

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DO SERTÃO
UNIDADE EDUCACIONAL SEDE DELMIRO GOUVEIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ELOYSE FERNANDA DA SILVA CAMPOS

**ANÁLISE DO USO DE BANDEJAS DE PAPELÃO PARA OVOS E BANDEJAS DE
ISOPOR COMO ISOLAMENTO TÉRMICO DE PAREDES DE ALVENARIA**

Delmiro Gouveia - AL

2023

ELOYSE FERNANDA DA SILVA CAMPOS

ANÁLISE DO USO DE BANDEJAS DE PAPELÃO PARA OVOS E BANDEJAS DE ISOPOR COMO ISOLAMENTO TÉRMICO DE PAREDES DE ALVENARIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Alexandre Nascimento de Lima.

Delmiro Gouveia - AL

2023

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza – CRB-4/2209

C198a Campos, Eloyse Fernanda da Silva

Análise do uso de bandejas para ovos de papelão e bandejas de isopor como isolante térmico de paredes de alvenaria / Eloyse Fernanda da Silva Campos. - 2023.

76 f. : il.

Orientação: Alexandre Nascimento de Lima.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2023.

1. Construção civil. 2. Conforto térmico. 3. Sustentabilidade. 4. Alvenaria. 5. Tijolo de solo-cimento. 6. Bandejas de papelão. 7. Bandejas de isopor. 8. Reciclagem e reaproveitamento. I. Lima, Alexandre Nascimento de. II. Título.

CDU: 624.05

Folha de Aprovação

ELOYSE FERNANDA DA SILVA CAMPOS

Análise do uso de bandejas para ovos de papelão e bandejas de isopor como isolamento térmico de paredes de alvenaria

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 02 de junho de 2023.

Alexandre Nascimento de Lima

Professor Msc. Alexandre Nascimento de Lima – UFAL (Orientador)

Banca examinadora:

Jêda Deyse Pereira dos Santos

Enga. Civil Iêda Deyse Pereira dos Santos (Examinadora Externa)

Odair Barbosa de Moraes

Dr. Odair Barbosa de Moraes – UFAL (Examinador Interno)

Dedico esse trabalho aos meus pais, Aloisio e Neuma, por nunca descreditarem de mim e serem sempre minha maior inspiração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser minha principal fonte de força durante todo o curso e não ter me deixado desacreditar que esse sonho poderia ser alcançado, mesmo diante de tantas dificuldades Ele foi a minha calma e esperança.

Agradeço a minha família, em especial os meus pais e minha irmã Karen, por sonharem junto comigo e serem o meu apoio em tudo.

Aos meus amigos de curso Allyson, Elielson e Nadyne, pelo companheirismo e incentivo nessa trajetória, por toda ajuda que me foi concedida e por tantos momentos de alegria e descontração durante as tensões e desafios dos estudos.

Agradeço ao meu professor orientador Alexandre por todo aprendizado, pela total disposição em auxiliar e por não medir esforços para que esse trabalho pudesse ser concluído com êxito.

Agradeço as minhas amigas Dheny, Thayanne e Amanda por sempre me incentivarem e acreditarem no meu potencial e vibrarem e se fazerem presentes em cada conquista alcançada.

Epígrafe

“Não se amolde ao padrão deste mundo,
mas transforme-se!” (Romanos, 12:1).

RESUMO

Atualmente, há uma grande preocupação mundial em relação ao desenvolvimento sustentável no setor da construção civil, pois é uma área que ainda apresenta dificuldades de incorporar métodos construtivos que minimizem os efeitos causados à natureza. Visando isso, é necessário buscar cada vez mais soluções, métodos e materiais que proporcionem construções eficientes e ambientalmente corretas e, dessa forma, a reutilização de resíduos em processos construtivos é uma alternativa favorável à inovação sustentável. Portanto, a presente pesquisa tem como foco a reutilização de bandejas de isopor e bandejas de papelão para ovos como materiais isolantes térmicos de alvenaria. Tendo em vista o potencial desses materiais em proporcionar conforto térmico para as edificações, foram feitas análises de transferência de calor aplicando-os como revestimento em dois tipos de paredes, onde uma delas é constituída por blocos de concreto e a outra por tijolos de solo-cimento com argila expandida. Os resultados obtidos nesse trabalho mostram que a utilização dessas bandejas como material isolante térmico é eficaz, pois a parede de blocos de concreto revestida com bandejas de isopor e bandejas de papelão apresentou uma redução bastante considerável na variação de temperatura quando comparada com essa parede sem revestimento. A alvenaria de tijolos de solo-cimento com argila expandida quando revestida com esses mesmos tipos de bandejas também apresentou diminuição da variação de temperatura, mas de maneira mais amena. Mediante resultados uniformes e satisfatórios, fica claro que é viável a reutilização desses resíduos como materiais isolantes térmicos na construção civil.

Palavras-chave: sustentabilidade; conforto térmico; bandejas de isopor; bandejas de papelão; reutilização.

ABSTRACT

Nowadays, there is a major worldwide concern about the sustainable development in the civil construction industry, once it's an area that still presents difficulties about incorporating constructive methods that minimize the effects caused to nature. Therefore, it's necessary to search for more solutions, methods and materials that provides successful and environmentally accurate buildings. Fortunately, the reuse of solid waste in construction processes is a kind of positive alternative to sustainable innovation. Therefore, the present research focuses on the reuse of Styrofoam trays and cardboard egg trays as thermal insulating materials for masonry. Considering the potential of these materials in providing thermal comfort for buildings, heat transfer analyses were performed applying them as coating in two types of walls, where one of them is constituted by concrete blocks and the other by soil-cement bricks with expanded clay. The results obtained with this research shows that the use of these trays as a thermal insulation material is useful. It was verified that the concrete block wall clads in styrofoam trays presented a significant reduction in temperature variation when compared to uncoated wall. The masonry of soil-cement bricks with expanded clay when coated with these same types of trays also showed a decrease in temperature variation, but in less significant way. Through uniform and satisfactory results, become evident that it's viable to reuse these residues as thermal insulation materials in construction industry.

Keywords: sustainability, thermal comfort, styrofoam trays, cardboard trays, reuse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Prioridades para a construção sustentável.....	22
Figura 2 - Consumo de EPS no Brasil em 2001.	23
Figura 3 - Laje mista de lajotas e EPS.	26
Figura 4 - Telhas de zinco com EPS.	27
Figura 5 - Painel monolítico de EPS.....	28
Figura 6 - Etapas da confecção de cola artesanal.....	30
Figura 7 - Orifícios vedados com os três tipos de materiais.	30
Figura 8 - Razão da produção entre celulose e papel entre 1970 e 2020.....	31
Figura 9 - Variação da produção dos tipos de papel no Brasil após a covid-19.....	32
Figura 10 - Papeis recicláveis e não recicláveis.	33
Figura 11 - Troca de calor por condução.....	38
Figura 12 - Troca de calor por convecção.	39
Figura 13 - Etapas do processo de construção da parede com núcleo de EPS.	41
Figura 14 - Soprador térmico emitindo calor à parede com EPS.	42
Figura 15 - Temperaturas dos três tipos de paredes medidas com a câmara térmica.	43
Figura 16 - Soprador térmico emitindo calor à parede de blocos de concreto com a face de alumínio da placa de Tetra Pak para o lado interno.	45
Figura 17 - Soprador térmico emitindo calor à parede de blocos de concreto com a face de alumínio da placa de Tetra Pak para o lado externo.	45
Figura 18 - Placa de Tetra Pak fixada na sala dos motoristas da UFAL.	46
Figura 19 - Aplicações de polpa moldada em embalagens.	47
Figura 20 - Diagrama para análises de condutividade térmica dos painéis sanduíche.	49
Figura 21 - Parede de blocos de concreto.....	50
Figura 22 - Parede de solo-cimento com argila expandida revestida com gesso.	51
Figura 23 - Colagem das bandejas de isopor.	52
Figura 24 - Bandejas de isopor coladas umas nas outras.	52
Figura 25 - Placa de bandejas de isopor colada na parede de blocos de concreto. .	53
Figura 26 - Soprador térmico posicionado à 38 cm da parede de blocos de concreto com a placa de bandejas de isopor.	53

Figura 27 - Câmera térmica posicionada a frente da parede de blocos de concreto com a placa de bandejas de isopor.....	54
Figura 28 - Processo de colagem das bandejas de papelão para ovos.....	55
Figura 29 - Placa de bandejas de papelão fixada à parede de blocos de concreto. .	55
Figura 30 - Posicionamento do soprador térmico em relação à parede de blocos de concreto revestida com bandejas de papelão.....	56
Figura 31 - Câmera térmica posicionada a frente da parede de blocos de concreto com revestimento de bandejas de papelão para ovos.	56
Figura 32 - Placa de bandejas de isopor fixadas à parede de solo-cimento.	57
Figura 33 - Posicionamento do soprador térmico em relação à parede de solo-cimento com placa de bandejas de isopor.	58
Figura 34 - Placa de bandejas de papelão fixada à alvenaria de tijolos de solo-cimento	59
Figura 35 - Posicionamento do soprador térmico em relação à parede de tijolos de solo-cimento revestida com bandejas de papelão.	59
Figura 36 - Câmera térmica posicionada a frente da parede de tijolos de solo-cimento revestida com bandejas de papelão.	60
Figura 37 - Captura da temperatura 34,6°C.	64
Figura 38 - Captura da temperatura 34,1°C.	65
Figura 39 - Captura da temperatura 33,9°C.	67
Figura 40 - Captura da temperatura 32,8°C.	69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Desempenho térmico da alvenaria de blocos de concreto.	66
Gráfico 2: Desempenho térmico da alvenaria de tijolos de solo-cimento.	69
Gráfico 3: Síntese do desempenho térmico das paredes revestidas com isopor e papelão.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperaturas capturadas da parede de blocos de concreto sem nenhum revestimento.....	61
Tabela 2 - Temperaturas capturadas da parede de solo-cimento com argila expandida revestida com gesso.	61
Tabela 3 - Temperaturas da parede de blocos de concreto com bandejas de isopor.	63
Tabela 4 - Temperaturas da parede de blocos de concreto com bandejas de papelão.	64
Tabela 5 - Temperaturas da parede de tijolos de solo-cimento com bandejas de isopor.	67
Tabela 6 - Temperaturas da parede de tijolos de solo-cimento com bandejas de papelão.	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BC	Blocos de Concreto
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPS	Poliestireno Expandido
FF	Fenol Formaldeído
IEA	International Energy Agency
NBR	Norma Brasileira
UF	Ureia Formaldeído
XPS	Poliestireno Extrusado

LISTA DE SÍMBOLOS

mm	Milímetro
cm	Centímetro
g	Gramma
mL	Mililitro
MPa	Megapascal
min	Minuto
%	Porcentagem
°C	Grau celsius
°C/min	Grau celsius por minuto
e	Espessura
θ_e	Temperatura da superfície externa
θ_i	Temperatura da superfície interna
T_∞	Temperatura do fluido
T_p	Temperatura da superfície
$\bullet Q$	Fluxo de calor por convecção
®	Marca registrada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos	17
1.1.1	Objetivo geral	17
1.1.2	Objetivos específicos	17
1.2	Justificativa	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	Sustentabilidade na construção civil	20
2.2	Geração de resíduos de isopor	23
2.3	Reciclagem e reaproveitamento do isopor	24
2.4	O isopor na construção civil	25
2.5	Estudos sobre o reaproveitamento de resíduos de isopor na construção civil	28
2.5.1	Produção de tinta acrílica através de resíduos de poliestireno expandido (isopor)	29
2.5.2	Reaproveitamento de materiais não degradáveis no reparo de coberturas: vidro, isopor e embalagens Tetra Pak	29
2.6	Geração de resíduos de papel	31
2.7	Reciclagem e reaproveitamento do papel	33
2.8	Estudos sobre o reaproveitamento de resíduos de papel na construção civil	34
2.8.1	Reaproveitamento de papel para confecção de placas de gesso	35
2.8.2	Reciclagem de resíduo proveniente da produção de papel em cerâmica vermelha	35
2.9	Isolamento térmico e a prevenção de retenção de calor	36
2.9.1	Conforto térmico	37
2.9.2	Formas de transmissão de calor	38
2.9.3	Condutividade e resistência térmica	40
2.9.4	O isopor como isolante térmico na construção civil	41
2.9.5	O papel como isolante térmico na construção civil	44
2.9.6	Polpa moldada: papel utilizado em bandejas para ovos	46
2.9.6.1	Aplicação de bandejas de ovos como isolantes térmicos na construção civil	48

3	METODOLOGIA	50
3.1	Ensaio 1: parede de blocos de concreto revestida com bandejas de isopor.....	51
3.2	Ensaio 2: parede de blocos de concreto revestida com bandejas de papelão para ovos	54
3.3	Ensaio 3: parede de solo-cimento revestida com bandejas de isopor	57
3.4	Ensaio 4: parede de solo-cimento revestida com bandejas de papelão para ovos	58
3.5	Metodologias de avaliação de desempenho térmico das alvenarias	60
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
4.1	Resultados das medições de temperatura da parede de blocos de concreto.....	63
4.2	Resultados das medições de temperatura da parede de solo-cimento	67
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
	REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, é possível notar, no mundo, um aumento do interesse em criar formas de aproveitamento dos resíduos gerados no planeta, de maneira que possam compor novos produtos ou processos de forma sustentável, com boa qualidade e baixo custo.

O elevado consumo de produtos industrializados, tem, como consequência, o crescimento da produção de resíduos sólidos e a amplificação de impactos ambientais. Para minimizar esses efeitos no meio ambiente, se faz cada vez mais necessário a inserção de inovações com padrões de produção e consumo sustentáveis.

As embalagens de isopor, muito utilizadas no acondicionamento de alimentos, estão entre os polímeros que mais poluem o meio ambiente. A utilização de materiais como esse, que são lançados no meio ambiente como lixo, como componente que promova eficácia em produtos ou processos já existentes, é uma das formas mais pertinentes de se colocar em prática a sustentabilidade.

O papel também é um tipo de lixo que está entre os que mais poluem o planeta e é um material que possui bastante versatilidade quando se refere ao seu reaproveitamento. Com isso, sua capacidade de reuso pode ser explorada de formas variadas, trazendo benefícios em diversos aspectos e erradicando os prejuízos que causam ao permanecer no meio ambiente como detrito.

