

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA  
*CAMPUS CAJAZEIRAS*

ANAYLLE VIEIRA LACERDA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO EM SISTEMAS DE VEDAÇÃO  
VERTICAL PREENCHIDOS COM RESÍDUO DE PAPEL KRAFT**

Cajazeiras-PB, 2021

ANAYLLE VIEIRA LACERDA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO EM SISTEMAS DE VEDAÇÃO  
VERTICAL PREENCHIDOS COM RESÍDUO DE PAPEL KRAFT**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, sob Orientação do Prof. Me. Cicero Joelson Vieira Silva.

Cajazeiras-PB, 2021

Campus Cajazeiras  
Coordenação de Biblioteca  
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva  
Catalogação na fonte: Daniel Andrade CRB-15/593

O48a

Oliveira, Anaylle Vieira Lacerda de

Avaliação do isolamento térmico em sistemas de vedação vertical preenchidos com resíduo de Papel Kraft / Anaylle Vieira Lacerda de Oliveira; orientador Cicero Joelson Vieira Silva.- 2021.

48 f.: il.

Orientador: Cicero Joelson Vieira da Silva.

TCC(Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2021.

1. Isolamento térmico 2. Papel Kraft 3. Vedação vertical 4. Sustentabilidade I. Título

CDU 699.86(0.067)

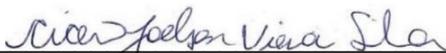
ANAYLLE VIEIRA LACERDA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO EM SISTEMAS DE VEDAÇÃO  
VERTICAL PREENCHIDOS COM RESÍDUO DE PAPEL KRAFT**

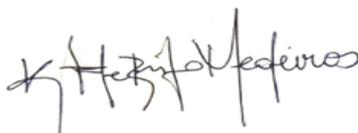
Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Bacharelado em  
Engenharia Civil do Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,  
*Campus* Cajazeiras, como parte dos  
requisitos para a obtenção do Título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 26 de abril de 2021.

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Me. Cicero Joelson Vieira Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Orientador(a)



Prof<sup>ª</sup>. Katharine Taveira de Brito Medeiros – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Examinador(a) 1



Prof. Me. Cicero de Souza Nogueira Neto – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Examinador(a) 2

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, à família, aos amigos, professores e pessoas especiais que me acompanharam e proveram suporte nos momentos difíceis e árduos dessa jornada.

## RESUMO

No setor da construção civil, sendo este um dos ramos com maior participação na geração de resíduos e entulhos, é de suma importância a busca por novas técnicas construtivas que possam introduzir maneiras sustentáveis de se reaproveitar materiais descartados. A utilização de isolantes térmicos nas alvenarias e outros elementos de vedação promove diversas vantagens, dentre elas a economia e eficiência energética, como consequência da redução na necessidade de resfriamento em ambientes internos ou parcialmente fechados. Dessa forma, partindo do conceito de responsabilidade ambiental, essa pesquisa buscou analisar o isolamento térmico conferido por um resíduo reciclado de papel Kraft, proveniente de embalagens de cimento descartadas, quando utilizado como preenchimento no interior de sistemas de vedação vertical. Para a realização dos testes foram criados protótipos de parede de quatro sistemas de vedação (blocos de cerâmica e concreto estruturais, cerâmica para vedação e gesso), sendo estes submetidos a dois ensaios: exposição solar e exposição a uma fonte artificial de calor (lâmpada infravermelha), cujas temperaturas foram coletadas por câmera termográfica e por termopares, respectivamente. A análise dos resultados foi feita de modo comparativo, confrontando as temperaturas obtidas em protótipos vazios (referência) com as obtidas nos protótipos preenchidos com o resíduo reciclado. Todos os protótipos preenchidos apresentaram reduções de temperatura em suas faces, cujos valores, para a exposição solar e exposição à luz infravermelha, respectivamente, foram de 3,2 °C e 9 °C no protótipo de cerâmica estrutural; 3,9 °C e 12 °C no protótipo de concreto estrutural; 1,5 °C e 10 °C no protótipo de gesso e, por fim, 4,1 °C e 9 °C no protótipo de cerâmica para vedação. Tais valores apontam, em uma análise preliminar, que esse material apresenta um potencial de melhoria no conforto térmico e na eficiência energética em ambientes cuja envoltória seja preenchida internamente com o resíduo. Além disso, sua aplicação no interior de blocos tradicionalmente utilizados nas edificações pode se constituir em uma alternativa de destino sustentável para o que antes seria um elemento de descarte.

**Palavras-Chave:** Isolamento térmico. Papel kraft. Vedação vertical. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

In the construction sector, which is one of the branches with greater participation in the generation of waste and debris, it is very important to search for new building techniques that can introduce sustainable ways to reuse discarded materials. The use of thermal insulation in walls and other sealing elements promotes several advantages, including economy and energy efficiency as a result of the reduction in the need for cooling in partially closed or indoor environments. Thus, applying the concept of environmental responsibility, this research aimed to analyze the thermal insulation conferred by a recycled waste of Kraft paper, from discarded cement packaging, when used as a filler in the interior of vertical sealing systems. For the tests, wall prototypes of four sealing systems were built (using structural ceramic and concrete blocks, ceramic for sealing blocks and plaster) which were subjected to two proceedings: sun exposure and exposure to an artificial heat source (infrared lamp), having the temperatures collected by thermographic camera and thermocouples, respectively. The analysis of the results was made in a comparative way, comparing the temperatures obtained in empty prototypes (reference) with those obtained in the prototypes filled with the recycled material. All filled prototypes showed temperature reductions on their faces, whose values for sun exposure and exposure to infrared light, respectively, were 3.2 °C and 9 °C in the structural ceramic prototype; 3.9 °C and 12 °C in the structural concrete prototype; 1.5 °C and 10 °C in the plaster prototype and, finally, 4.1 °C and 9 °C in the ceramic for sealing prototype. Such values indicate, in a preliminary analysis, that this material has a potential for improvement in thermal comfort and energy efficiency in environments whose envelope is filled internally with the residue. In addition, its application inside blocks traditionally used in buildings can be an alternative for a sustainable destination for what would previously have been a disposal element.

