No entanto, o posicionamento do revestimento durante a sua aplicação pode ser mais vantajoso quando o lado aluminizado do painel é voltado para as paredes da residência.

A expectativa era obter dados que refletissem as condições térmicas internas dos protótipos após a aplicação das embalagens Tetra Pak em relação a suas faces de aplicação nos protótipos. Embora existam erros nos valores absolutos de temperatura convertidos, a comparação relativa entre os protótipos permite concluir que o revestimento com lado laminado voltado para a parede é a opção mais eficaz para revestimentos de casas de madeira. Sua capacidade de manter temperaturas internas mais agradáveis, tanto em condições de calor quanto de frio, faz dele uma escolha recomendada para melhorar o conforto térmico.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho avaliou a variação térmica interna de dois protótipos de madeira com frestas revestidos com embalagens Tetra Pak em distinta disposição nas paredes (laminado voltado para a parede e o laminado voltado para o interior do ambiente) em relação a um protótipo com frestas e sem o revestimento.

A utilização do Arduino para a coleta de dados não apresentou o resultado desejado, pois o equipamento mostrou limitações quanto a capacidade de coleta de dados, sendo de apenas um dia. O sensor PT100 não apresentou o comportamento linear esperado, uma característica que não foi prevista antecipadamente nos testes laboratoriais. Inicialmente, os experimentos confiaram na suposta linearidade do sensor, sendo realizados testes utilizando temperaturas entre 50°C e 100°C. No entanto verificou-se que as equações de conversão de tensão para temperatura mudam conforme a faixa de temperatura. Especificamente, para altas temperaturas, o coeficiente de conversão é diferente daquele utilizado para baixas temperaturas, evidenciando a necessidade de ajustes na equação de acordo com as regiões de temperatura.

Com relação a variação térmica de protótipos revestidos em comparação com o protótipo sem Tetra Pak, conclui-se que ambos os revestimentos são eficazes para o isolamento térmico.

A comparação entre a variação térmica do ambiente externo e a variação térmica interna dos protótipos demonstrou que o revestimento é eficaz, pois impede a passagem de intempéries climáticas, como vento e chuva. No entanto, o revestimento aplicado com o lado laminado para as paredes torna o ambiente mais quente, mesmo em altas temperaturas. Já o revestimento aplicado com o alumínio voltado dentro do ambiente mostra-se mais vantajoso, pois em dias quentes deixa o ambiente mais ameno e, em dias frios, proporciona um ambiente mais aquecido.



## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para estudos futuros, recomenda-se:

- Avaliar outros sistemas de coleta de dados: implementar e comparar diferentes metodologias de coleta de dados para aumentar a precisão e a confiabilidade das medições.
- Análise in loco em residências de madeira revestidas com painéis Tetra Pak: realizar estudos diretamente nas residências revestidas para obter maior precisão quanto a variação relacionada aos fatores externos.
- Análise ao longo do tempo: conduzir avaliações que abrangem períodos críticos, como os meses de inverno e verão, para compreender melhor o desempenho térmico dos materiais em diferentes condições climáticas.

## REFERÊNCIAS

ABRECON. **Pesquisa setorial ABRECON 2020: a reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil**. 2020, São Paulo, SP. Doi: 10.11606/9786589190103.

ANTUNES, V. M. O.; *et al.* **A DIMINUIÇÃO DE TEMPERATURA EM RESIDÊNCIA CARENTE A PARTIR DA REUTILIZAÇÃO DE EMBALAGENS TETRA PAK: UMA EXPERIÊNCIA NO MUNICÍPIO DE XIQUE-XIQUE, BAHIA**. Revista Sertão Sustentável, v. 1, n. 2, p. 93-98, 2019.

ASCIONE, F., *et al.* **A review of natural and hybrid ventilation systems for residential buildings**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 109, 448-459. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14401-2: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários**, Parte 2: Parâmetro de conforto térmico. 2008, Rio de Janeiro.

BRASIL, J. G. **Embalagens recicladas da Tetra Pak são matéria-prima para produtos na construção civil**. 2018. Disponível em: <http://clubedaembalagem.com.br/noticias/embalagens-recicladas-da-tetra-pak-sao-materia-prima-para-produtos-na-construcao-civil/>. Acesso em 14 jun. 2023.