Na construção civil, busca-se introduzir progressivamente maneiras sustentáveis de produção e gerenciamento de obras que proporcionem soluções econômicas e viáveis para os empreendimentos. Esse setor, cada vez mais vem sendo estimulado a estudar e criar tecnologias e inovações que contribuam para o desenvolvimento sustentável.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Determinar como a utilização de bandejas de isopor e caixas de papelão para ovos como revestimento de paredes de alvenaria influenciam no isolamento térmico das mesmas.

1.1.2 Objetivos Específicos

1) Mostrar, através dos resultados obtidos, o que o uso de bandejas de isopor e caixas de ovos de papelão podem proporcionar à construção civil quando utilizadas como materiais para o isolamento térmico de paredes de alvenaria;

2) Averiguar se esses dois materiais usados como de revestimentos de paredes podem tornar-se inovações favoráveis ao desenvolvimento sustentável;

3) Comparar o desempenho térmico das alvenarias revestidas com bandejas de isopor e com caixas de ovos de papelão com o desempenho térmico de outras paredes de alvenaria.

1.2 Justificativa

O que impulsionou a realização desse trabalho foi o interesse em estudar materiais que trouxessem para a construção civil melhorias no que diz respeito ao conforto térmico de maneira que venha a ser uma inovação que contribua para o desenvolvimento sustentável.

Visto que a localidade em que se desenvolveu a pesquisa possui condições climáticas com temperaturas altas na maior parte do ano e no excesso de resíduos que são gerados e lançados no meio ambiente. Foram escolhidos os materiais em evidência para comporem as paredes de vedação, pois apresentam características que podem favorecer um melhor conforto térmico de forma mais econômica e sustentável.

Além de promover conforto térmico às edificações e bem-estar aos seus usuários, e minimizar os efeitos desses resíduos na natureza, também pode

proporcionar uma maior economia devido à redução do uso de climatização artificial que contribui para uma melhor eficiência energética.

Assim, este trabalho consiste na análise comparativa de duas paredes, uma revestida com embalagens de isopor usadas na indústria alimentícia, e outra revestida com bandejas de papel para ovos.

Com isso, busca-se realizar estudos para mostrar a possibilidade desses materiais proporcionarem melhorias no desempenho da alvenaria acerca da sua eficiência de conforto térmico, podendo elevar o padrão de qualidade desse elemento da construção civil e apresentando a viabilidade de sua implementação na indústria da construção civil visando o desenvolvimento sustentável.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo vai mostrar que a construção civil tem um grande potencial de exercer suas funções de forma sustentável, ainda que isso seja pouco explorado nesse setor. Visando o desenvolvimento sustentável, atrelado à necessidade de se oferecer construções que proporcionem conforto térmico aos seus usuários, o presente trabalho busca mostrar possibilidades da redução de acúmulo de resíduos em lixões e aterros sanitários transformando os mesmos em produtos ou tecnologias viáveis para processos construtivos.

2.1 Sustentabilidade na construção civil

Podemos conceituar sustentabilidade como sendo ações que são realizadas com o intuito de atender as necessidades atuais, com a garantia de que essas não prejudiquem o bem-estar das pessoas e o meio ambiente, tanto no tempo presente como no futuro. Então, é preciso assumir que, na construção civil, o desenvolvimento sustentável vem sendo cada vez mais um fator de grande importância. Segundo Corrêa (2009, p.21), "A incorporação de práticas de sustentabilidade na construção é uma tendência crescente no mercado". Certamente, isso ocorre pelo motivo de que essas práticas vêm mostrando resultados eficazes e satisfatórios nesse setor.

Pode-se dizer que a indústria da construção é uma das mais dominantes em todo mundo. Neste contexto, para Jalali e Torgal (2010) fica claro que esse setor predomina quando se refere ao consumo de matérias primas. O mais preocupante, contudo, é constatar que isso torna essa indústria altamente insustentável.

Conforme explicado acima é interessante afirmar que a construção civil tem um grande potencial para causar impactos ambientais. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2023) estima-se que, dos resíduos sólidos gerados pela ação humana, 50% são oriundos da construção. Mas um fato que se sobrepõe a isso é o de que esse setor é fundamental para alcançar o que se deseja em relação ao desenvolvimento sustentável. É sinal de que há, enfim, caminhos a serem seguidos e desafios a serem enfrentados para minimizar os efeitos causados por essa indústria.

Segundo Agopyan e John (2011), nas últimas décadas, a prática de desenvolvimento sustentável na construção civil tem sido um fator que vem se

consolidando pouco a pouco no Brasil. O autor deixa claro que, durante esse período, a criação de tecnologias, normas e programas governamentais contribuíram de forma pertinente para a redução dos impactos provocados pelas construções. Tais iniciativas são de suma importância para se preservar a sustentabilidade no país. Mas, é nítido que ainda existem níveis nesse aspecto que precisam ser mais explorados, como, por exemplo os níveis social e ambiental, de modo simultâneo. Assim, reveste-se de particular importância o desenvolvimento progressivo de novos estudos e inovações que ajudem a preencher as lacunas que existem e a potencializar os recursos já implantados ao sistema.

Ainda segundo o autor, a inserção de sustentabilidade no meio das construções é um fator que tende a aumentar gradativamente. A justificativa do autor segue na linha de que isso provém de estímulos vindos do próprio governo, de associações, de quem consome e de quem investe. Concomitante com isso, "para tanto, o setor da construção precisa se engajar cada vez mais. As empresas devem mudar sua forma de produzir e gerir suas obras" (Corrêa, 2009, p. 21). E isso é um fato, pois como já explicado, a incorporação e preservação de inovações sustentáveis na forma de construir as edificações aprimora e instiga cada vez mais essa indústria a tornar esse padrão de construção o novo padrão convencional, fazendo com que o desenvolvimento sustentável alcance níveis ainda não alcançados.

Conforme explicado acima, não restam dúvidas de que a construção civil é um forte mecanismo que proporciona diversas possibilidades de se aplicar o conceito de sustentabilidade não só no quesito ambiental como também nos quesitos social e econômico. Diante do exposto, então, é notório que se faz necessário a consideração de pontos importantes para que as inovações desse setor tornem as construções sustentáveis na prática. A Figura 1, por exemplo, apresenta alguns pontos relevantes para que uma construção seja considerada sustentável.

Figura 1: Prioridades para a construção sustentável.



Fonte: Jalali e Torgal (2010)

Esse processo é influenciado por normas técnicas, códigos de obra e planos diretores e ainda políticas públicas mais amplas, incluindo as fiscais. Todas essas etapas envolvem recursos ambientais, econômicos e têm impactos sociais que atingem a todos os cidadãos, empresas e órgãos governamentais, e não apenas aos seus usuários diretos. O aumento da sustentabilidade do setor depende de soluções em todos os níveis, articuladas dentro de uma visão sistêmica (AGOPYAN E JOHN, 2011).

Na citação acima o autor deixa claro que, dentro da concepção de construção sustentável, existe uma abrangência que vai além do viés ambiental. Confirma que, de fato, a engenharia civil é uma área que necessita de inovações em suas obras que consigam atingir o meio ambiente, o meio social e econômico, para que o conceito de sustentabilidade esteja ainda mais presente e em constante crescimento nesse setor.

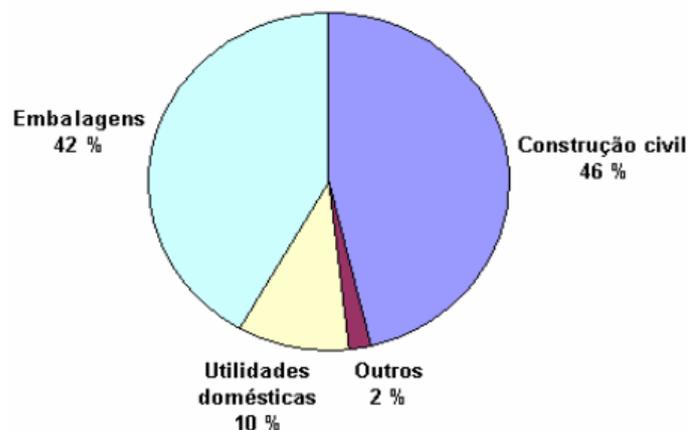
Sendo assim, fica evidente que a indústria da construção, com o passar do tempo, vem sendo cada vez mais explorada como um grande recurso que contribui para o desenvolvimento sustentável. Dessa forma, esse setor encontra-se em uma contínua busca de soluções para corrigir e erradicar os efeitos que são gerados, devido ao seu alto poder de provocar impactos ambientais. Mas, espera-se que o quesito sustentabilidade cresça nessa área, tanto pelo lado ambiental como também visando o meio social e econômico.

2.2 Geração de resíduos de isopor

O EPS – poliestireno expandido, conhecido popularmente no Brasil como Isopor (marca comercial registrada da Knauf Isopor LTDA), é um dos materiais de grande consumo no Brasil e no mundo. Isso acontece porque o Isopor é um material que possui uma alta versatilidade e aplicabilidade. De acordo com Monteiro et al. (2011, p. 17) “a escolha do tipo de matéria-prima e a regulação do processo de fabricação permitem a obtenção de variados tipos de isopor, com diversas densidades, cujas características se adaptam às aplicações do produto final”. Dessa forma, o Isopor pode ser aplicado em diversas áreas, como na produção de embalagens, construção civil, etc.

A geração de resíduos desse tipo de material está intrinsecamente ligada à sua demanda de consumo. Conforme dados da Plastivida (2010), a produção de EPS no Brasil foi de aproximadamente 62,9 mil toneladas no ano de 2008 juntamente com a produção de quase 20 mil toneladas de Poliestireno Extrusado (XPS), o que equivale a cerca de 82,9 mil toneladas de isopor. A Figura 2 mostra a distribuição do consumo de EPS no Brasil no ano de 2001:

Figura 2: Consumo de EPS no Brasil em 2001.



Fonte: Tessari (2006)

Observa-se que a maior parte da produção de Isopor é destinada aos setores da construção civil e embalagens. “Os polímeros em geral têm atraído a atenção por serem materiais descartáveis e de grande emprego, principalmente nas indústrias de embalagens, caracterizando-se assim como um dos grandes poluidores” (Tessari, 2006, p. 25).

Pelo supracitado, fica evidente que se faz necessário uma atenção maior ao gerenciamento e reciclagem dos resíduos gerados pelo alto consumo de Isopor nesses setores, bem como o desenvolvimento de tecnologias de pós consumo desse material, uma vez que estes podem causar prejuízos ao meio ambiente.

2.3 Reciclagem e reaproveitamento do isopor

Junto com a alta utilização do isopor em suas variadas áreas, vem também o aumento da geração de resíduos desse material. Dessa forma, para que se minimizem os efeitos de resíduos de EPS no meio ambiente, é válido que se intensifiquem suas formas de reciclagem e se busquem novas tecnologias de reaproveitamento pós consumo que podem trazer resultados positivos não só para o meio ambiente, mas também para a sociedade. Segundo a Knauf (2023, p. 1) “o material, com o nome técnico de poliestireno expandido, ou EPS, é 98% composto de ar, e apenas 2% de matéria-prima à base de petróleo. Uma solução sustentável, 100% reciclável e que, hoje em dia, já é reutilizada de diversas formas no mundo todo”.

Visando isso, a reciclagem e o reaproveitamento do isopor são de extrema importância, pois, conforme Tessari (2006), as características do EPS tornam este um material inerte quimicamente; isto quer dizer que o isopor não é biodegradável e não se degrada na natureza.

Isso se torna um fator preocupante visto que, se não houver um impulsionamento da reciclagem e reaproveitamento desses resíduos, pode gerar problemas nos lixões e aterros sanitários, pois é um material de baixa densidade que ocupa bastante espaço.

Segundo Tessari (2006), algumas das formas de reciclagem de isopor são: os despejos desse material podem ser processados e incorporados na moldagem de novas peças; podem agir no melhoramento do solo ao ser utilizados como substrato; podem ser usados para drenagens; podem ser empregados na geração de energia elétrica; etc.

Com todas essas possibilidades, fica ainda mais evidente o quanto o isopor é um material versátil e com características que apresentam um grande potencial para a criação de novas formas de reciclagem e reaproveitamento, trazendo não só

melhorias para a natureza, mas também promovendo o desenvolvimento sustentável e agregando valor para um estilo de vida mais saudável.

Segundo Melo (2009) a reciclagem dos polímeros está classificada em quatro categorias:

- primária ou pré-consumo: é a conversão dos resíduos poliméricos que são gerados nas fábricas em produtos com características semelhantes aos produzidos com polímeros virgens;
- secundária: os resíduos poliméricos advindos dos resíduos sólidos urbanos são transformados em produtos que não exijam características tão semelhantes ao polímero virgem;
- terciária ou química: nessa categoria os resíduos poliméricos são convertidos em combustível e produtos químicos através de processos termoquímicos;
- quaternária ou energética: através da incineração controlada são realizados processos de recuperação energética dos resíduos poliméricos.

O reaproveitamento do EPS pode ser feito para melhoramento do solo, onde este pode ser utilizado para fazer drenagens de águas pluviais em campos de futebol; junto com a argila facilita a penetração da água no solo e leva adubo para raízes de plantas; na construção civil, o EPS pode ser moído e utilizado da produção de concreto leve, que pode ser usado para regularização de lajes, em calçadas, quadra esportivas, painéis de vedação etc. (TESSARI,2006).

Tendo em vista o crescimento do esgotamento de recursos naturais no Brasil e no mundo, é notório que o reaproveitamento e reciclagem dos resíduos de EPS é uma das alternativas eficazes para que se minimize a exploração das matérias-primas necessárias para a sua produção, além de evitar que o descarte de tais rejeitos produzam ainda mais impactos ambientais.

2.4 O isopor na construção civil

Ainda que no Brasil o sistema construtivo mais utilizado seja o convencional, de concreto e alvenaria, é notório que o EPS vem ganhando espaço na construção civil. De acordo com Pereira (2021, p. 1) “trata-se de um bom isolante térmico e acústico, oferecendo mais conforto ao ambiente, baixa absorção de água, diminuindo

a incidência de mofo, e 100% reciclável”. Por possuir essas propriedades, o EPS é um material que vem cada vez mais sendo incluso nos processos construtivos.

Na construção civil, o EPS já está presente em alguns elementos construtivos. Pereira (2021) também elenca algumas de suas aplicações já consolidadas no mercado:

- EPS em lajes

É utilizado em lajes mistas onde se coloca treliças espaçadas. Esses espaços são preenchidos com isopor. Posteriormente, a parte superior é fechada com tela metálica e em seguida concretada. Nesse caso, o EPS tem as funções de reduzir o consumo de concreto e armadura, tornando a estrutura mais leve e de proporcionar o isolamento térmico e acústico. Este uso pode ser observado na Figura 3.