**Keywords:** Thermal insulation. Kraft paper. Vertical sealing. Sustainability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Produção anual de cimento Portland no Brasil no período de 2015 a 2019 (em mil toneladas).....	18
Figura 2 - Coleta de RCD nas regiões brasileiras no ano de 2019. ....	20
Figura 3 - Localização do município de Cajazeiras. ....	22
Figura 4 - Fluxograma das etapas de produção do resíduo de papel kraft. ....	24
Figura 5 - Embalagens de cimento secas e descartadas em canteiro de obra.....	24
Figura 6 - Embalagens de cimento antes (esquerda) e após (direita) o processo de limpeza. .	25
Figura 7 - Processo de corte do papel kraft.....	25
Figura 8 - Papel kraft, cortado em tiras e imerso em água.....	26
Figura 9 - Tiras de papel kraft antes da trituração (esquerda) e polpa de fibras após o processamento (direita). ....	26
Figura 10 - Remoção manual do excesso de água (esquerda), grumo formado pela compressão do material (centro), fibras dispersas (direita).....	27
Figura 11 - Resíduo de kraft durante a secagem ao sol. ....	27
Figura 12 - Resíduo final armazenado em embalagem plástica. ....	28
Figura 13 - Vista superior (sem tampo) do aparato de teste destacando dimensões e materiais componentes. ....	29
Figura 14 - Protótipos de SVV preenchidos e quantidade, em massa, de resíduo utilizado em cada preenchimento. ....	30
Figura 15 - Disposição dos protótipos de parede no interior do aparato de teste (ainda aberto, sem colocação do tampo lateral e superior). ....	31
Figura 16 - Protótipos durante a exposição solar, envolvidos por abrigo de EPS.....	32
Figura 17 - Cores representativas da variação de temperatura apresentadas pela câmera termográfica.....	32
Figura 18 - Resultados da exposição solar dos protótipos de cerâmica estrutural, obtidos por câmera termográfica.....	33
Figura 19 - Resultados da exposição solar dos protótipos de concreto estrutural, obtidos por câmera termográfica.....	34
Figura 20 - Resultados da exposição solar dos protótipos de gesso, obtidos por câmera termográfica.....	35

Figura 21 - Resultados da exposição solar dos protótipos de cerâmica de vedação, obtidos por câmara termográfica.....	36
Figura 22 - Resultados obtidos a partir das verificações dos termopares para a face oposta à exposição (gráfico A) e para a face diretamente exposta ao calor (gráfico B) nos protótipos de cerâmica estrutural.....	37
Figura 23 - Resultados obtidos a partir das verificações dos termopares para a face oposta à exposição (gráfico A) e para a face diretamente exposta ao calor (gráfico B) nos protótipos de concreto estrutural.....	38
Figura 24 - Resultados obtidos a partir das verificações dos termopares para a face oposta à exposição (gráfico A) e para a face diretamente exposta ao calor (gráfico B) nos protótipos de gesso.....	39
Figura 25 - Resultados obtidos a partir das verificações dos termopares para a face oposta à exposição (gráfico A) e para a face diretamente exposta ao calor (gráfico B) nos protótipos de cerâmica para vedação.....	40

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>14</b>
3.1 SISTEMAS DE VEDAÇÃO VERTICAL .....	14
3.2 ISOLAMENTO TÉRMICO SOB UMA PERSPECTIVA SUSTENTÁVEL .....	15
3.3 PAPEL KRAFT .....	17
3.4 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD).....	20
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>22</b>
4.1 DESCRIÇÃO DA REGIÃO LOCAL DE ESTUDO.....	22
4.2 MATERIAIS.....	23
4.3 MÉTODOS.....	24
4.3.1 <i>Procedimento para Obtenção do Resíduo de Papel Kraft</i> .....	24
4.3.2 <i>Análise do Isolamento Térmico</i> .....	28
4.3.2.1 Construção do aparato de teste.....	28
4.3.2.2 Construção dos protótipos .....	29
4.3.2.3 Detalhamento dos processos de medição e análise dos dados.....	30
<b>5 RESULTADOS E ANÁLISES</b> .....	<b>33</b>
5.1 ENSAIO DE EXPOSIÇÃO SOLAR .....	33
5.1.1 <i>Protótipos de Cerâmica Estrutural</i> .....	33
5.1.2 <i>Protótipos de Concreto Estrutural</i> .....	34
5.1.3 <i>Protótipos de Gesso</i> .....	35
5.1.4 <i>Protótipos de Cerâmica para Vedação</i> .....	36
5.2 ENSAIO TÉRMICO UTILIZANDO APARATO DE TESTE.....	37

<i>5.2.1 Protótipos de Cerâmica Estrutural</i> .....	37
<i>5.2.2 Protótipos de Concreto Estrutural</i> .....	38
<i>5.2.3 Protótipos de Gesso</i> .....	39
<i>5.2.4 Protótipos de Cerâmica para Vedação</i> .....	40
<b>5.3 DISCUSSÃO</b> .....	41
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país tropical onde uma grande área de seu território tem como realidade temperaturas elevadas e uma alta incidência solar durante boa parte do ano. A Paraíba, por exemplo, é um estado localizado no semiárido do nordeste brasileiro, região climática mais seca do país, onde as temperaturas médias são consideravelmente altas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Nessas regiões, tornou-se comum a adoção da climatização artificial em residências e locais comerciais fechados ou semiabertos para garantir o conforto térmico dos usuários.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (2020), a nível nacional, o setor residencial juntamente com o comercial são responsáveis por quase 50% do consumo energético por classe de uso das edificações, e segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), os condicionadores de ar preenchem uma parcela 20% da demanda de eletricidade em residências.