CAPUANO, F. G.. **Elementos de eletrônica digital**. Saraiva Educação SA, 2018.

CEMBRANEL, A. S.; *et al.* **EMBALAGENS TETRA PAK NO ISOLAMENTO TÉRMICO DE COBERTURA EM EDIFICAÇÕES**. Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis, SC, v. 8, n. 1, p.388-404, 2019. DOI: 10.19177/rgsa.v8e12019388-404

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/rs/r/rio-grande/resolucao/2002/31/307/resolucao-n-307-2002-estabelece-diretrizes-criterios-e-procedimentos-para-a-gestao-dos-residuos-da-construcao-civil>. Acesso em 31 mar. 2023.

CUNHA, R. **Conheça a cadeia de economia circular das embalagens Tetra Pak**. 2021. Disponível em: <https://www.stylourbano.com.br/conheca-a-cadeia-de-economia-circular-das-embalagens-tetra-pak/>. Acesso em 31 mar. 2023.

ECOPEX. **ECOPEX Materiais Ecológicos**. 2023. Disponível em: <https://ecopex.com.br>. Acesso em 31 mar. 2023.

FROTA, A. B; *et al.* **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. 5. ed. São Paulo. Studio Nobel. 2001.

GIOVANI, B. **Climate considerations in building and urban design**. Routledge. 2018.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Estação de Alegrete A826**. Disponível em <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A826>. Acesso em 08 jun. 2024.

JIANG, P., *et al.* **Review on the research of thermal performance evaluation of building envelope in residential buildings**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 454(4), 042037. 2020.

KAEHLER, J. W. M. **Recursos Solares nos Dez Campi**. 2017.

LAMBERTS, R; *et al.* **Desempenho térmico de edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina. 2016.

LI, H., *et al.* **The impact of thermal environment on sleep quality: a literature review**. Building and Environment, 189, 107472. 2021.

MARQUES, Â. E. B.; *et al.* **Dispositivos Semicondutores Diodos e transistores**. Saraiva Educação SA, 1997.

MOHAMAD, G., *et al.* **Avaliação de temperatura e umidade em residências revestidas internamente com embalagens longa vida**. Mix Sustentável, Florianópolis, SC, v.5, n.3, p.19-26, 2019. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n3.19-26>.

MISAKA, B. L. S. **AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO ENTRE OS SISTEMAS DE TELHADO VERDE, ECOLÓGICO E CONVENCIONAL**. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, RS, 2021.

SARTOR, K, *et.al.* **Utilização de embalagens Tetra Pak® como isolante térmico no revestimento de escamoteadores para leitões**. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 67(5), 123-135, 2015. DOI: 10.1590/1678-4162-6732.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (ALEGRETE). **PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE ALEGRETE - RS - PMGIRS**. 2021. Disponível em <<https://www.alegrete.rs.gov.br/files/pmgirs.pdf>>. Acesso em 30 mai. 2023.

SILVA, K. C. P.; *et al.* **Reaproveitamento de resíduos de embalagens Tetra Pak - em coberturas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 19, n. 1, p. 58-63, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n1p58-63>.

Solida Engenharia e Construção. **Qual a importância do conforto térmico na edificação?** 2023. Disponível em: <https://solidaengenharia.com/blog/importancia-do-conforto-termico/>. Acesso em 16 abr. 2024.

Tetra Pak. **História da Tetra Pak**. 2023a. Disponível em: <https://www.tetrapak.com/pt-br/about-tetra-pak/the-company/history>. Acesso em 30 mai. 2023.

Tetra Pak. **Um senso de propósito que impulsiona tudo o que fazemos**. 2023b. Disponível em: <https://www.tetrapak.com/pt-br/about-tetra-pak/the-company/tetra-pak-in-brief>. Acesso em 30 mai. 2023.

Tetra Pak. **Nosso propósito**. 2023c. Disponível em: <https://www.tetrapak.com/pt-br/about-tetra-pak/who-we-are/Purpose>. Acesso em 30 mai. 2023.

Tetra Pak. **Embalagens assépticas**. 2023d. Disponível em: <https://www.tetrapak.com/pt-br/solutions/packaging#packaging-aseptic-packages>. Acesso em 30 mai. 2023.

Tetra Pak. **Tetra Pak Brasil**. 2023e. Disponível em: <https://www.tetrapak.com/pt-br/about-tetra-pak/who-we-are/tetra-pak-no-brasil>. Acesso em 30 mai. 2023.