Figura 3: Laje mista de lajotas e EPS.

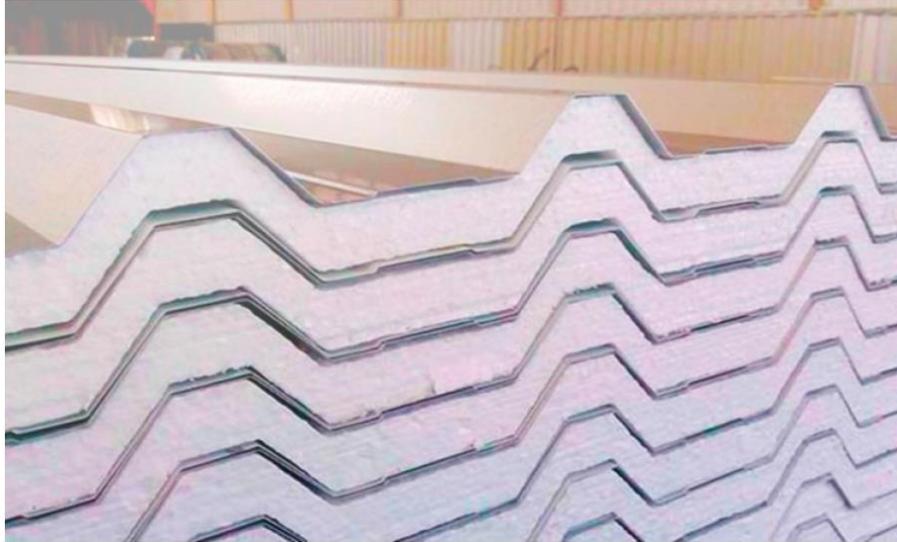


Fonte: Pereira (2021)

- EPS em telhas

Nas telhas, o isopor pode ser usado entre duas camadas de telhas de zinco. O EPS utilizado dessa forma permite que essa telha proporcione conforto térmico à edificação, fazendo com que os custos de energia elétrica sejam reduzidos. Também é eficaz contra infiltrações, desgastes e mofo, pois o EPS é um material que tem baixa absorção de água. Elas podem ser observadas na Figura 4.

Figura 4: Telhas de zinco com EPS.



Fonte: Pereira (2021)

- EPS como elemento estrutural

Apesar de ser um material leve, quando se trata de resistência mecânica, o EPS apresenta resultados favoráveis às estruturas. Uma das formas de usar o EPS em estruturas é a partir do painel monolítico, que é uma placa de isopor pré-fabricada com armadura em tela nos dois lados, que pode ser posicionado na obra, chapiscada e rebocada.

Esse sistema construtivo é bastante ágil e permite que as fundações possam ser mais simples e econômicas. Por se tratar de paredes estruturais, a utilização de vigas e pilares também é descartada.

Para fazer aberturas de portas e janelas, uma serra e alicate é o suficiente. Para posicionar as instalações elétricas e hidráulicas, utiliza-se um soprador térmico para derreter o isopor no local onde vão estar as mesmas e sem grande geração de resíduos. O sistema pode ser observado na Figura 5.

Figura 5: Painel monolítico de EPS.



Fonte: Pereira (2021)

2.5 Estudos sobre o reaproveitamento de resíduos de isopor na construção civil

Nos dias atuais é certo afirmar que o crescimento populacional e o desenvolvimento social trazem algumas problemáticas relacionadas ao desenvolvimento sustentável. Uma dessas problemáticas é o consumo desenfreado de matéria-prima, que provoca o descarte inadequado de resíduos no ambiente, prejudicando a sociedade como um todo. “Infelizmente um dos setores que mais produzem resíduos sólidos é o da construção civil, com desperdícios e descartes inadequados das sobras de materiais tais como: madeira, vidro, metais, cerâmicas e isopor” (SILVA E CARRIJO, 2018, p. 2).

Com essa problemática, é de grande importância que, no setor da construção civil se intensifiquem cada vez mais as buscas por soluções e métodos que sejam favoráveis à diminuição desses resíduos, descartados de forma imprópria. A seguir são apresentados alguns estudos realizados onde se faz o reaproveitamento de resíduos de isopor.

2.5.1 Produção de tinta acrílica através da reciclagem de resíduos de EPS

Esse estudo tem como objetivo a transformação de dois tipos de resíduos em um novo produto com a finalidade de retirar os seus excessos do meio ambiente e estimular a sociedade nos processos de reciclagem e sustentabilidade.

Segundo as autoras, Silva e Carrijo (2018), tal pesquisa se deu a partir da extração do óleo de cascas de laranjas. Foi realizada a limpeza das cascas, trituradas e levadas para o processo de desidratação. Ao final desse procedimento, pode-se obter um resíduo chamado de pectina. De acordo com Canteri et al. (2012, p. 1), a pectina é um “polímero, do grupo das fibras dietéticas, é amplamente utilizado como geleificante e estabilizante na indústria de alimentos”.

O isopor que seria descartado no ambiente é triturado e diluído no óleo feito com as cascas de laranjas. Com isso, obtém-se uma resina semelhante à que é usada na composição de tintas. Após acrescentar-se o dióxido de titânio, que é a substância que dá a pigmentação, tem-se como resultado uma tinta na cor branca com alta aderência.

Nesse estudo, as autoras afirmam que esse novo produto é capaz de proteger superfícies contra a poluição gerada por gás carbônico, além de se mostrar bastante eficaz quando usado em superfícies de madeira.

2.5.2 Reaproveitamento de materiais não degradáveis no reparo de coberturas: vidro, isopor e embalagens Tetra Pak

Fazendo o uso de garrafas long neck, embalagens de isopor e tetra pak desenvolveu-se o estudo em que esses materiais puderam ser reaproveitados na produção de uma cola para superfícies. De acordo com Cocco et al. (2011), as garrafas de vidro foram quebradas e trituradas até tornarem-se pó e as embalagens de isopor também passaram pelo processo de trituração. Misturou-se o vidro em pó e o isopor triturado à 30 mL de gasolina, para se obter a cola artesanal sustentável. A figura 6 mostra as etapas descritas acima.

Figura 6: Etapas da confecção de cola artesanal.



Fonte: Cocco (2011)

Fazendo a vedação de orifícios em uma telha de amianto com embalagem Tetra Pak juntamente com a cola artesanal, com a cola industrial Durepoxi e com a Fita Multiuso Auto-Adesiva (Figura 7). Cocco et al. (2011) pôde observar que a cola artesanal levou 36 horas para secagem, enquanto a Durepoxi durou 4 horas e a Fita Multiuso Auto-Adesiva colou instantaneamente.

Figura 7: Orifícios vedados com os três tipos de materiais.



Fonte: Cocco (2011)

Para o teste de absorção de água, a telha de amianto com os três tipos de cola foi imersa em água durante um período de 48 horas e, após isso, comprovou-se que os três tipos de cola permaneceram em perfeito estado. Outro teste foi feito somente com a cola artesanal, onde uma amostra foi colocada em um recipiente fechado e outra em um recipiente aberto e lá permaneceram por 10 dias. A amostra que ficou no recipiente fechado manteve as características originais da cola, enquanto a que ficou no recipiente aberto secou após 36 horas.

Diante disso, nota-se que o isopor é um material que apresenta atributos satisfatórios mesmo após o seu uso primário. A sua reciclagem e reutilização, além de ser um ato de cuidado com a natureza, se tornam atividades que beneficiam a economia. Porém, infelizmente, a prática do reuso desse tipo de resíduo ainda é pouco

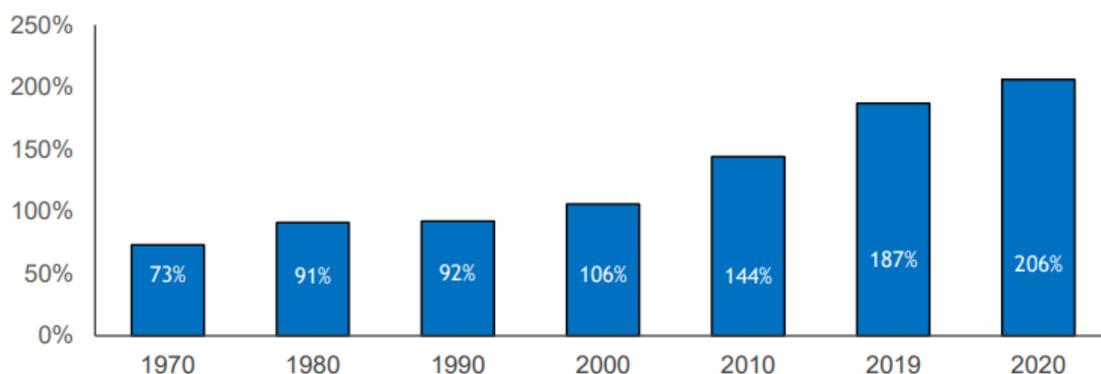
explorada e estudada e, por causa do aumento da sua produção, é preciso que se tenha uma atenção maior a isso.

2.6 Geração de resíduos de papel

Sabe-se que o papel é um produto milenar e que o avanço tecnológico em sua produção possibilitou o aumento do seu consumo com o passar do tempo. “O papel começou a ser produzido em larga escala, os custos foram reduzidos e finalmente se tornou acessível a todos. Hoje em dia, uma folha de papel é tão barata que a maioria das pessoas é capaz de amassá-la e jogá-la no lixo sem nenhuma piedade” (EASTJAM, 2020). Por se tornar um item que faz parte do dia a dia da maioria das pessoas, a geração de resíduos desse tipo é uma das mais altas do planeta.

O Brasil é um dos países que mais produz papel no mundo e de acordo com uma publicação realizada em 2021 pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética) e pela IEA (International Energy Agency), de 1970 até 2020, essa indústria vem apresentando crescimento ano a ano. A Figura 8 mostra o gráfico da razão da produção entre celulose e papel durante esse período.

Figura 8: Razão da produção entre celulose e papel entre 1970 e 2020.



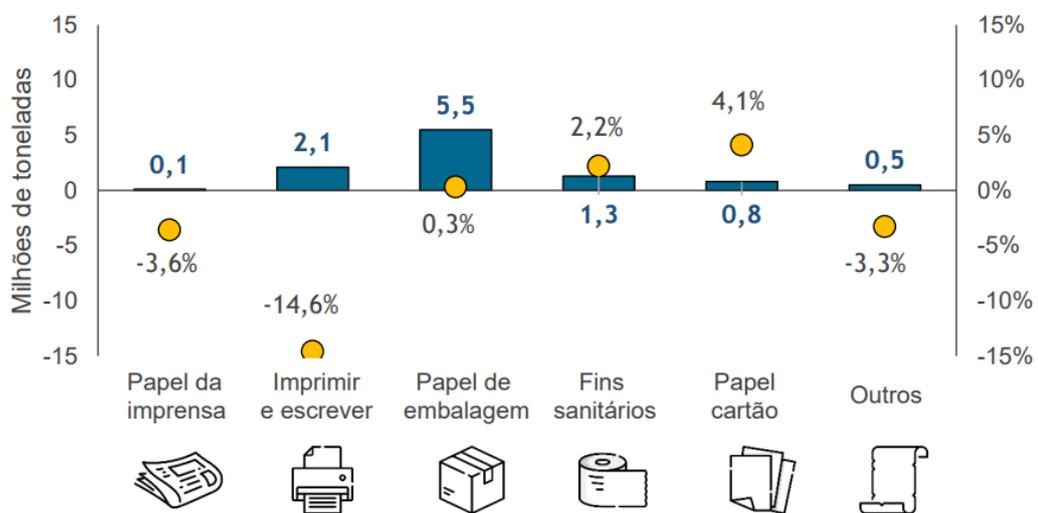
Fonte: EPE e IEA (2021)

A partir disso, fica evidente que, durante esse período, atrelado a esse desenvolvimento na produção, está a crescente geração de resíduos, visto que esse material produz rejeitos desde o seu processo de fabricação até o seu pós-uso.

Segundo a EPE e a IEA (2021), com o advento da Covid-19 no ano de 2020, houve uma redução da produção de papel no Brasil. Isso se deu pelo fato de que as

escolas e universidades tiveram que exercer suas atividades no modo remoto e muitas empresas tiveram que funcionar de forma virtual. Conseqüentemente, o uso de papel para escrever e imprimir reduziu bastante, acarretando, assim, na diminuição da sua produção. Por outro lado, houve um aumento na produção do papel-cartão e papel para embalagem devido ao alto consumo de alimentos e produtos de higiene pessoal que chegavam aos seus consumidores através de entregas em domicílio. A Figura 9 mostra essa variação da produção dos tipos de papel.

Figura 9: Variação da produção dos tipos de papel no Brasil após a covid-19.



Fonte: EPE E IEA (2021)

Em relação ao consumo, segundo Libano et al. (2011), no Brasil, o consumo de papel chega a atingir sete milhões de toneladas por ano, fazendo com que fique em segundo lugar no ranking dos países com maior volume de resíduos produzidos.

Conforme o que foi explicado acima, como o papel se tornou um material muito útil e requisitado em diversos setores na vida das pessoas, fica claro que o seu uso demasiado traz preocupações quando se olha para as questões ambientais e para o desenvolvimento sustentável. Com isso, vale salientar que o esforço para a minimização da sua demanda e o desenvolvimento de novas tecnologias de reciclagem desse material são ações que ajudam a reduzir os efeitos desses resíduos na sociedade e na natureza.

2.7 Reciclagem e reaproveitamento do papel

Para minimizar os efeitos da poluição do meio ambiente, a reciclagem e o reaproveitamento de resíduos são as maneiras que têm sido adotadas para que haja a diminuição de desperdícios. Dessa forma, lixo que seria descartado e levado para lixões ou aterros sanitários é coletado, reprocessado e até transformado em novos produtos para serem comercializados. Isso faz com que haja uma redução do consumo de energia e matéria-prima gerando economia.

Sabe-se que o papel é um material que é recolhido em grandes quantidades das lixeiras das ruas, escolas e ambientes de trabalho. Segundo Sousa et al. (2016, p. 2), “o papel usado é um material com grande possibilidade de reaproveitamento. Reciclando-o, pode-se diminuir o volume de resíduos ocasionado pelo uso desmedido e ainda poupar árvores, pois a celulose é a matéria-prima para sua fabricação”. Portanto, é de grande importância que se intensifiquem cada vez mais os processos e métodos de reciclagem e reaproveitamento desse tipo de material.