As previsões são de que essa demanda continue a aumentar nas próximas décadas: o consumo de energia elétrica devido aos aparelhos de ar-condicionado no setor residencial triplicou nos últimos anos e a posse de equipamentos nas residências aumentou 9,0% ao ano entre 2005 e 2017. Isso está relacionado com o crescimento da população, elevação da renda e da maior preferência dos indivíduos por ambientes climatizados (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018).

Apesar de abundantes em determinadas regiões do Brasil, os recursos naturais direcionados para a geração eletricidade no país não são ilimitados, além disso, soma-se o fato de que a produção de energia elétrica demanda grandes investimentos. Dessa forma, precisamos estar cientes de que mantendo os altos índices de consumo, como os atuais, nos setores residencial, comercial e público, poderemos enfrentar crises de abastecimento em dias futuros (BEZERRA, 2003). O aumento das cargas de condicionadores de ar pode elevar não apenas as necessidades gerais de energia como também o agravamento da poluição, incluindo emissões de gases do efeito estufa. Atualmente, existe uma grande oportunidade de reduzir o gasto de energia devido ao uso desses equipamentos por meio de políticas de eficiência energética (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018).

Tal eficiência energética pode ser definida, segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), como o potencial de uma edificação em possibilitar um conforto térmico, visual e acústico com baixo gasto de energia. Dessa maneira podemos ter, por exemplo, uma construção energeticamente mais eficiente que outra quando esta proporciona as mesmas condições

ambientais com menor consumo energético. Tendo em vista esse aspecto, o isolamento térmico (característica do material que permite a redução do fluxo ou da transferência de calor) em elementos construtivos como paredes, telhados ou pisos, por exemplo, pode ser estudado objetivando a criação de técnicas construtivas que possam reduzir as flutuações de temperatura e evitar ganhos térmicos excessivos nos ambientes (BARRETO, 2020).

Somado ao conceito de eficiência energética, uma segunda vertente de sustentabilidade abordada nessa pesquisa é a reciclagem de um resíduo de construção e demolição bastante comum: as embalagens constituídas por papel kraft, amplamente utilizadas por sua resistência para o acondicionamento de cimento e cal.

Segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2019), a produção nacional desse material em 2019 foi de aproximadamente 56,6 milhões de toneladas. Desse valor, 68% são despachados na forma ensacada. Se considerarmos, de modo análogo a Buson (2009), que a embalagem para saco de cimento de 50 kg pesa em média 150g, temos uma estimativa de que aproximadamente 770 milhões de embalagens foram utilizadas com essa finalidade no ano de 2019, a maior parte sendo desprezada de maneira precária.

A dificuldade na reutilização deste papel vem do contato com o cimento Portland que acaba tornando-o inadequado a processos de consumos secundários e ainda o desqualifica para os processos convencionais de reciclagem, sendo por fim, descartado de forma inapropriada em “lixões”, aterros sanitários ou nos chamados “bota-foras” de materiais de construção (SCHMAL; AVILA, 2008).

Diante do exposto acima e considerando que a construção civil é um dos setores com maior participação na produção de entulho e consumo de matérias primas, é fundamental que se busque desenvolver práticas sustentáveis que reduzam e absorvam os resíduos gerados e que minimizem os impactos na utilização de recursos naturais.

Portanto, partindo do conceito de desenvolvimento sustentável, esta pesquisa busca avaliar o isolamento térmico em quatro sistemas de vedação vertical utilizando unidades preenchidas com resíduo de papel Kraft, proveniente de embalagens de cimento Portland, promovendo uma análise comparativa do desempenho em relação à amostras não preenchidas. Dessa forma, pretende-se concluir se este material se constitui em uma solução que minimiza impactos ambientais através da redução do gasto de energia elétrica por climatização artificial, além de promover um destino sustentável para um dos mais comuns resíduos de construção civil.

## **2 OBJETIVOS**

Nesse capítulo estão expostos a seguir os objetivos gerais e específicos delimitados para a implementação desta pesquisa.

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar o isolamento térmico conferido por resíduo de papel Kraft, quando utilizado como preenchimento em sistemas de vedação vertical.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar pesquisas bibliográficas acerca da problemática abordada;
- Coletar e beneficiar as embalagens de cimento;
- Quantificar o isolamento térmico nos protótipos;
- Comparar o comportamento das amostras;
- Avaliar a viabilidade técnica do material em questão como produto sustentável.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 SISTEMAS DE VEDAÇÃO VERTICAL

De acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) os sistemas de vedação vertical (SVV) internos e externos podem ser definidos como os elementos que limitam verticalmente a edificação habitacional e seus ambientes, como fachadas, paredes e divisórias internas.

Além das principais funções de separação dos ambientes e proteção do edifício, as vedações apresentam funções secundárias como o suporte e acondicionamento das diversas instalações, proteção de equipamentos utilizados e a criação de condições de habitabilidade, por exemplo (LORDSLEEM, 2000).

Em uma edificação, os sistemas de vedação e de cobertura possuem influência direta sobre a eficiência energética e no conforto térmico, uma vez que, compondo a envoltória da habitação, estabelecem as trocas energéticas entre os ambientes internos e o meio exterior. Desse modo, torna-se imprescindível que esses elementos sejam capazes de fornecer um adequado isolamento térmico, a fim de proporcionar condições apropriadas de desempenho e habitabilidade (GORSKI *et al.*, 2019).