Tetra Pak. **Material das embalagens cartonadas da Tetra Pak**. 2023f. Disponível em: <https://www.tetrapak.com/pt-br/solutions/packaging/packaging-material/materials>. Acesso em: 09 abr. 2023.

Tetra Pak. **Reciclagem no Brasil**. 2023g. Disponível em: <https://www.tetrapak.com/pt-br/sustainability/focus-areas/circularity-and-recycling/reciclagem-no-brasil>. Acesso em 30 mai. 2023.

Tetra Pak. **Circularidade e reciclagem**. 2023h. Disponível em: <https://www.tetrapak.com/pt-br/sustainability/focus-areas/circularity-and-recycling>. Acesso em 30 mai. 2023.

PIEREZAN, M.; *et al.* **MÓDULO 1: UTILIZAÇÃO DE EMBALAGENS TETRA PAK COMO ISOLANTE TÉRMICO DE HABITAÇÕES POPULARES DE MADEIRA**. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 12, n. 3, 20 nov. 2020.

SIMAGRO, RS. **Sistema de Monitoramento e Alertas Agroclimáticos no Rio Grande do Sul**. 2024. Disponível em <http://www.simagro.rs.gov.br/>. Acesso em 24 jun. 2024.

YIK, F. W. H., *et al.* **Advances in thermal comfort research over the last twenty years**. Building and Environment, 168, 106485. 2020.

## ANEXO A

Código utilizado na plataforma Arduino para realizar as coletas dos sensores.

---

```
1 // Projeto para Criar / Ler Arquivos .txt junto ao Cartão SD Arduino
2 // Visite nossa loja através do link www.usinainfo.com.br
3 // Mais projetos em www.usinainfo.com.br/blog/~/pre>
4 #include <SD.h>
5 #include <SPI.h>
6
7 File myFile;
8
9 int pinoSS = 10; // Pin 53 para Mega / Pin 10 para UNO
10
11 void setup() { // Executado uma vez quando ligado o Arduino
12
13 Serial.begin(9600); // Define BaundRate
14 pinMode(pinoSS, OUTPUT); // Declara pinoSS como saída
15
16 if (SD.begin()) { // Inicializa o SD Card
17 Serial.println("SD Card pronto para uso."); // Imprime na tela
18 }
19
20 else {
21 Serial.println("Falha na inicialização do SD Card.");
22 return;
23 }
24
25 myFile = SD.open("usina.txt", FILE_WRITE); // Cria / Abre arquivo .txt
26
27 if (myFile) { // Se o Arquivo abrir imprime:
28 Serial.println("Escrevendo no Arquivo .txt"); // Imprime na tela
29 myFile.println("Usinainfo 1, 2 ,3 ..."); // Escreve no Arquivo
30 myFile.close(); // Fecha o Arquivo após escrever
31 Serial.println("Terminado."); // Imprime na tela
32 Serial.println(" ");
33 }
34
35 else { // Se o Arquivo não abrir
36 Serial.println("Erro ao Abrir Arquivo .txt"); // Imprime na tela
37 }
38
39 myFile = SD.open("usina.txt"); // Abre o Arquivo
40
41 if (myFile) {
42 Serial.println("Conteúdo do Arquivo:"); // Imprime na tela
43
44 while (myFile.available()) { // Exibe o conteúdo do Arquivo
45 Serial.write(myFile.read());
46 }
47
48 myFile.close(); // Fecha o Arquivo após ler
49 }
50
51 else {
52 Serial.println("Erro ao Abrir Arquivo .txt"); // Imprime na tela
53 }
54 }
55 }
56
57 void loop() {
58
59 // Como a função é executada somente uma vez, esta área permanece em branco
60
61 }
```