São vários os tipos de papel onde alguns deles podem ser reciclados e outros não. A Figura 10 apresenta quais tipos podem ou não ter essa finalidade.

Figura 10: Papéis recicláveis e não recicláveis.

PODE RECICLAR	NÃO PODE RECICLAR
Caixas de papelão Jornal Revistas Impressos em geral Fotocópias Rascunhos Envelopes Papéis timbrados Cartões Papel de fax	Papéis sanitários Papéis plastificados Papéis metalizados Papéis parafinados Copos descartáveis de papel Papel carbono Fotografias Fitas adesivas Etiquetas adesivas Papel vegetal

Fonte: Sousa (2016)

A reciclagem é um tipo de reaproveitamento, pois o papel que não tem mais serventia e é jogado no lixo passa a ser utilizado na produção de papel reciclado. De acordo com Sousa et al. (2016), as etapas de reciclagem do papel são:

- 1) Os fardos de aparas de papel são inspecionados pelo controle de qualidade e depois vão para o hidrapulper para as aparas serem trituradas junto com água industrial para formar uma pasta;

- 2) Retirada do plástico através do turbo tiraplástico;
- 3) Retirada de impurezas como areia, grampos etc.;
- 4) Adição de sulfato de alumínio, amido de mandioca, fibras virgens etc.;
- 5) Entrada da máquina de papel;
- 6) Retirada do excesso de umidade;
- 7) Prensa de ajuste de gramatura do papel;
- 8) Secagem;
- 9) Formação do rolo de papel através da enroladeira;
- 10) Rebobinação de acordo com formato da bobina;
- 11) Controle de qualidade;
- 12) A bobina de papel vai para o estoque, podendo ser comercializada ou pode transformadas em chapas de papelão para a produção de caixas.

Ainda assim, é de grande importância e necessidade que novas formas de reaproveitamento desses resíduos sejam adotadas para que a produção de papel e o seu consumo não tragam consequências desfavoráveis ao desenvolvimento sustentável. No próximo tópico serão apresentados como exemplos alguns estudos onde são reaproveitados resíduos de papel.

2.8 Estudos sobre o reaproveitamento de resíduos de papel na construção civil

A construção civil ainda é um setor responsável por muitos desperdícios, o uso inadequado de materiais e a falta de planejamento são fatores que provocam uma grande geração de resíduos nas obras. Logo, a busca por soluções sustentáveis e produções eco eficientes nessa indústria tem sido bastante necessária. Em conformidade com Calixto et al. (2016, p. 2290), “a forma mais eficiente para a indústria da construção se tornar uma atividade sustentável deve passar pela incorporação de resíduos de outras indústrias em materiais de construção”. Sendo assim, o papel é um material com forte potencial de se integrar em processos construtivos.

2.8.1 Reaproveitamento de papel para confecção de placas de gesso

Para essa pesquisa, os autores Calixto et al. (2016) usaram gesso para construção civil, papel ofício A4 75 g descartado e água. As folhas de papel foram picotadas e depois imersas em água por um período de 24h. Em seguida, os retalhos de papel foram dissolvidos em um triturador com uma umidade de 30% até formar uma pasta homogênea. Foram adicionados à pasta de gesso 10% e 50% da pasta feita com papel. Após a preparação da mistura foram feitos os corpos de prova para ensaio de resistência a compressão onde sua ruptura ocorreu após cura de sete dias em equipamento para ensaio mecânico. Outros corpos de prova foram feitos para determinação do tempo de pega.

Feitas as análises do tempo de pega, resistência a compressão e a tração, os autores chegaram à conclusão que a primeira amostra usando 10% da pasta de papel apresentou melhores resultados em relação à amostra com 50%, onde a primeira teve início de pega em 10 minutos, já a segunda amostra teve uma redução de 4 minutos no tempo de início de pega. Para os ensaios de resistência a compressão e a tração a amostra de 10% também apresentou melhores resultados, alcançando 2,64 MPa de resistência a compressão e 0,74 MPa de resistência a tração. Os autores afirmam que esses valores estão abaixo do limite estabelecido por norma. Por mais que a pesquisa mostre que o papel incorporado ao gesso é algo viável, também mostra que o papel ofício não é adequado para o fim desejado na pesquisa e sugerem o uso de outros tipos de papel em estudos futuros, como por exemplo papelões e jornais.

2.8.2 Reciclagem de resíduo proveniente da produção de papel em cerâmica vermelha

Sabe-se que, já na fase de produção do papel inicia-se a geração de resíduos e que todas as alternativas de reaproveitamento são válidas para a redução dos impactos ambientais que eles causam. Segundo Pinheiro et al. (2008, p. 220), “na fabricação de papel, ocorre a geração de um resíduo em forma líquida com alto teor de sólidos em suspensão. Esse líquido é submetido a um tratamento primário e desaguamento, gerando assim uma forma sólida, denominado lodo primário”. Esse

estudo se deu através da incorporação desse resíduo de papel à massa cerâmica vermelha, que é utilizada na fabricação de blocos de vedação, tijolos etc.

Os autores explicam que a pesquisa foi realizada misturando-se o lodo originado no decantador primário de uma fábrica de papel reciclado à massa argilosa caulínica que é utilizada na fabricação de cerâmica vermelha. Foram feitas quatro amostras com os percentuais de 0%, 3%, 5% e 10% do resíduo adicionado à massa cerâmica. Após isso, os corpos de prova foram inicialmente para secagem em estufa a 110°C e em seguida realizou-se a queima em forno de laboratório a temperatura de 750°C.

Após as análises da retração linear de queima, da absorção de água e da tensão de ruptura a flexão em três pontos, Pinheiro et al. (2008) chegaram à conclusão de que a incorporação do resíduo de papel acima de 3% ocasiona aumento de porosidade à cerâmica, fazendo com que sua resistência mecânica sofra redução e a absorção de água aumente. Com isso, a pesquisa mostra que é tecnicamente viável a integração do resíduo de papel à massa cerâmica desde que essa quantidade de resíduo seja em torno de 3%.

2.9 Isolamento térmico e a prevenção de retenção de calor

Quando se procura estudar uma alternativa para aumentar o conforto dos moradores de uma residência em relação à temperatura e ao ambiente, a primeira abordagem geralmente envolve encontrar maneiras de resfriar o espaço. No entanto, antes de aplicar técnicas de resfriamento, é essencial estudar e implementar outras estratégias para prevenir o acúmulo de calor causado pela radiação solar, a fim de alcançar a neutralidade térmica e, conseqüentemente, o equilíbrio térmico.

Como elencado por Frota e Schiffer (2001), o conforto térmico do ser humano é alcançado quando ele é capaz de perder calor para o ambiente em que se encontra sem precisar recorrer a nenhum mecanismo de regulação da temperatura corporal. Ou seja, quando a quantidade de calor gerada pelo seu metabolismo é igual àquela dissipada durante suas atividades.

Por sua vez, segundo Lamberts (2016), embora a neutralidade térmica seja um fator necessário, ela não é suficiente para garantir o conforto térmico de um indivíduo. Isso significa que, mesmo que uma pessoa esteja exposta a um campo de radiação

assimétrico ou a temperaturas extremas e opostas, ela ainda possa estar em neutralidade térmica, mas isso não garante que ela esteja se sentindo confortável nessa situação.

Portanto, tendo em vista tais afirmações supracitadas, pode-se afirmar que a neutralidade térmica está intimamente relacionada à interação térmica entre o corpo humano e o ambiente em que ele se encontra.

Por esse motivo, em locais onde a temperatura média é elevada, a prevenção do acúmulo de calor no interior de compartimentos e residências é fundamental para manter o equilíbrio térmico e, conseqüentemente, garantir o conforto dos indivíduos que habitam esses espaços.

2.9.1 Conforto térmico

O conforto térmico é um conceito que é determinado por outras seis variáveis, sendo elas:

- 1) a temperatura do ar;
- 2) a umidade do ar;
- 3) a velocidade do ar;
- 4) temperatura radiante;
- 5) taxa metabólica;
- 6) nível de vestimenta.

Dentre estas variáveis expostas, percebe-se que as quatro primeiras são fatores externos que são controlados e comandados por condições climáticas. Em contrapartida, as duas últimas possuem um caráter individual, se constituindo com uma especificidade de cada indivíduo, onde dentro dessas duas, a última ainda pode ser controlada pela própria vontade do indivíduo (ASHRAE, 2010).

Nesse contexto, é necessário considerar esses seis fatores juntos para alcançar a satisfação psicofisiológica do indivíduo em relação ao ambiente térmico ao seu redor e, assim, atingir a neutralidade térmica. Isso significa que o corpo humano se sente confortável termicamente a ponto de não precisar usar mecanismos de termorregulação para alcançar essa satisfação. (ASHRAE, 2010).

Para Lamberts (2016), a análise do conforto térmico é algo subjetivo, pois é preciso considerar aspectos psicológicos, fisiológicos e físicos que variam de pessoa

para pessoa. Para estudar o conforto térmico, é necessário levar em conta três fatores: a satisfação do indivíduo em se sentir confortável em relação à temperatura, a produtividade intelectual e física, e a conservação de energia em ambientes climatizados artificialmente.

De acordo com Frota e Schiffer (2001), entre os efeitos do clima, a radiação solar que incide sobre os edifícios representa um ganho de calor, que pode ser maior ou menor dependendo da intensidade da radiação e das propriedades térmicas dos materiais utilizados nos revestimentos desses edifícios.

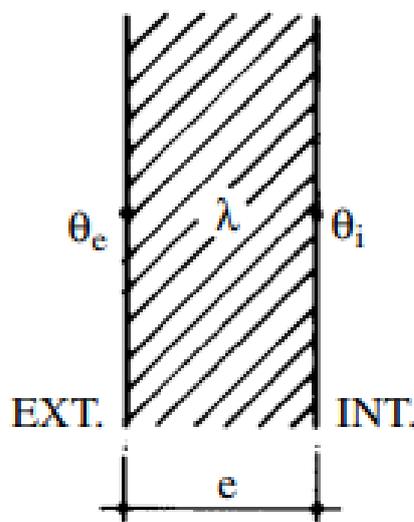
2.9.2 Formas de transmissão de calor

Existem três formas de transmissão, sendo elas: a condução, a convecção e a irradiação.

a) Condução:

A condução de calor ocorre quando as moléculas de um material transmitem energia térmica umas às outras, de forma direta, seguindo sempre do ponto de maior temperatura para o de menor temperatura. Esse processo se dá por meio da transferência de energia molécula a molécula através do meio material em questão (RODRIGUES, 2003). A Figura 11 ilustra a troca de calor por condução.

Figura 11: Troca de calor por condução.



Fonte: Frota e Schiffer (2001)

Onde:

e – espessura da parede;

θ_e – temperatura da superfície externa da envolvente;

θ_i – temperatura da superfície interna da envolvente;

λ – coeficiente de condutibilidade térmica do material.

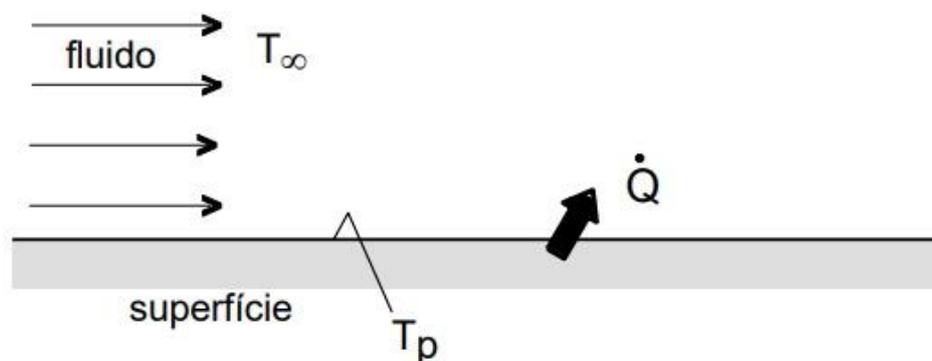
De acordo com Martini (2016), a condução térmica é um processo que ocorre em partículas nos estados sólido, líquido e gasoso. Na física, é possível distinguir os materiais pela sua capacidade de conduzir calor, medida pela condutividade térmica. Os bons condutores são aqueles que possuem alta condutividade, permitindo uma transferência mais rápida de calor, enquanto os maus condutores possuem baixa condutividade, tornando a transferência de calor mais lenta.

b) Convecção:

A convecção ocorre quando há transferência de calor entre um corpo sólido e um fluido em movimento, podendo ser classificada em convecção natural ou forçada.

De acordo com Neto (2010), a convecção forçada ocorre quando há uma movimentação artificial do fluido (por exemplo, usando um ventilador, um abanador ou a própria superfície de troca de calor em movimento), enquanto a convecção natural ocorre quando a movimentação do fluido é causada pelo próprio aquecimento do fluido. A figura abaixo apresenta a ilustração da troca de calor por convecção.

Figura 12: Troca de calor por convecção.



Fonte: Neto (2010)

Onde:

T^{∞} – temperatura do fluido;

T_p – temperatura da superfície;

• Q – fluxo de calor por convecção.

c) Radiação:

Martini (2016) explica que a transferência de calor por radiação ocorre quando a energia é transmitida por meio de ondas eletromagnéticas, sem a necessidade de um meio material para ocorrer. Esse processo pode ocorrer em qualquer meio, incluindo o vácuo.

Segundo Rodrigues (2003), existem duas teorias utilizadas para explicar os processos de transferência de calor na ausência de um meio material para propagação: a primeira considera que a transmissão de calor por radiação possui natureza ondulatória, ocorrendo através de ondas eletromagnéticas; a segunda teoria considera que a transmissão é feita por meio de partículas, os fótons, ou seja, tem natureza corpuscular. Atualmente, é amplamente aceito no meio científico a dualidade da natureza da luz, podendo ser considerada tanto como radiação eletromagnética quanto como fótons (RODRIGUES, 2003).

2.9.3 Condutividade e resistência térmica

A condutividade térmica é uma medida da capacidade de um material de transferir calor por unidade de área e espessura. Ela representa a taxa de transferência de calor específica para diferentes materiais durante o processo de difusão de energia (INCROPERA, 2008; KAPUNO; RATHORE, 2011).

E conforme a NBR 15220 (ABNT, 2005) a resistência total de um elemento é definida como a soma das resistências térmicas correspondentes às camadas do elemento, levando em consideração as resistências superficiais internas e externas.