Os SVV podem ter origem e constituição das mais variadas, os mais usuais empregados na região são:

- **Blocos de gesso:** podendo ter formas maciças ou vazadas, são componentes pré-moldados produzidos a partir de sulfato de cálcio e água, podendo em sua composição ser adicionadas fibras, agregados e outros aditivos (LORDSLEEM; NEVES, 2011 apud CAMPOS; CALAZANS, 2017). As dimensões nominais dos blocos são de 50 cm x 66,7cm, com espessuras de 7cm (vazado ou compacto) e 10cm (compacto) unidos com fina camada de cola de gesso. Apresentando boa resistência e rigidez, é um sistema de vedação leve, que sobrecarrega menos a estrutura, além de promover um aumento de produtividade e de economia de recursos devido a facilidade em sua execução (SOBRINHO *et al.*, 2010).

- **Blocos estruturais concreto:** moldado por meio de vibração e prensagem de forma simultânea, o bloco estrutural de concreto é usualmente constituído por uma mistura homogênea de cimento Portland, agregado miúdo e graúdo, água e aditivos (GORSKI *et al.*, 2019). Se constituem em uma ótima solução construtiva, trazendo benefícios para a estética final e execução da edificação através de fatores como a redução no uso de fôrmas e mão-de-obra, facilidade na aplicação dos revestimentos e regularização das paredes, redução de

desperdícios e geração de entulho, eliminação da necessidade de rasgos para embutir tubulações, além de promover rapidez no processo executivo (BRAVO, 2014).

- **Blocos de cerâmica para vedação:** segundo a NBR 15270-1 (ABNT, 2005a), são elementos cuja principal composição é a matéria-prima argilosa, podendo ou não conter aditivos, sendo submetidos em seu processo de fabricação à queima em elevadas temperaturas. Tradicionais constituintes das alvenarias de vedação externas ou internas, não possuem a função de resistir a cargas verticais que não sejam as provenientes de seu peso próprio. Possuem furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm, podendo ser usados na horizontal ou na vertical. Com tamanhos e formas variadas, os blocos de vedação cerâmicos usualmente utilizados na região de estudo são os de 8 e 6 furos, cujas dimensões são 9x19x19 e 9x14x19 cm, respectivamente.

- **Blocos estruturais de cerâmica:** de acordo com a NBR 15270-2 (ABNT, 2005b), são componentes estruturais que possuem furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm (devendo ser assentados com furos na vertical). Assim como os blocos de vedação, sua matéria-prima principal é a argila (com ou sem aditivos), submetidos a queima em altas temperaturas durante sua fabricação. De acordo com a forma e disposição dos furos, podem ser divididos em bloco cerâmico com paredes vazadas, com paredes maciças (sendo as paredes internas também maciças ou vazadas) e bloco cerâmico perfurado.

### 3.2 ISOLAMENTO TÉRMICO SOB UMA PERSPECTIVA SUSTENTÁVEL

A gradual substituição de ambientes naturais por áreas urbanas promove uma diminuição da umidade relativa do ar e um aumento das temperaturas na escala local. A ocorrência desse fenômeno é causada por diversos fatores, como a redução da área verde, a canalização de rios, o aumento de indústrias que lançam poluentes na atmosfera e outras atividades inerentes à vida urbana (LIMA; AMORIM, 2010). Além desse fator, diversas regiões do Brasil, em especial a região nordeste, onde está localizada a cidade de Cajazeiras-PB, são naturalmente caracterizadas por elevados índices de insolação, o que ocasiona acréscimos das cargas térmicas no interior das edificações, gerando um aumento na busca por climatização artificial e, conseqüentemente, intensificando os gastos ambientais e financeiros com energia elétrica.

Segundo Frota e Schiffer (1995 apud NOVAIS *et al.*, 2014), em uma estrutura, todos os elementos possuem uma parcela de participação no conforto térmico, entretanto, depois da cobertura, a parede é o principal elemento responsável pela absorção de calor existente no

interior da edificação. De acordo com Souza (2017), os materiais construtivos aplicados na envoltória de uma construção devem ser empregados de modo a proporcionar uma melhor adequação do edifício ao meio que o cerca, em função das condições climáticas do local em questão.

A aplicação de sistemas de isolamento térmico existe desde a Grécia antiga, entretanto, no último século manifestou-se um aumento de sua utilização em novas obras do setor da construção civil (SILVA, 2013).

Dentre os materiais de isolamento mais tradicionais, segundo Oliveira (2009), encontram-se as mantas e painéis compostos de fibras minerais ou fibras orgânicas flexíveis, as espumas em grânulos e os flocos de lãs minerais. A resistência térmica desses elementos ocorre, principalmente, em decorrência da grande quantidade de ar presente entre as fibras ou confinado dentro das pequenas células formadas ao longo do processo de expansão das espumas e isolantes granulares. Todavia, de acordo com Mendes *et al.* (2012), diversos materiais podem ser empregados com a função de isolamento térmico, desde que desempenhem a função de minimizar a taxa de transferência de calor entre um sistema e o meio, mantendo um adequado armazenamento de energia no material.

O emprego do isolamento térmico nas alvenarias e outros elementos de vedação promove diversas vantagens, dentre as quais podemos citar: a economia e eficiência energética, em função da redução nas necessidades de resfriamento em ambientes internos ou parcialmente fechados; a diminuição do peso nas paredes (em geral, quando aplicados na composição interna dos elementos); o potencial de absorção de resíduos sólidos, como métodos alternativos e sustentáveis de promover o isolamento térmico.

No tocante ao ponto citado anteriormente, diversos estudos vêm sendo elaborados nos últimos anos, com o objetivo de analisar propriedades isolantes em materiais descartados, como resíduos sólidos urbanos (RSU) e de construção civil (RCC), por exemplo. Dentre esses estudos, podemos citar a pesquisa desenvolvida por Dunel (2020) que analisou o desempenho térmico de um tijolo ecológico elaborado a partir de resíduo sólido domiciliar. Oliveira (2009), por sua vez, estudou as propriedades térmicas e físico-mecânicas de compósitos à base de gesso incorporados com resíduos da indústria de calçados (EVA) juntamente com vermiculita. Ainda, podemos citar Barreto (2020), que realizou a fabricação de tijolos prensados de solo-resíduo-cimento com incorporações de resíduo de construção civil (RCC) e resíduo de pedras ornamentais (RPPO), avaliando seus desempenhos térmico e acústico.