---

ANEXO B

	Tex (°C) MÉDIA	Estação	Casa com	Laminado	Laminado para	Diferença T ex e T in			
		Alegrete	frestas	para dentro	fora	Casa-2	Casa-1	Casa-3	
		Temperatura	Casa-1	Casa-2	Casa-3				
1	09/04 tarde	28,05	27,90	29,55	27,07	20,66	0,98	1,50	7,39
2	09/04 noite	22,30	22,70	36,36	35,23	29,28	12,93	14,06	6,98
3	10/04 manhã	19,80	19,80	36,26	34,71	23,37	14,91	16,46	3,57
4	10/04 tarde	25,55	25,20	32,00	33,04	26,02	7,49	6,45	0,47
5	10/04 noite	21,32	23,80	33,11	33,45	27,14	12,13	11,79	5,82
6	11/04 manhã	18,28	18,30	31,18	33,68	27,20	15,41	12,90	8,93
7	11/04 tarde	19,90	20,40	24,44	27,46	21,02	7,56	4,54	1,12
8	11/04 noite	18,48	20,70	27,17	27,65	21,20	9,17	8,69	2,72
9	12/04 manhã	18,20	18,20	25,72	25,96	20,71	7,76	7,52	2,51
10	12/04 tarde	20,60	21,50	26,39	26,56	21,16	5,96	5,79	0,56
11	12/04 noite	20,24	20,40	24,54	26,22	20,26	5,98	4,30	0,02
12	13/04 manhã	19,75	19,40	18,31	26,06	19,53	6,31	1,44	0,22
13	16/04 tarde	22,20	22,50	19,38	27,30	20,37	5,10	2,82	1,83
14	16/04 noite	18,66	21,20	19,98	27,76	20,59	9,10	1,32	1,93
16	17/04 tarde	21,10	23,20	25,70	28,34	20,74	7,24	4,60	0,36
17	18/04 tarde	25,23	25,00	20,58	26,99	21,41	1,75	4,65	3,83
18	18/04 noite	17,77	18,60	19,12	26,12	20,29	8,36	1,35	2,53
19	19/04 manhã	13,65	12,80	21,40	28,03	21,74	14,38	7,75	8,09
20	22/04 tarde	23,53	23,80	26,88	26,09	20,73	2,55	3,35	2,80
21	22/04 noite	19,73	22,00	21,81	27,03	20,78	7,30	2,09	1,05
22	23/04 manhã	18,70	19,30	28,95	32,55	26,73	13,85	10,25	8,03
23	09/05 tarde	15,24	16,60	22,57	28,76	27,97	13,52	7,33	12,73
24	09/05 noite	13,13	14,10	21,73	28,53	27,83	15,40	8,60	14,70
25	10/05 manhã	13,00	13,50	21,42	27,97	27,25	14,97	8,42	14,25
26	10/05 tarde	13,60	13,70	19,92	27,40	26,76	13,80	6,32	13,16
27	10/05 noite	15,28	14,80	20,81	28,38	27,87	13,10	5,53	12,60
28	11/05 manhã	15,45	15,60	26,39	33,33	32,62	17,88	10,94	17,17
29	11/05 tarde	16,93	17,90	24,33	30,95	30,58	14,03	7,40	13,65
30	11/05 noite	17,15	17,80	22,75	30,23	29,24	13,08	5,60	12,09
31	12/05 manhã	16,93	16,80	24,73	32,12	30,62	15,20	7,81	13,70
32	21/05 tarde	18,41	18,20	23,15	27,84	33,50	9,43	4,73	15,08
33	21/05 noite	17,40	19,10	21,39	25,56	31,20	8,16	3,99	13,80
34	22/05 manhã	16,33	16,10	26,49	30,30	35,64	13,98	10,16	19,31
35	22/05 tarde	20,24	20,20	17,31	19,80	26,16	0,44	2,93	5,92
36	22/05 noite	18,25	20,20	17,22	19,63	25,89	1,37	1,03	7,64
37	23/05 manhã	15,94	15,40	22,08	25,01	31,15	9,06	6,14	15,21
38	23/05 tarde	16,35	16,40	16,73	19,88	26,31	3,52	0,37	9,96
39	23/05 noite	15,40	15,30	15,69	18,60	24,58	3,20	0,29	9,18
40	24/05 manhã	13,48	15,40	22,62	27,06	31,43	13,58	9,14	17,95
41	27/05 manhã	10,25	10,10	20,98	24,65	29,91	14,40	10,73	19,66
42	27/05 tarde	11,48	12,20	26,24	29,71	35,30	18,23	14,77	23,82
43	27/05 noite	9,30	11,20	29,49	32,30	37,77	23,00	20,19	28,47
44	28/05 manhã	8,08	8,40	23,03	25,71	31,11	17,63	14,95	23,03