Já a resistência térmica, por sua vez, segundo a NBR 15220-1 (ABNT, 2005) é dada pelo somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa.

2.9.4 O isopor como isolante térmico na construção civil

O isopor é frequentemente utilizado como isolante térmico na construção civil devido às suas propriedades de baixa condutividade térmica, leveza, durabilidade e resistência a umidade e ação de pragas. Pode ser utilizado como isolante térmico em diversas aplicações, tais como em lajes, paredes, coberturas, pisos e fachadas. Ele pode ser aplicado na forma de placas, blocos ou esferas, dependendo da finalidade de uso e do tipo de construção.

Um estudo realizado por Vieira (2021) no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal de Alagoas – UFAL Campus Sertão, mostra uma análise comparativa térmica entre uma parede de concreto com núcleo de EPS, outra feita com blocos de concreto e uma terceira construída com blocos de solo cimento com adição de argila expandida. A autora construiu a parede usando telas feitas de aço CA-50 amarradas com arame recozido e entre as telas foi colocada uma placa de EPS de 0,07 m de espessura e, após o posicionamento da fôrma de madeira, fez-se a concretagem.

A cura do concreto foi realizada em sete dias consecutivos molhando-o com água duas vezes ao dia. A Figura 13 mostra as etapas do processo de construção da parede.

Figura 13: Etapas do processo de construção da parede com núcleo de EPS.



Fonte: Vieira (2021)

As paredes de blocos de concreto e de solo cimento com areia expandida são paredes que já tinham sido confeccionadas para outros estudos no Laboratório de Materiais da UFAL Campus do Sertão.

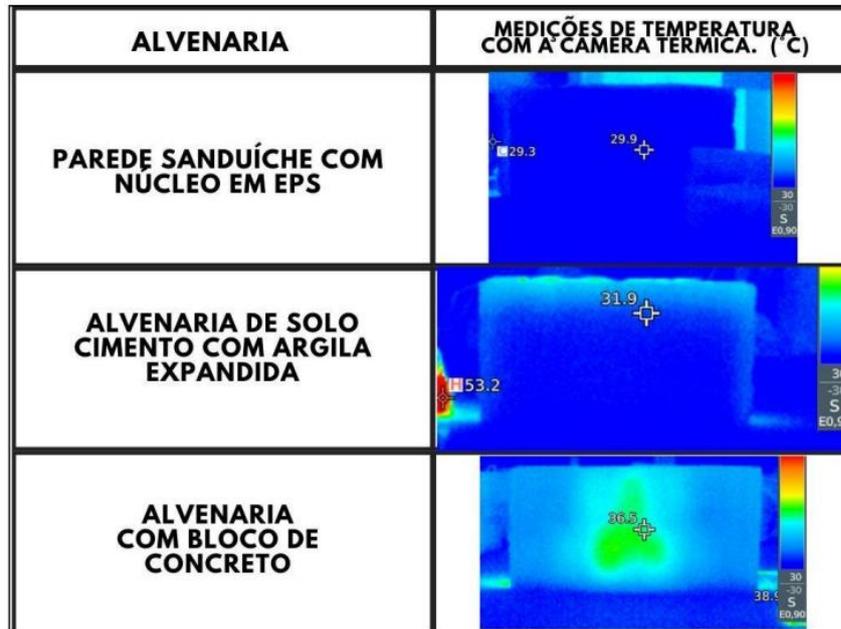
Para a avaliação do desempenho térmico de cada uma das paredes, segundo Vieira (2021, p. 50) “foi utilizada uma câmara térmica localizada com afastamento de 1,50 m de cada parede, e, um soprador térmico com emissão de calor constante que foi posicionado a uma distância de 40 cm de cada uma delas como fonte de calor”. As imagens 14 e 15 mostram esse procedimento e as medições de temperatura das alvenarias.

Figura 14: Soprador térmico emitindo calor à parede com EPS.



Fonte: Vieira (2021)

Figura 15: Temperaturas dos três tipos de paredes medidas com a câmera térmica.



Fonte: Vieira (2021)

A medição das temperaturas das alvenarias foi feita a cada 1 minuto por um período total de 23 minutos. Após isso, Vieira (2021) explica que, para se obter o valor do aumento de temperatura das paredes foi feita a subtração entre a temperatura do minuto 23 e do minuto 1. Dessa forma, o aumento de temperatura da alvenaria de blocos de concreto foi de 6,3°C, a parede de tijolos de solo cimento com adição de argila expandida apresentou um aumento de 2,1°C em sua temperatura e a parede com núcleo de EPS aumentou apenas 1,1°C.

Diante dos resultados apresentados na pesquisa, a autora chegou à conclusão que “a parede sanduiche com núcleo em EPS oferece o melhor conforto térmico, e maior estabilidade levando em consideração as variações de temperatura durante o ensaio, enquanto a parede com bloco de concreto obteve o pior resultado e maior aumento de temperatura” (VIEIRA, 2021, p. 58).

Sendo assim, ao ser utilizado como isolante térmico, o isopor é capaz de ajudar a manter a temperatura interna do ambiente estável, reduzindo a transferência de calor entre o ambiente interno e externo. Isso resulta em uma maior eficiência energética, pois reduz a necessidade de uso de equipamentos de ar-condicionado e aquecimento, resultando em economia de energia elétrica e, conseqüentemente, em redução de custos.

2.9.5 O papel como isolante térmico na construção civil

O papel pode ser usado como isolante térmico em diversas aplicações. O papel alumínio, por exemplo, é bastante utilizado como isolante térmico em vários tipos de embalagens, como por exemplo, em embalagens de alimentos. O papel alumínio é capaz de refletir o calor, mantendo o conteúdo da embalagem aquecido por mais tempo. Além disso, o papel alumínio também pode ser usado como um material de isolamento térmico em construções, pois é um tipo de papel comumente usado como barreira contra a transferência de calor em paredes e telhados, por exemplo.

Alguns estudos já foram realizados utilizando as embalagens Tetra Pak para promover o isolamento térmico. Segundo Fernandes et al. (2014, p. 14) “sua reutilização na forma de painéis térmicos, substituindo produtos similares encontrados no comércio, promove alto valor agregado”. Além disso, é mais uma forma de tornar a construção civil um setor mais sustentável.

Como exemplo do que foi citado acima, a pesquisa desenvolvida por Dantas (2022) mostra a utilização de caixas Tetra Pak como isolante térmico em paredes de alvenaria. A autora fez o recolhimento de caixas de leite vazias, cortou-as, lavou-as e posteriormente confeccionou placas para serem postas nas alvenarias. As placas feitas com embalagens Tetra Pak foram fixadas em uma parede constituída de blocos de concreto e em uma parede feita com tijolos de solo cimento com argila expandida. Uma outra placa foi fixada em uma parede de um quarto utilizado pelos motoristas da UFAL Campus do Sertão.

Conforme Dantas (2022) explica, a análise do desempenho desse material isolante foi feita utilizando um soprador térmico e uma câmera térmica para registrar a temperatura do calor transferido às paredes. As figuras 16, 17 e 18 mostram esse procedimento feito na parede de blocos de concreto, com a placa de Tetra Pak com a face de alumínio voltada tanto para a parte interna como para a externa e na parede da sala dos motoristas a placa foi posta com a face de alumínio voltada para o interior do quarto.

Figura 16: Soprador térmico emitindo calor à parede de blocos de concreto com a face de alumínio da placa de Tetra Pak para o lado interno.



Fonte: Dantas (2022)

Figura 17: Soprador térmico emitindo calor à parede de blocos de concreto com a face de alumínio da placa de Tetra Pak para o lado externo.



Fonte: Dantas (2022)

Figura 18: Placa de Tetra Pak fixada na sala dos motoristas da UFAL.



Fonte: Dantas (2022)

Após Dantas (2022) realizar os registros das temperaturas e as análises de transferência de calor das alvenarias, ficou constatado que com a face de alumínio da caixa tetra Pak encostada na parede não reduz o calor. Por outro lado, as análises feitas com a placa de Tetra Pak com a face de alumínio voltada para o lado externo nas paredes de blocos de concreto e de tijolos de solo cimento mostraram que esse material foi eficaz na redução da passagem de calor para as alvenarias quando comparadas sem essa barreira isolante.

2.9.6 Polpa moldada: papel utilizado em bandejas para ovos

A polpa moldada é um tipo de papel que possui diversas finalidades, onde grande parte da sua produção é destinada à confecção de embalagens, como por exemplo, as bandejas feitas para o acondicionamento de ovos. Segundo Mourad e Vilela (2006, p. 1), “as embalagens de polpa moldada são constituídas quase que exclusivamente de aparas pós consumo, fato que tem levado muitas empresas a desenvolver projetos de embalagem com este material”. As embalagens de polpa moldada são feitas de materiais descartados como papéis, folhas, jornais e papelão, e são totalmente recicláveis e biodegradáveis (SILVA et al., 2019). A Figura 19 mostra as aplicações mais comuns desse tipo de material.

Figura 19: Aplicações de polpa moldada em embalagens.



Fonte: Mourad e Vilela (2006)

De acordo com Silva et al. (2019), a formação da polpa se dá por meio da mistura das aparas de papel com água e produtos químicos, para que seja formada com cor, textura e umidade ideais. Em seguida, a remoção das impurezas é feita através de peneiras vibratórias. Para o processo de moldagem, é necessário que a polpa seja submetida a operações de pressão e sucção para remover o excesso de água e dar forma à embalagem desejada. Após a moldagem, o material é transferido para uma estufa onde é aquecido a temperaturas que variam entre 180 °C e 240 °C, dependendo da umidade e do tipo de produto. Durante a secagem, as embalagens passam por uma etapa de prensagem para proporcionar um acabamento aprimorado e aumentar sua resistência.

Ainda segundo Mourad e Vilela (2006), como a polpa moldada é um tipo de material aplicado em diferentes produtos, quatro tipos de classificação foram estabelecidos:

- Tipo 1 – parede espessa: possuem espessura entre 5 e 13 mm e tem textura áspera em uma face e moderadamente lisa em outra. São

utilizadas em embalagens de produtos pesados, peças de reposição automotivas, bandejas para paletes etc.

- Tipo 2 – moldados por transferência: tem espessura de 2 a 5 mm, possuem uma face relativamente lisa e outra bastante lisa devido a sua formação e retirada através de moldes de transferência. É o tipo de polpa mais utilizado atualmente, empregado na confecção de bandejas para ovos, bebidas e frutas.
- Tipo 3 – fibra termoformada: Polpa moldada de melhor qualidade com espessura baixa, pois sua cura é feita dentro do molde proporcionando resistência e faces bem definidas e lisas. É utilizada para fabricação de embalagens que requerem uma boa aparência.
- Tipo 4 – processada: são aquelas que recebem algum procedimento adicional ao padrão. Tal procedimento pode ser aplicado nos demais tipos de polpas e estão entre eles aplicação de impressão, corte e vinco, corantes ou aditivos especiais.

2.9.6.1 Aplicação de bandejas de ovos como isolantes térmicos na construção civil

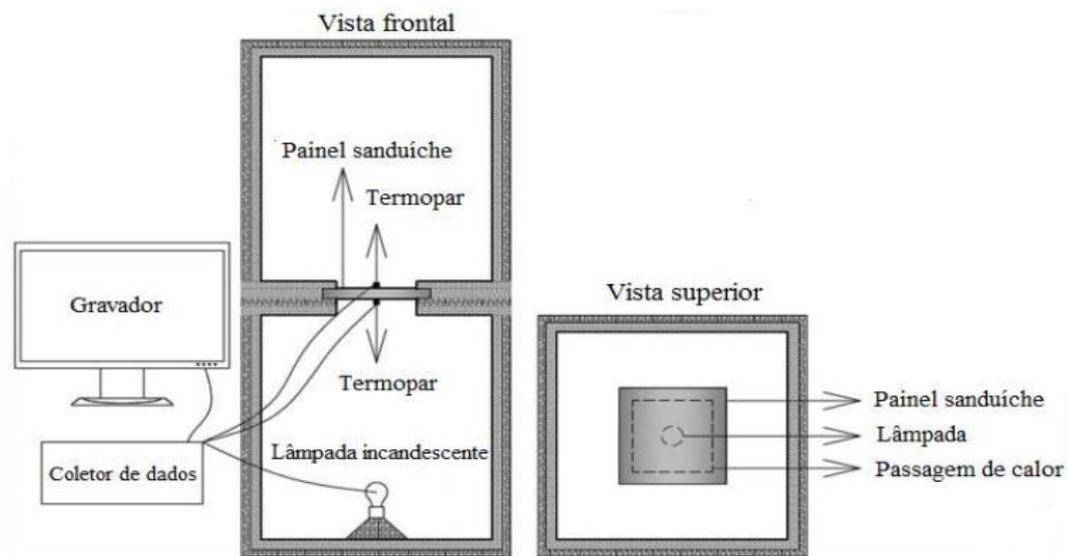
Visando reduzir os impactos causados no setor da construção civil, um estudo realizado por Arantes et al. (2023) aplicou bandejas de ovos no sistema construtivo de painéis sanduíches, com o intuito de minimizar o descarte desse tipo de matéria prima no meio ambiente.

Para a análise do desempenho de painéis sanduíche, foram utilizadas lâminas de madeira de paricá – uma espécie nativa das regiões Norte e Nordeste do Brasil, e no núcleo foram empregadas as bandejas de ovos feitas de papelão. A colagem desses materiais foi feita usando um adesivo à base de ureia-formaldeído – UF – e outro à base de fenol-formaldeído – FF (ARANTES et al., 2023).

Conforme explicado por Arantes et al. (2023), o isolamento térmico dos painéis sanduíche foi determinado posicionando um atuador térmico na parte inferior, onde foi conservada a temperatura em 60°C. Durante um período de 1 hora, as temperaturas foram registradas através de sensores e a taxa de aquecimento foi de 1°C/min. Através da instalação dos termopares na base e no topo do padrão, foi possível obter

os resultados de isolamento térmico do material. A Figura 20 mostra o diagrama do protótipo usado para a realização das análises.

Figura 20: Diagrama para análises de condutividade térmica dos painéis sanduíche.



Fonte: Arantes et al. (2023)

Os resultados obtidos mostraram que, a condutividade térmica e resistência térmica dos painéis sanduíche com lâminas de paricá e núcleo de caixas de ovos, estão dentro do que exige a NBR 15220 (ABNT, 2005). Quando comparados com outros tipos de materiais convencionais e até mesmo com outros painéis de madeira, seus resultados se mostraram adequados, fazendo com que seja viável a sua utilização como isolantes térmicos. Já em relação a transmitância térmica, não foi possível obter valores em conformidade com a NBR 15220 (ABNT, 2005), de acordo com Arantes et al. (2023).