Nos casos supracitados, os resultados obtidos foram majoritariamente satisfatórios, o que encoraja o estudo das propriedades térmicas de materiais reciclados, de modo a combinar o isolamento promovido por tais elementos com a destinação adequada e sustentável dos mesmos.

### 3.3 PAPEL KRAFT

Kraft, termo de origem alemã que significa forte, faz referência a um papel de elevada resistência à tração, ao rasgo e arrebentamento, isso o torna um dos papeis mais demandados na confecção de elementos que necessitam de alta resistência mecânica como embalagens e embrulhos, por exemplo (DIAS, 2017).

Tal resistência é proveniente de um processo de fabricação com fibras de celulose longas (ALVES, 2016). No Brasil, as duas principais fontes de madeira utilizadas na produção de celulose são as florestas plantadas de pinus ou pinheiros (de onde se obtêm fibras longas) e de eucalipto (onde são obtidas fibras curtas), sendo estas responsáveis por mais de 98% do volume produzido. De modo alternativo, algumas indústrias também produzem sacos para embalagens de cimento utilizando celulose proveniente de bambu (BRACELPA, 2012).

O método químico dos sulfatos (também chamado de método kraft) é a técnica de polpação mais utilizada para se obter as fibras celulósicas empregadas na confecção do papel em questão. O processo consiste no cozimento da matéria prima em soluções alcalinas a elevadas temperaturas (170 °C), com a finalidade de decompor os elementos não celulósicos. Esse processo apresenta bons resultados, apesar das desvantagens de alto custo e de ser mais poluente em comparação com outras técnicas (SILVA, 2002).

Segundo a BRACELPA (2012), de acordo com sua utilização em embalagens pesadas, o papel kraft pode ser classificado como:

- **Kraft natural para sacos multifoliados:** composto essencialmente de fibra longa, geralmente nas gramaturas de 80 a 90 g/m<sup>2</sup>, é resistente ao rasgo e ao estouro e usado na fabricação de sacos e embalagens industriais de grande porte.

- **Kraft extensível:** composto essencialmente de fibra longa, geralmente nas gramaturas de 80 a 100 g/m<sup>2</sup>. Altamente resistente ao rasgo e a energia absorvida na tração. Possui alongamento no sentido longitudinal maior ou igual a 8%. Usado para embalagem de sacos de papel.

- **Kraft natural ou em cores para outros fins:** constituído essencialmente de fibra longa, geralmente com 30 a 150 g/m<sup>2</sup> de gramatura, podendo ser monolúcido ou alisado e com

resistência mecânica similar ao "Kraft natural para sacos multifoliados". Empregado em sacos de pequeno porte, sacolas e embalagens em geral.

- **Kraft branco ou em cores:** essencialmente de fibra longa, geralmente com 30 a 150 g/m<sup>2</sup>, monolúcido ou alisado. É usado como folha externa em sacos multifoliados, sacos de açúcar e farinha, sacolas e, nas gramaturas mais baixas, em embalagens individuais de balas etc.

- **Tipo kraft de 1<sup>a</sup>:** papel de embalagem, semelhante ao "Kraft Natural ou em Cores", porém com menor resistência mecânica, geralmente com mais de 40 g/m<sup>2</sup>, monolúcido ou não. Usado geralmente para saquinhos etc.

- **Tipo kraft de 2<sup>a</sup>:** semelhante ao "Tipo Kraft de 1<sup>a</sup>", porém com resistência mecânica inferior, geralmente com mais de 40 g/m<sup>2</sup>, monolúcido ou não. Usado para embrulhos e embalagens em geral.

O kraft multifoliado, ponto de interesse neste trabalho, além de possuir uma excelente resistência mecânica, possui um bom comportamento quando exposto a temperaturas altas, como as apresentadas pelo cimento durante seu processo de lançamento nas embalagens, pois mesmo após o resfriamento, o material é introduzido nos sacos com cerca de 60 °C (CIMENTO ITAMBÉ, 2007).

Nos anos de 2006 a 2010, época em que ocorreram massivos investimentos na construção civil no país, a BRACELPA (2012) estimou que o consumo de papel para embalagens sofreu um aumento de 5kg/habitante durante o período. Em 2019, o relatório anual do SNIC forneceu dados estatísticos acerca do consumo anual de cimento no Brasil, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Produção anual de cimento Portland no Brasil no período de 2015 a 2019 (em mil toneladas).



Fonte: SNIC, 2019.

Da quantidade de cimento produzida em 2019, cerca de 68% foi despachada na forma ensacada (SNIC, 2019).

Após a utilização do cimento na obra, a embalagem, mesmo possuindo boas características de resistência, se encontra contaminada por esse material, o que dificulta o processo de reciclagem das fibras (BUSON, 2009). Dessa forma, segundo Alves (2016), em muitas ocasiões esses elementos acabam se tornando vilões residuais na construção civil, uma vez que estão presentes na grande maioria das obras, e em grandes quantidades. Schmal e Ávila (2008) estimam, como exemplo, que um prédio de padrão construtivo elevado com 20 andares gera 55 mil embalagens de cimento e argamassa durante um ano de obra, e devido à dificuldade na sua reciclagem, a maior parte é lançada de forma inadequada em lixões, aterros ou “bota-foras” de materiais de construção.

Entretanto, esse resíduo detém um grande potencial de aproveitamento na produção de novos componentes alternativos para habitações, onde se busca a melhoria das propriedades técnicas e econômicas desses elementos, assim como uma maior sustentabilidade ambiental. Desse modo, faz-se necessário ampliar o conhecimento de novas opções construtivas na concepção de habitações, sejam estas de interesse social ou não, avaliando a possibilidade de desenvolver materiais de boa qualidade e baixo custo, a partir de subprodutos industriais, disponíveis localmente, promovendo a investigação de suas potencialidades (BUSON, 2009).

Diversos trabalhos relacionados com a análise do uso do papel kraft em componentes construtivos demonstraram bons resultados da aplicação desse material no desenvolvimento de elementos sustentáveis. Podemos citar, como exemplo, o trabalho elaborado por Santos e Carvalho (2011), que verificou a influência da adição de fibras kraft em argamassas para assentamento de alvenaria de vedação e obteve resultados satisfatórios, com desempenho superior em um dos traços aplicados quanto à resistência de aderência e no combate à fissuração causada por retração.

Ainda, pode-se citar a pesquisa de Buson (2009), que desenvolveu um novo compósito incorporado de fibras celulósicas, provenientes da reciclagem de embalagens de cimento, para a produção de blocos de terra compactada (BTCs), o qual nomeou de *Krafterra*, constatando melhoras no desempenho do elemento quanto a resistência à compressão simples e diagonal, retração e resistência ao fogo, em comparação com valores obtidos com blocos de solo-cimento.

Perante o exposto acima, percebe-se a importância na busca de soluções que possam encaminhar materiais rejeitados a destinos ambientalmente e economicamente vantajosos, de

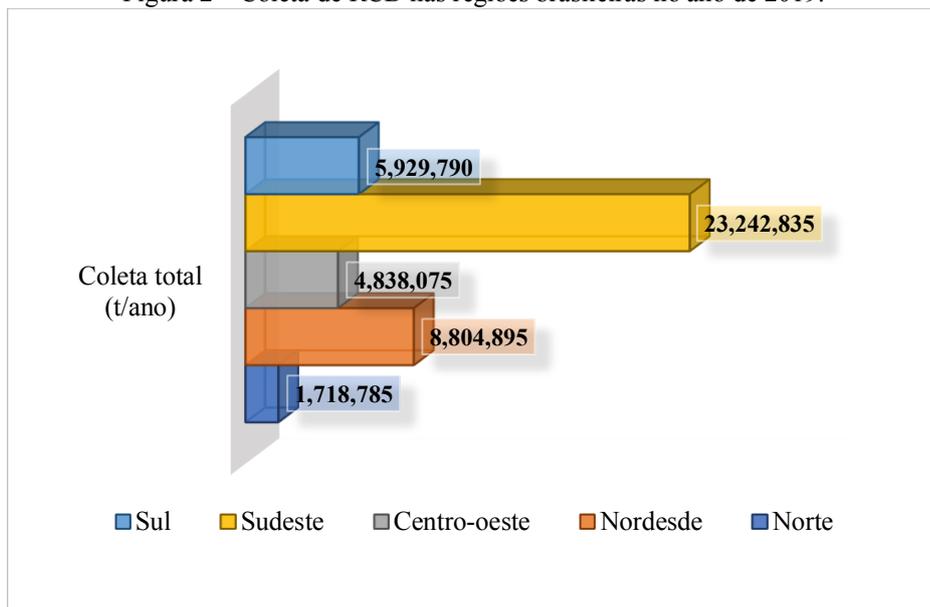
modo a tornar a construção civil mais sustentável e eficiente, através incorporação dos resíduos que produz.

### 3.4 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

A construção civil é, indiscutivelmente, um dos setores de grande importância e impacto na economia e no desenvolvimento social de um país. Entretanto, tal destaque não inclui apenas pontos positivos, pois embora seja uma das áreas que mais gera riqueza e empregos no Brasil, a construção civil também se apresenta como um dos principais geradores de resíduos.

De acordo com Topping (1998), estima-se que, mundialmente, são gerados cerca de 2 a 3 bilhões de resíduos de construção e demolição por ano. No Brasil, segundo dados fornecidos pela ABRELPE (2020), no ano de 2019 a coleta de RCD pelos municípios foi de aproximadamente 44,5 milhões de toneladas. A região nordeste, segunda no ranking, coletou cerca de 8,8 milhões de toneladas no referido ano, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Coleta de RCD nas regiões brasileiras no ano de 2019.



Fonte: ABRELPE, 2020.

A Resolução do CONAMA nº 307/2002 (BRASIL, 2002) (alterada pelas Resoluções nº 348/2004, 431/2011, 448/2012 e 469/2015), estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Tal resolução, com o intuito de facilitar a quantificação, identificação e os processos de redução, reutilização, reciclagem e destinação adequada dos resíduos (ALVES, 2016), divide esses elementos em quatro classes distintas, descritas a seguir:

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (Redação dada pela Resolução nº 469/2015);

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (Redação dada pela Resolução nº 431/11);

IV - Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (Redação dada pela Resolução nº 348/04) (BRASIL, 2002).

Os sacos de cimento descartados, de acordo com a classificação exposta acima, poderiam em uma primeira análise ser enquadrados na classe B, entretanto, vale destacar que essas embalagens estão contaminadas com restos residuais de cimento (material não perigoso, mas que dificulta o processo de reciclagem). Desse modo, segundo o SINDUSCON-SP (2015), uma classificação mais adequada para as embalagens de papel kraft utilizadas no acondicionamento de materiais cimentícios é a classe C.