Portanto, em síntese, esse capítulo evidencia que a sustentabilidade é algo que se deve estar em constante prática e que a construção civil é um mecanismo com grande potencial para isso. Visto que há uma alta produção de resíduos sólidos no Brasil e no mundo, se torna pertinente a busca por novas maneiras de reutilizá-los. E a realização de pesquisas que mostrem a eficácia de dar utilidades aos resíduos dentro do setor construtivo é uma forma plausível de abrir caminhos para o desenvolvimento sustentável.

3 METODOLOGIA

Com o objetivo de melhorar o conforto térmico em regiões de clima quente e seco, este estudo tem como foco a análise da eficácia do uso de embalagens de isopor e bandejas de papelão para ovos como materiais isolantes em paredes de alvenaria. Foram utilizados dois tipos de embalagens que, usualmente, seriam descartadas, a fim de analisar suas propriedades como isolantes térmicos e avaliar se houve redução da transferência excessiva de calor entre os meios e proporcionar um ambiente interno mais fresco.

Foram executados quatro ensaios em duas paredes distintas, onde no primeiro foram coladas bandejas de isopor utilizadas para embalar alimentos em uma das faces de uma parede de blocos de concreto, medindo 80 cm x 40 cm e realizar a medição das temperaturas através de uma câmera térmica. No segundo ensaio foram utilizados os mesmos procedimentos, porém o material isolante colado na alvenaria foi as bandejas de papelão usados para embalar ovos.

O terceiro e quarto ensaios foram executados com os mesmos materiais isolantes (bandejas de papelão e bandejas de isopor) porém em uma parede de tijolos de solo cimento com argila expandida, revestida com gesso, medindo 60 cm x 33 cm. As Figuras 21 e 22 mostram os dois tipos de paredes utilizadas nos ensaios.

Figura 21: Parede de blocos de concreto.



Fonte: Autora (2023)

Figura 22: Parede de solo-cimento com argila expandida revestida com gesso.



Fonte: Autora (2023)

Os resultados obtidos a partir da adição das placas de bandejas de isopor e de bandejas para ovos foram comparados com os resultados de pesquisas anteriores. Foram utilizadas como referência as medições realizadas por Romão (2019) em alvenaria de bloco de concreto, e pela pesquisa de Vieira (2021) em paredes de tijolo de solo-cimento com argila expandida revestida com gesso.

3.1 Ensaio 1: Parede de blocos de concreto revestida com bandejas de isopor

Nessa etapa, foi confeccionada uma placa composta por 10 bandejas de isopor, que foram fixadas umas às outras e, posteriormente, coladas à alvenaria de blocos de concreto, utilizando cola quente. As Figuras 23, 24 e 25 mostram esses procedimentos.

Figura 23: Colagem das bandejas de isopor.



Fonte: Autora (2023)

Figura 24: Bandejas de isopor coladas umas nas outras.



Fonte: Autora (2023)

Figura 25: Placa de bandejas de isopor colada na parede de blocos de concreto.



Fonte: Autora (2023)

Para verificar a eficiência desse material como isolante térmico, foi posicionado um soprador térmico do lado externo da alvenaria a uma distância de 40 cm. Com o auxílio da câmera térmica, foram anotadas as temperaturas a cada 1 minuto por um período de 21 minutos. As figuras 26 e 27 retratam tais etapas.

Figura 26: Soprador térmico posicionado à 38 cm da parede de blocos de concreto com a placa de bandejas de isopor.



Fonte: Autora (2023)

Figura 27: Câmera térmica posicionada a frente da parede de blocos de concreto com a placa de bandejas de isopor.



Fonte: Autora (2023)

3.2 Ensaio 2: Parede de blocos de concreto revestida com bandejas de papelão para ovos

Conforme as Figuras 28 e 29, no segundo ensaio foram utilizadas placas de papelão para revestir a mesma parede utilizada no ensaio 1 de modo a ajustar as mesmas para cobrir toda a superfície da parede. Também foi utilizado cola quente para fazer a fixação das placas no objeto do ensaio.

Figura 28: Processo de colagem das bandejas de papelão para ovos.



Fonte: Autora (2023)

Figura 29: Placa de bandejas de papelão fixada à parede de blocos de concreto.



Fonte: Autora (2023)

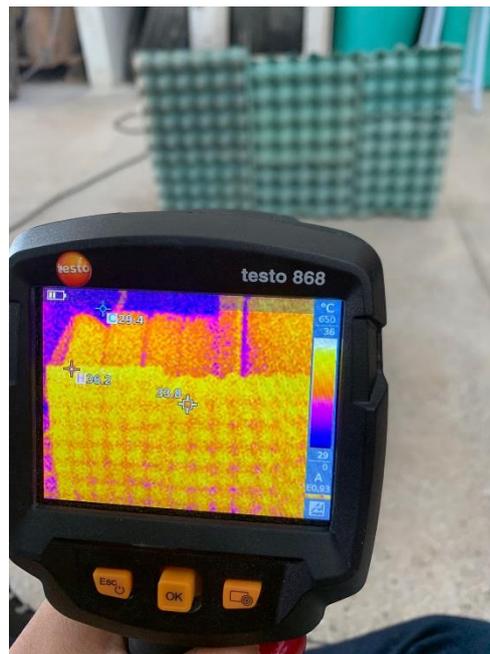
Para esse, ensaio foi mantida a mesma distância do soprador térmico e mesmos parâmetros de medidas para análises das temperaturas. As Figuras 30 e 31 exibem esses procedimentos.

Figura 30: Posicionamento do soprador térmico em relação à parede de blocos de concreto revestida com bandejas de papelão.



Fonte: Autora (2023)

Figura 31: Câmera térmica posicionada a frente da parede de blocos de concreto com revestimento de bandejas de papelão para ovos.



Fonte: Autora (2023)

3.3 Ensaio 3: Parede de solo-cimento revestida com bandejas de isopor

Nessa etapa, a face interna da alvenaria composta por tijolos de solo-cimento com adição de argila expandida revestida com gesso foi coberta por uma placa feita com seis bandejas de isopor idênticas e fixadas de modo igual ao ensaio 1 conforme mostra a Figura 32.

Figura 32: Placa de bandejas de isopor fixadas à parede de solo-cimento.



Fonte: Autora (2023)

O posicionamento do soprador térmico para esta etapa foi de 40 cm e as anotações das temperaturas permaneceu igual aos ensaios anteriores, com o uso da câmara térmica. A Figura 33 mostra o soprador térmico posicionado em frente à face externa da alvenaria de tijolos de solo-cimento.

Figura 33: posicionamento do soprador térmico em relação à parede de solo-cimento com placa de bandejas de isopor.



Fonte: Autora (2023)

3.4 Ensaio 4: Parede de solo-cimento revestida com bandejas de papelão para ovos

Para esse teste, foram utilizadas placas de papelão para revestir a mesma parede usada no teste anterior, com o objetivo de cobrir toda a sua superfície. A fixação da placa na parede foi realizada utilizando cola quente.

Neste ensaio, as mesmas configurações do soprador térmico e os mesmos parâmetros de medição de temperatura foram mantidos conforme o ensaio anterior. As Figuras 34, 35 e 36 mostram os procedimentos realizados nessa etapa.

Figura 34: Placa de bandejas de papelão fixada à alvenaria de tijolos de solo-cimento.



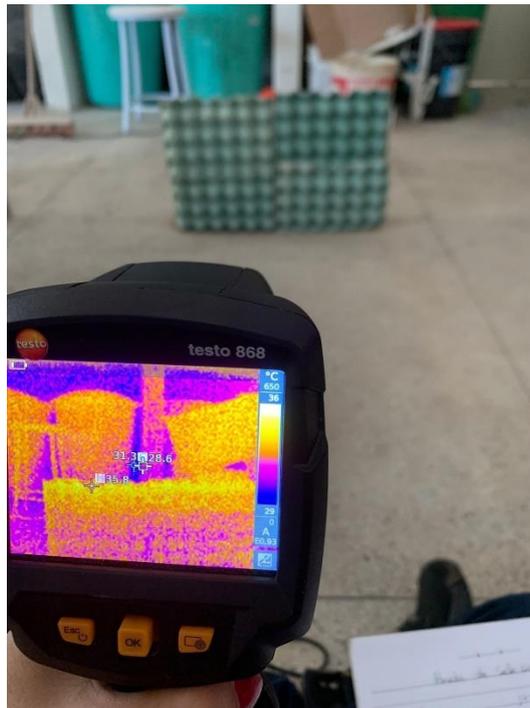
Fonte: Autora (2023)

Figura 35: Posicionamento do soprador térmico em relação à parede de tijolos de solo-cimento revestida com bandejas de papelão.



Fonte: Autora (2023)

Figura 36: Câmera térmica posicionada a frente da parede de tijolos de solo-cimento revestida com bandejas de papelão.



Fonte: Autora (2023)

3.5 Metodologias de avaliação de desempenho térmico das alvenarias

Segundo Romão (2019), os blocos de concreto possuem uma alta condutividade térmica. De acordo com os dados apresentados por ele, a alvenaria feita com blocos de concreto teve o pior desempenho em termos de capacidade de isolamento térmico.

As temperaturas foram medidas de um em um minuto, por um tempo total de 20 minutos (Tabela 1).

Tabela 1: temperaturas capturadas da parede de blocos de concreto sem nenhum revestimento.

Tempo (min)	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Temperatura (°C)
1	25,8	8	29,6	15	34,1
2	26	9	30,1	16	35
3	26,1	10	30,7	17	35
4	27	11	32,6	18	35,3
5	27,3	12	32,9	19	35,6
6	27,9	13	33	20	36,8
7	28,8	14	33,2		

Fonte: Romão (2019)

Para a alvenaria de tijolos de solo-cimento com argila expandida revestida com gesso, Vieira (2021) conduziu uma pesquisa que foi realizada de maneira semelhante à de blocos de concreto. A análise foi realizada a cada um minuto durante um período de 23 minutos, e os dados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Temperaturas capturadas da parede de solo-cimento com argila expandida revestida com gesso.

Tempo (min)	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Temperatura (°C)
1	30,6	9	31,4	17	32,4
2	30,8	10	31,3	18	32,4
3	30,4	11	31,5	19	32,5
4	30,4	12	31,5	20	32,5
5	30	13	31,7	21	32,6
6	30,4	14	31,8	22	32,6
7	31,2	15	31,7	23	32,7
8	31,3	16	32		

Fonte: Vieira (2021)

Assim como na pesquisa atual, a medição das temperaturas dos estudos realizados por Romão (2019) e Vieira (2021) foi executada utilizando uma câmera térmica e uma fonte de calor gerada por um soprador térmico. As diferenças entre as

temperaturas do último minuto e do primeiro minuto de cada uma das alvenarias foi dada por:

- Alvenaria de blocos de concreto: $(36,8 - 25,8) \text{ } ^\circ\text{C} = 11^\circ\text{C}$.
- Alvenaria de tijolos de solo-cimento com argila expandida revestida com gesso: $(32,7 - 30,6) \text{ } ^\circ\text{C} = 2,1^\circ\text{C}$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante a execução dos ensaios citados no capítulo anterior, com o auxílio de um termômetro, foram anotadas as temperaturas ambiente de cada uma das alvenarias com a adição dos seus respectivos revestimentos. Dessa forma, foram obtidas as seguintes temperaturas:

- Alvenaria de blocos de concreto com bandejas de isopor: 33,2°C
- Alvenaria de blocos de concreto com bandejas de papelão: 30,2°C
- Alvenaria de solo-cimento com bandejas de isopor: 32,7°C
- Alvenaria de solo-cimento com bandejas de papelão: 31,9°C

4.1 Resultados das medições de temperatura da parede de blocos de concreto

A Tabela 3 mostra as temperaturas obtidas na realização do ensaio 1 durante o tempo de 21 minutos, onde a alvenaria de blocos de concreto foi revestida com bandejas de isopor.

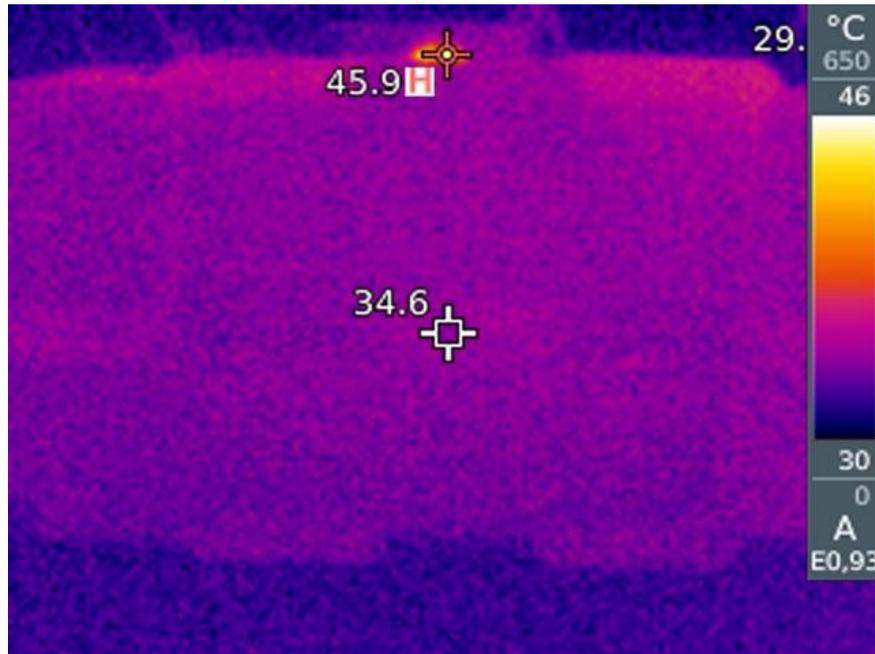
Tabela 3: Temperaturas da parede de blocos de concreto com bandejas de isopor.

Tempo (min)	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Temperatura (°C)
1	34,1	8	34,6	15	34,7
2	34,2	9	34,6	16	34,9
3	34,2	10	34,6	17	34,9
4	34,3	11	34,6	18	35,1
5	34,4	12	34,7	19	35,1
6	34,4	13	34,7	20	35,2
7	34,5	14	34,7	21	35,2

Fonte: Autora (2023)

A imagem a seguir mostra o momento em que a câmera térmica captura a temperatura equivalente a 34,6°C da parede de blocos de concreto com bandejas de isopor fixadas à sua face.