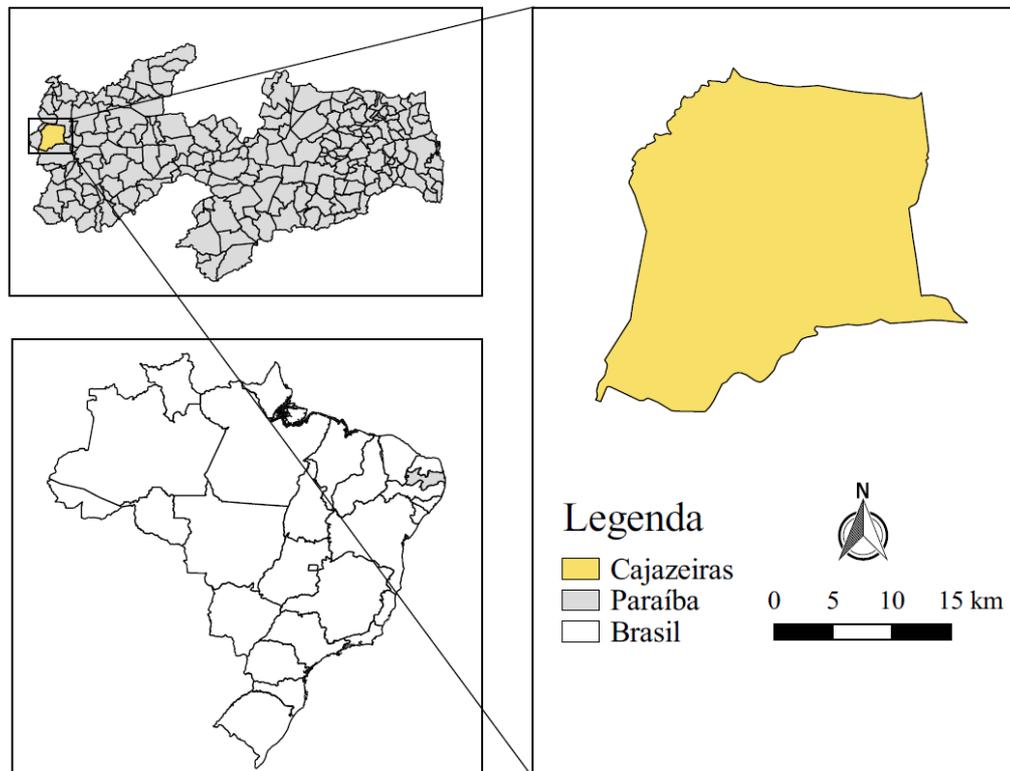
## 4 METODOLOGIA

Este trabalho, desenvolvido na cidade de Cajazeiras – PB, é uma pesquisa de natureza experimental e quantitativa. Sua concepção prática foi dividida nas seguintes etapas: obtenção dos materiais necessários à elaboração dos testes; manipulação e beneficiamento das embalagens de cimento a fim de se produzir o resíduo almejado; construção de um aparato testes e protótipos, realização dos ensaios com o aparato, realização dos ensaios de exposição solar e, por fim, levantamento e análise dos dados obtidos.

### 4.1 DESCRIÇÃO DA REGIÃO LOCAL DE ESTUDO

O município de Cajazeiras (Figura 3), localizado no interior do estado da Paraíba, pertence a mesorregião do sertão paraibano. Ocupando uma área de 565,899 km<sup>2</sup>, com a população (de acordo com censo de 2010) de 58.446 habitantes, é classificado como sétimo maior município em população da Paraíba (IBGE, 2021).

Figura 3 – Localização do município de Cajazeiras.



Fonte: Autoria Própria, 2021.

Com clima semiárido, a estação chuvosa é curta (ocorrendo, usualmente, entre os meses de janeiro e abril), com precipitação média anual de aproximadamente 930 mm (AESA, 2020).

A estação seca possui altas temperaturas, ventos fortes e céu parcialmente encoberto. Ao longo do ano, em geral, a temperatura varia de 19 °C a 38 °C, raramente sendo inferior a 18 °C ou superior a 39 °C (WEATHER SPARK, 2021).

O período mais radiante (em termos de luz solar) do ano dura 2,8 meses, indo de 8 de setembro a 3 de dezembro, apresentando média diária de energia de ondas curtas incidente por metro quadrado acima de 7,3 kWh. O período mais escuro do ano dura 3,8 meses, de 29 de março a 22 de julho, com média diária de energia de ondas curtas incidente por metro quadrado abaixo de 6,2 kWh. Na região, a duração do dia não varia significativamente: cerca de 31 minutos a mais ou a menos de 12 horas no ano inteiro (WEATHER SPARK, 2021).

As características apresentadas acima, em especial as altas temperaturas e forte incidência solar, se apresentam como um empecilho no conforto diário da população residente do município, agente de incentivo para a busca de soluções que consigam amenizar esses fatores, contribuindo para a comodidade social e do meio ambiente.

## 4.2 MATERIAIS

O início da etapa prática se deu pela coleta e obtenção dos materiais. As embalagens de cimento foram facilmente encontradas e gratuitamente coletadas em diversas obras do município. Os sistemas de vedação utilizados nos ensaios foram: blocos estruturais cerâmicos e de concreto, blocos cerâmicos de vedação com 8 furos e blocos de gesso, todos obtidos na cidade de Cajazeiras em lojas de materiais de construção.

Os sistemas analisados foram escolhidos com base na sua tradicional utilização na região (blocos cerâmicos de 8 furos e placas de gesso para vedação) e pelo potencial crescimento de sua aplicação em novas edificações no município (blocos estruturais).

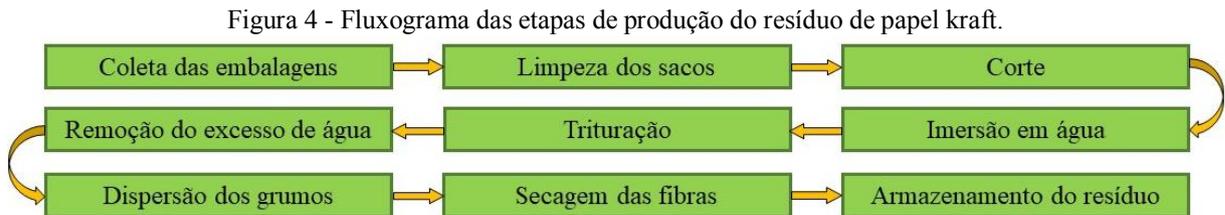
Além dos componentes de vedação e do resíduo de papel kraft, foi elaborado um aparato de madeira de pinus revestido internamente com EPS, com a função de isolar os protótipos de parede das variações externas de temperatura e fornecer, através de uma fonte de calor anexada na extremidade, a energia térmica necessária ao ensaio. Juntamente com o aparato, serão usados termopares para medição da temperatura.