Figura 37: Captura da temperatura 34,6°C.



Fonte: Autora (2023)

A partir da obtenção desses dados foi possível calcular o aumento de temperatura sofrido por essa alvenaria. Para isso, subtrai-se a temperatura correspondente ao minuto 1 da temperatura correspondente ao minuto 21. Tem-se: $35,2^{\circ}\text{C} - 34,1^{\circ}\text{C} = 1,1^{\circ}\text{C}$.

A Tabela 4 apresenta as temperaturas registradas no ensaio 2, em que a parede de blocos de concreto foi revestida com bandejas de papelão para ovos.

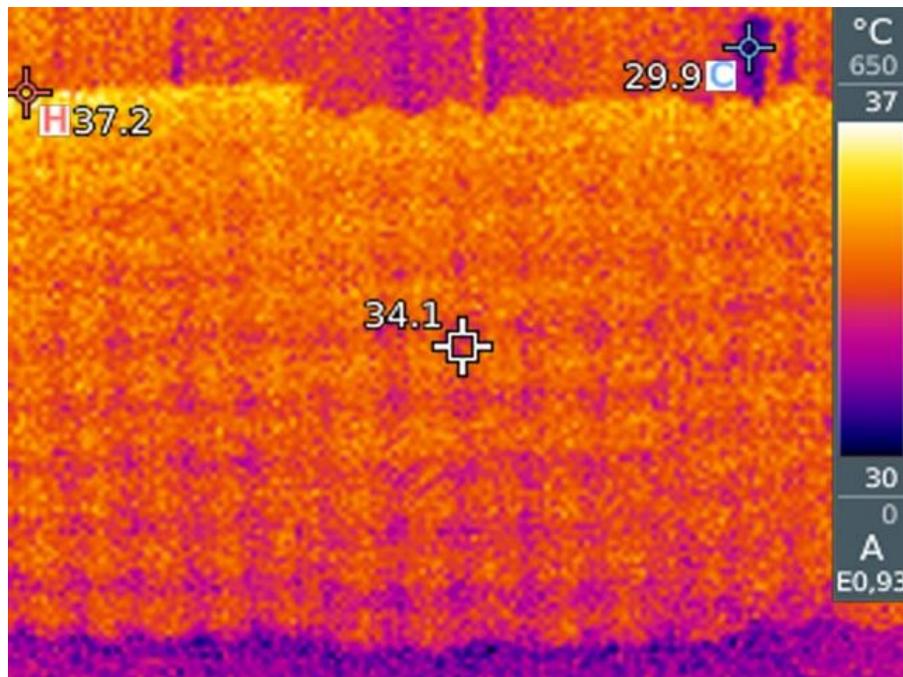
Tabela 4: Temperaturas da parede de blocos de concreto com bandejas de papelão.

Tempo (min)	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Temperatura (°C)
1	33,2	8	33,9	15	34,2
2	33,3	9	34,0	16	34,2
3	33,6	10	34,0	17	34,3
4	33,7	11	34,0	18	34,4
5	33,8	12	34,0	19	34,4
6	33,8	13	34,0	20	34,4
7	33,9	14	34,1	21	34,5

Fonte: Autora (2023)

A Figura 38 mostra a temperatura capturada pela câmera térmica correspondente a 34,1°C para essa alvenaria revestida com bandejas de papelão.

Figura 38: Captura da temperatura 34,1°C.

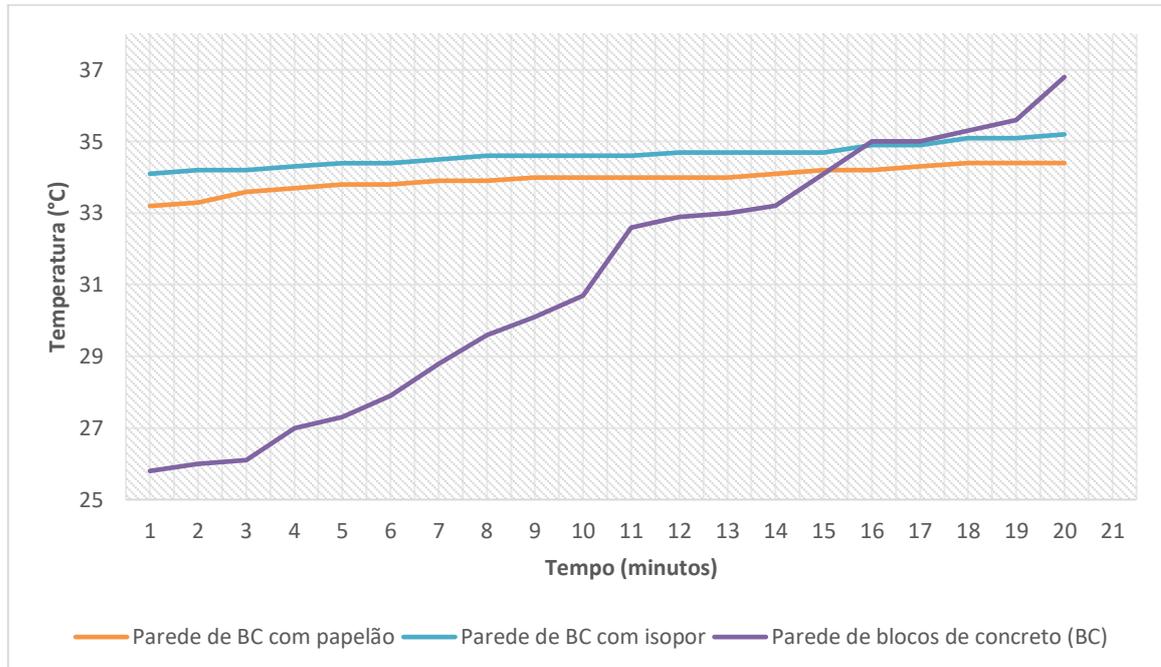


Fonte: Autora (2023)

Ao calcular o aumento de temperatura dessa alvenaria de forma semelhante à anterior, foi obtido: $34,5^{\circ}\text{C} - 33,2^{\circ}\text{C} = 1,3^{\circ}\text{C}$.

No gráfico 1 estão apresentadas as medições das temperaturas da parede de blocos de concreto com as três configurações apresentadas na presente pesquisa: revestida com bandejas de isopor; revestida com bandejas de papelão para ovos e sem revestimento, conforme os dados foram apresentados por Romão (2019).

Gráfico 1: Desempenho térmico da alvenaria de blocos de concreto.



Fonte: Autora (2023)

Dessa forma, ficou visível que a parede de blocos de concreto revestida com as placas de bandejas de papelão para ovos e bandejas de isopor obtiveram resultados satisfatórios no que se refere ao conforto térmico. Isso se deve ao fato de que as variações das temperaturas ficaram abaixo da que foi previamente apresentada na pesquisa de Romão (2019) em relação a parede sem esses materiais como revestimento. No entanto, o gráfico mostra que a parede revestida com isopor apresentou maior linearidade em relação às outras configurações da parede, isto quer dizer que os resultados provam que esse material é o que mais proporciona uma menor transferência de calor nesse tipo de alvenaria.

Além do mais, os resultados mostram que houve uma redução na variação de temperatura, visto que essa variação na parede sem revestimento foi de 11°C. Com a adição das bandejas de isopor à alvenaria de blocos de concreto a variação de temperatura foi de 1,1°C, já com as bandejas de papelão para ovos, a variação de temperatura foi de 1,3°C.

4.2 Resultados das medições de temperatura da parede de tijolos de solo-cimento

Com a realização dos procedimentos do ensaio 3 foi possível registrar as temperaturas da alvenaria de tijolos de solo-cimento com argila expandida revestida com gesso e a adição das bandejas de isopor. Esses dados estão apresentados na Tabela 5.

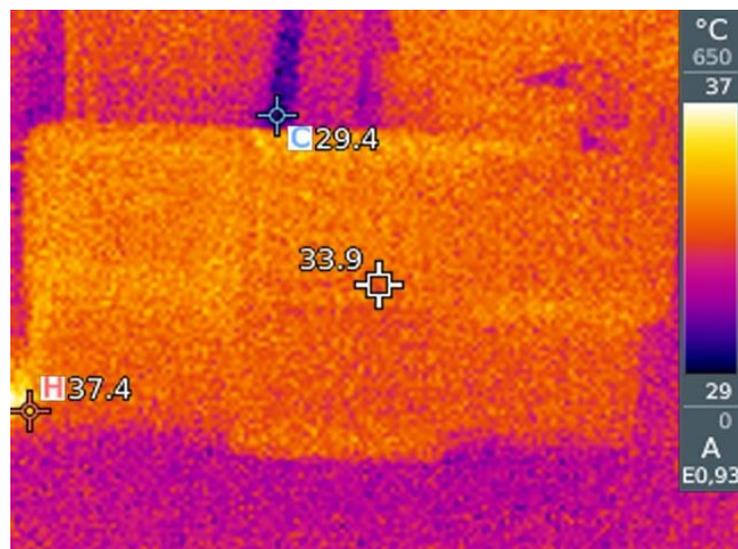
Tabela 5: Temperaturas da parede de tijolos de solo-cimento com bandejas de isopor.

Tempo (min)	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Temperatura (°C)
1	32,9	8	34,2	15	34,4
2	33,0	9	34,2	16	34,5
3	33,1	10	34,2	17	34,5
4	33,9	11	34,3	18	34,6
5	33,9	12	34,3	19	34,7
6	34,0	13	34,4	20	34,9
7	34,0	14	34,4	21	34,9

Fonte: Autora (2023)

A figura abaixo mostra a captura da temperatura 33,9°C através da câmera térmica durante a execução do ensaio.

Figura 39: Captura da temperatura 33,9°C.



Fonte: Autora (2023)

Fazendo a subtração entre as temperaturas do minuto 21 e o minuto 1, foi obtido o seguinte valor de aumento de temperatura: $34,9^{\circ}\text{C} - 32,9^{\circ}\text{C} = 2,0^{\circ}\text{C}$.

Para a alvenaria de tijolos de solo-cimento com argila expandida e revestimento de gesso coberta com a placa de bandejas de papelão para ovos foram alcançados os dados apresentados na Tabela 6.

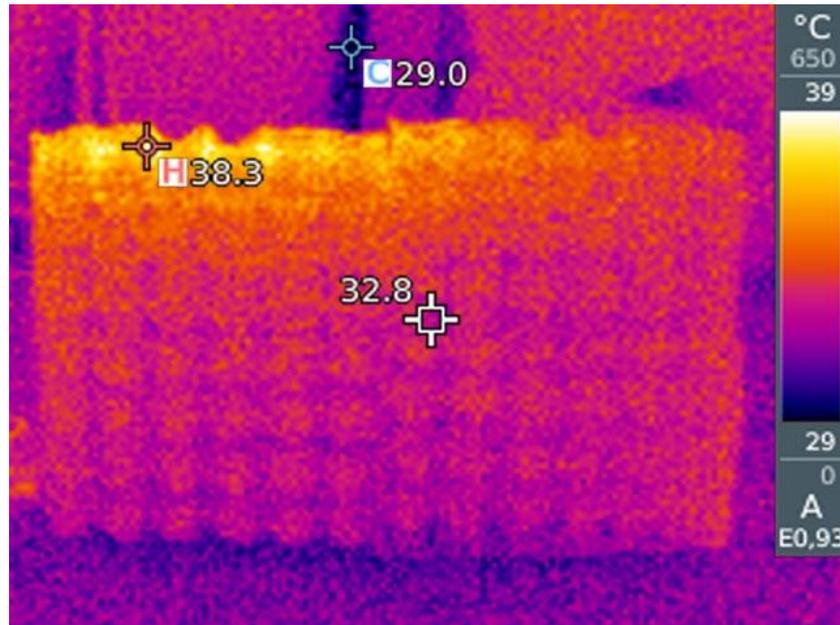
Tabela 6: Temperaturas da parede de tijolos de solo-cimento com bandejas de papelão.

Tempo (min)	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Temperatura (°C)
1	32,2	8	32,8	15	33,2
2	32,2	9	32,8	16	33,3
3	32,3	10	32,8	17	33,3
4	32,6	11	32,9	18	33,7
5	32,7	12	32,9	19	33,8
6	32,7	13	33,0	20	34,0
7	32,8	14	33,0	21	34,1

Fonte: Autora (2023)

Durante a execução do ensaio 4 foi possível registrar a captura da temperatura $32,8^{\circ}\text{C}$ conforme mostra a Figura 40.

Figura 40: Captura da temperatura 32,8°C.

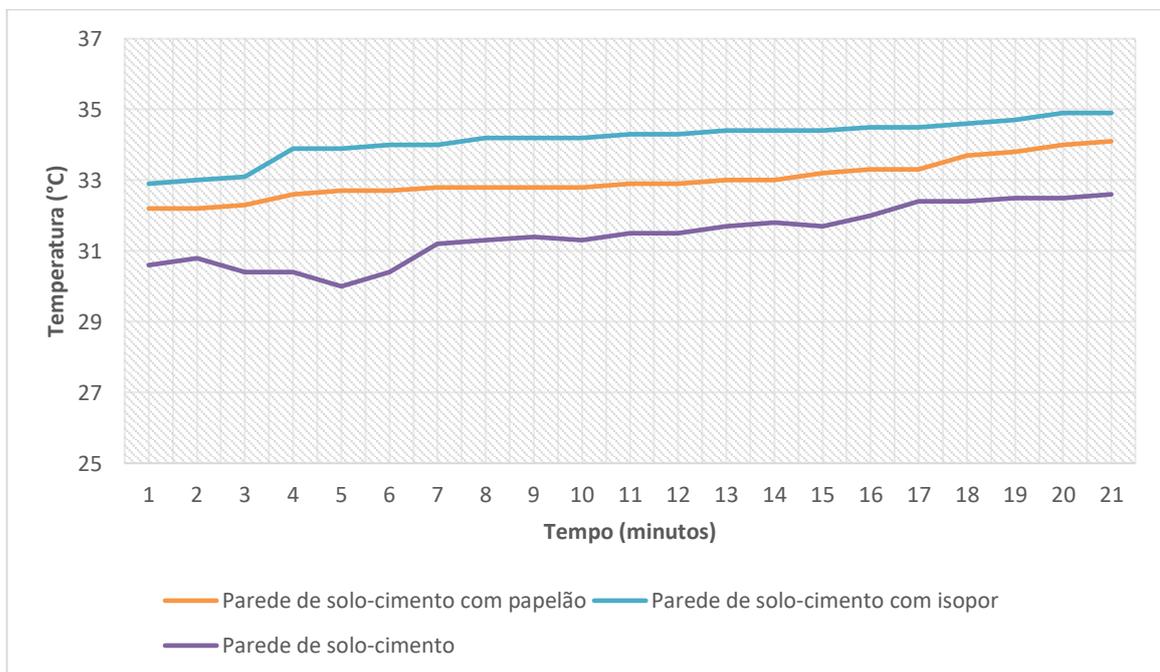


Fonte: Autora (2023)

O aumento de temperatura que ocorreu na etapa do ensaio 4 foi de: $34,1^{\circ}\text{C} - 32,2^{\circ}\text{C} = 1,9^{\circ}\text{C}$.

O Gráfico 2 apresenta os resultados obtidos das medições das temperaturas da parede de tijolos de solo-cimento com argila expandida.

Gráfico 2: Desempenho térmico da alvenaria de tijolos de solo-cimento.



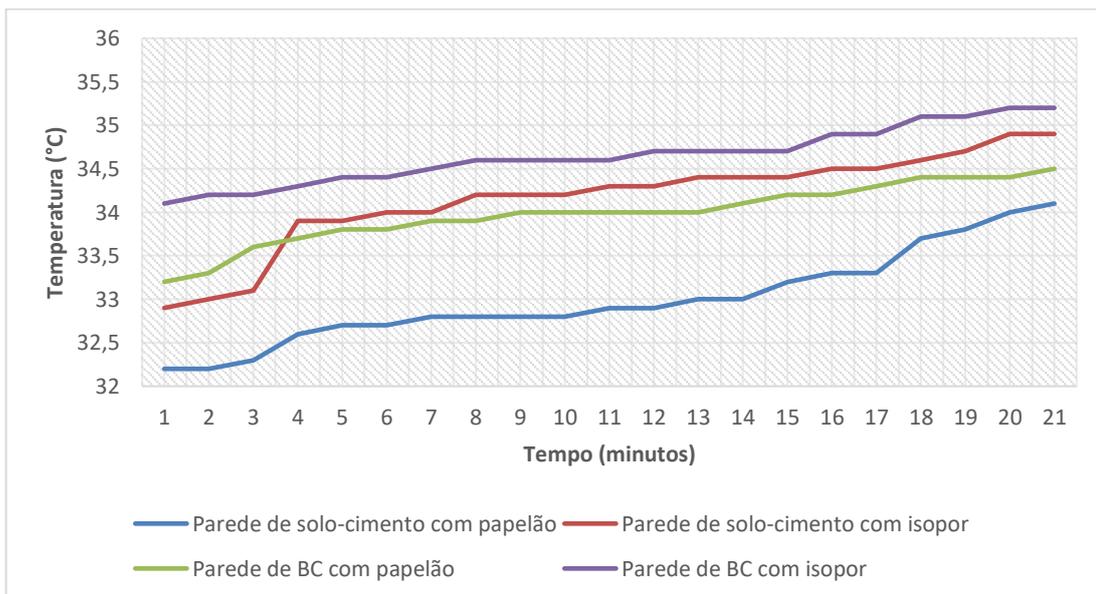
Fonte: Autora (2023)

O gráfico evidenciou que a utilização de bandejas de papelão para ovos e bandejas de isopor nesse tipo de alvenaria resultou em linhas mais uniformes quando comparadas com a linha da alvenaria de tijolos de solo-cimento sem a adição desses componentes, isto quer dizer que a utilização desses materiais apresentou um resultado satisfatório em relação ao conforto térmico.

Ao revestir a parede de tijolos de solo-cimento com bandejas de isopor, foi obtido um resultado satisfatório na redução da variação de temperatura. Sem a placa de bandejas de isopor, a variação de temperatura foi de 2,1°C, enquanto com a adição da placa houve uma variação de 2,0°C. Já com a utilização de bandejas de papelão para ovos, a variação de temperatura foi de 1,9°C. Dessa forma, os resultados apresentam que, para a parede de tijolos de solo-cimento com argila expandida, a utilização de bandejas de papelão se mostra mais eficaz para o conforto térmico do que as bandejas de isopor.

O gráfico 3 apresenta uma síntese do desempenho térmico das paredes de alvenaria revestidas com as bandejas de isopor e bandejas de papelão para ovos.

Gráfico 3: Síntese do desempenho térmico das paredes revestidas com isopor e papelão.



Fonte: Autora (2023)

Com isso, é possível notar com maior clareza a linearidade das linhas que correspondem a uniformidade das temperaturas obtidas ao revestir as paredes de blocos de concreto e de tijolos de solo-cimento com esses dois tipos de bandejas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados apresentados, a presente pesquisa conseguiu mostrar que a utilização de bandejas de isopor usadas como embalagens para alimentos e bandejas de papelão para ovos, são materiais que podem proporcionar um conforto térmico superior nas edificações de regiões semiáridas.

Com base nas análises de temperatura realizadas, as bandejas de isopor e papelão utilizadas como materiais isolantes nas alvenarias de blocos de concreto e de tijolos de solo-cimento com argila expandida e revestimento de gesso apresentaram não apenas uma diferença de temperatura menor, mas também uma uniformidade nos resultados das medições, proporcionando uma maior estabilidade de temperatura quando comparada com essas alvenarias sem a adição desses materiais.

A variação de temperatura obtida com a adição de bandejas de isopor à alvenaria de blocos de concreto foi de 1,1°C, já as bandejas de papelão apresentaram uma variação de temperatura de 1,3°C, enquanto essa mesma alvenaria sem nenhum revestimento obteve 11°C de variação de temperatura. Para a alvenaria de tijolos de solo-cimento com argila expandida revestida com gesso, a adição das bandejas de isopor e de papelão apresentaram variação de temperatura de 2,0°C e 1,9°C, respectivamente. Essa parede sem estar revestida com esses materiais obteve variação de temperatura de 2,1°C.

Sendo assim, para a alvenaria de blocos de concreto, o material que mostrou um melhor desempenho térmico foi a placa de bandejas de isopor. Já para a alvenaria de tijolos de solo-cimento com argila expandida o material que mostrou melhores resultados foi a placa de bandejas de papelão para ovos.

Dessa forma, além de mostrar que esses dois tipos de resíduos são viáveis para utilização como isolantes térmicos, a presente pesquisa também constatou que, ao reutilizá-los dessa forma, leva conseqüentemente à contribuição do aumento do desenvolvimento sustentável dentro do setor da construção civil - já que as bandejas de isopor e de papelão para ovos que seriam comumente descartadas para o lixo após o uso receberam uma nova utilidade que minimiza os efeitos desses rejeitos no meio ambiente.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Avaliar o desempenho acústico das bandejas de isopor e de ovos em paredes de alvenaria.
- Analisar maneiras de revestir paredes com esses materiais proporcionando uma melhor estética, visto que no presente trabalho as bandejas foram aplicadas de forma artesanal.
- Realizar análises de conforto térmico executando o corte ou a trituração das bandejas de ovos feitas de papelão e das bandejas de isopor e fixá-las na alvenaria de forma que fique menos vazios.
- Verificar se os vazios existentes entre as paredes e as placas produzidas artesanalmente influenciam nos resultados.
- Verificar se tais bandejas são viáveis como materiais impermeabilizantes de elementos estruturais e alvenarias de vedação, podendo até agregar outros tipos de resíduos na composição.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2011. V. 5.

ARANTES, L. S.; FURTINI, A. C. C.; MOREIRA, R. G.; GOMES, D. A. C.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JR., J. B. **Avaliação de painéis sanduíche produzidos com núcleo de caixas de ovos e lâminas de paricá**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 23, n. 2, p. 121-130, abr./jun. 2023. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações** – Parte 3. Rio de Janeiro, 2005.

CALIXTO, M. K.; MEDEIROS, I. A.; ARAÚJO, Y. C. F.; LIMA, E. M. C. **Reaproveitamento de papel para confecção de placas de gesso**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência Dos Materiais, n. 22, 2016, Natal. **Anais...** Natal, RN: CBECimat, 2016, p. 2289-2295.

CANTERI, M.; WOSIACKI, L.; SCHEER, A. **Pectina: da matéria-prima ao produto final**. In: CANTERI, Maria. **Polímeros**. Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012. v. 22, p. 149-157.

COCCO, I.; PINTO, A.; ANTONELLO, A.; PORTOLAN, E. **Reaproveitamento de materiais não degradáveis no reparo de coberturas: vidro, isopor e embalagens Tetra Pak**. In: SEMINÁRIO INTERINSTITUCIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, n. 6, 2011. **Anais...** Cruz Alta: UNICRUZ, 2011.

CORRÊA, L. **Sustentabilidade na construção civil**. Belo Horizonte, 2009. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia da UFMG.

DANTAS, M. **Avaliação do uso de embalagens de caixa Tetra Pak para aumento do conforto térmico de paredes de alvenaria no sertão alagoano**. Orientador: Professor Mestre Alexandre Nascimento de Lima. 2022. 82 p. TCC – Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA; INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **A indústria de papel e celulose no Brasil e no mundo**: panorama geral. Disponível em: < https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-650/Pulp%20and%20paper_EPE+IEA_Portugu%C3%AAs_2022_01_25_IBA.pdf > Acesso em: 12/04/2023.

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO ESTADO DE AMAZONAS. **Objetivos de desenvolvimento sustentável**. Disponível em: < <https://www.tjam.jus.br/index.php/documentos/eastjam-diversos/educacao-ambiental/9821-ods-dia-7-papel/file> >. Acesso em: 12/04/2023.

- FERNANDES, J. S.; DANIELEWICZ, R. J.; SECCO, J. **Isolamento térmico de residências através da reutilização de embalagens Tetra Pak**. Revista Brasileira de Extensão Universitária, v. 5, n. 1, p. 13-17, 2014.
- FROTA, A.; SCHIFFER, S. **Manual de Conforto Térmico**. Studio Nobel, São Paulo. 5ª edição, p.01, p.244, 2001.
- INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- JALALI, S.; TORGAL, F. **A sustentabilidade dos materiais de construção**. Barbudo, Portugal: Gráfica Vilaverdense, 2010.
- KAPUNO, R. R. A.; RATHORE, M. M. **Engineering heat transfer**. 2. ed. Massachusetts: Jones & Bartlett Learning, 2011.
- KNAUF ISOPOR STYROCORTE. **EPS isopor®: mais utilidades e vantagens do que você pode imaginar**. Disponível em: < <https://www.knauf-isopor.com.br/produtos/servicos-em-inovacao/eps/> >. Acesso em: 17/03/2023.
- LAMBERTS, R. **Desempenho térmico de edificações**. LabEEE. Florianópolis. 7ª edição, p.01, p.239, 2016.
- LIBANO, A.; CRUZ JR, C.; SANTOS, M. C. **Consumo, coleta seletiva e destinação final dos resíduos de papel**. Brasília, DF: UniCEUB, 2011. 24 p.
- MARTINI, Gloria; SPINELLI, Walter; REIS, Hugo Carneiro; SANT` ANNA, Blaidi. **Conexões com a Física**, 3ª ed. São Paulo: Moderna, 2016, 287p, v2.
- MELO, C. **Reciclagem de materiais poliméricos por incorporação in situ na polimerização em suspensão do estireno**. Rio de Janeiro, 2009. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Construção Sustentável**. Disponível em: < <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/urbanismo-sustentavel/item/8059.html> >. Acesso em 11/01/2023.
- MONTEIRO, M.; SILVA, E.; SOUZA, J. **Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos de Isopor**. Belo Horizonte: Fundação Estadual de Meio Ambiente: Fundação Israel Pinheiro, 2011.
- MOURAD, A.; VILELA, G. **Embalagens de polpa moldada**. CETEA Informativo, v. 18, n. 1, 2006. ISSN 0104-3781.
- BOABAID NETO, Carlos. **Transferência de calor (TCL)**. Volume 1- Parte 3. Instituto Federal de Santa Catarina, p. 04, p. 05, 2010.
- PEREIRA, E. **O isopor na construção civil**. Disponível em: < <https://petciviluem.com/2021/06/29/o-isopor-na-construcao-civil/> >. Acesso em: 10/03/2023.

PINHEIRO, R. M. **Reciclagem de resíduo proveniente da produção de papel em cerâmica vermelha**. Revista Matéria, Campos dos Goytacazes, RJ, v. 13, n. 1, p. 220-227, 2008. ISSN 1517-7076.

PLASTIVIDA. **Renault recicla 4 toneladas de Isopor® por mês em parceria com a Plastivida**. Disponível em: < http://www.plastivida.org.br/images/releases/Release_034.pdf >. Acesso em 12/03/2023.

RODRIGUES, E. **Processos de Transmissão de Calor**. Conforto Térmico das Construções. 2003.

ROMÃO, É. **Análise do desempenho térmico em tijolo ecológico confeccionado com uso de argila expandida**. Orientador: Professor Mestre Rogério de Jesus dos Santos. 2019. 66p. TCC. – Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2019.

SILVA, B.; SANTOS, S.; CLETO, M. **Comparativo entre embalagem de polpa moldada e embalagem de papelão ondulado utilizado em uma indústria de fixadores**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, n. 29, 2019, Santos. **Anais...** ENEGEP, 2019.

SILVA, N.; CARRIJO, S. **Produção de tinta acrílica através da reciclagem de resíduos de poliestireno expandido (isopor)**. In: III COLÓQUIO ESTADUAL DE PESQUISA MULTIDISCIPLINAR E I CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA MULTIDISCIPLINAR, 2018. **Anais...** Pesquisa UNIFAMES, 2018.

SOUSA, D.; MATOS, L. L.; ARAÚJO, M. K. S.; LIMA, E. V. **A importância da reciclagem do papel na melhoria da qualidade do meio ambiente**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26, 2016, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABREPO, 2016

TESSARI, J. **Utilização de poliestireno expandido e potencial de aproveitamento de seus resíduos na construção civil**. Florianópolis, 2006. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

VIEIRA, A. **Análise comparativa térmica entre sistemas de vedação constituídos por paredes sanduíche em concreto com núcleo de EPS, alvenaria de vedação de blocos de concreto e tijolos de solo cimento com adição de argila expandida para fins de conforto térmico**. Orientador: Professor Mestre Rogério de Jesus dos Santos. 2021. 62p. TCC. – Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2021.