Ainda, foi utilizada na análise dos protótipos à exposição solar, uma câmera termográfica (modelo FLIR i7, resolução de infravermelho com 120 x 120 pixels e frequência de imagem de 9 Hz).

## 4.3 MÉTODOS

### 4.3.1 Procedimento para Obtenção do Resíduo de Papel Kraft

As embalagens de cimento passaram por um processo de reciclagem que incluiu diversas etapas até a obtenção do resíduo final desejado. A Figura 4 exibe o fluxograma desse processo e em seguida são apresentadas as descrições detalhadas de cada etapa.



Fonte: Autoria Própria, 2021.

Inicialmente, foram coletadas cerca de 50 embalagens de cimento descartadas por obras de construção no município (Figura 5). Cada embalagem, segundo Alves (2016), pesa em média 150g (para sacos de cimento de 50kg) e são multifoliadas, contendo duas folhas de aproximadamente 80 a 90 g/m<sup>2</sup> de gramatura.

Figura 5 - Embalagens de cimento secas e descartadas em canteiro de obra.

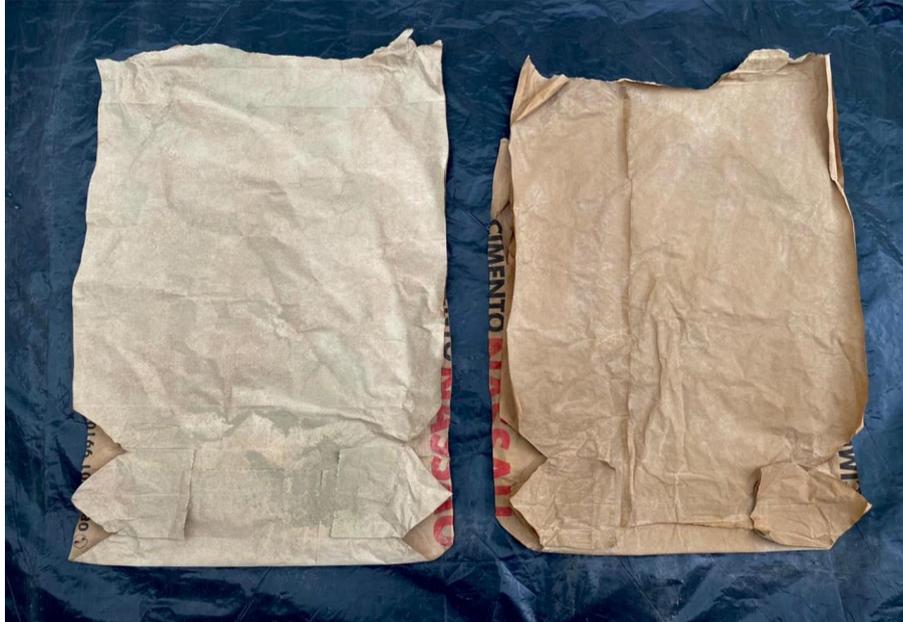


Fonte: Autoria Própria, 2021.

Após a coleta e retirada do excesso exterior de poeira, os sacos foram cortados e abertos para realização de uma limpeza minuciosa da parte interna, utilizando um escovão e em seguida um pano umedecido, em especial nas áreas de dobras e fechamento, onde existia uma grande concentração de restos de cimento. É um cuidado necessário pois, segundo Buson (2009), em embalagens que foram expostas a umidade excessiva ou tiveram contato com água, o cimento

pode formar pedriscos ou até mesmo placas rígidas no fundo dos sacos, material que pode danificar o equipamento de reciclagem. A Figura 6 ilustra o papel antes e após a realização da limpeza.

Figura 6 - Embalagens de cimento antes (esquerda) e após (direita) o processo de limpeza.



Fonte: Autoria Própria, 2021.

A etapa seguinte foi o corte das embalagens (Figura 7). Primeiro, de forma manual, os sacos foram divididos em retângulos menores (com cerca de 30 cm de altura) para que, em seguida, pudessem ser introduzidos em uma fragmentadora automática com 200W de potência, onde estes eram cortados em tiras de 6mm da largura.

Figura 7 – Processo de corte do papel kraft.



Fonte: Autoria Própria, 2021.

Após o corte, as tiras foram deixadas imersas em água por cerca de 24h (Figura 8), procedimento que visava auxiliar na trituração do papel, facilitando a dispersão das fibras. Além disso, a imersão em água ajudava a retirar eventuais restos de cimento que pudessem estar presentes nos sacos.

Figura 8 - Papel kraft, cortado em tiras e imerso em água.



Fonte: Aatoria Própria, 2021.

Para a obtenção do resíduo foi feita a trituração das tiras utilizando um processador com potência de 750W. O material, inserido no equipamento por partes juntamente com água, era pulsado por alguns segundos até se obter uma polpa de fibras integralmente dispersas (Figura 9).

Figura 9 - Tiras de papel kraft antes da trituração (esquerda) e polpa de fibras após o processamento (direita).



Fonte: Aatoria Própria, 2021.

Na etapa de trituração a polpa retém bastante água, diante disso, o material foi disposto em uma peneira e comprimido para remoção do excesso de líquido (Figura 10).

Figura 10 - Remoção manual do excesso de água (esquerda), grumo formado pela compressão do material (centro), fibras dispersas (direita).



Fonte: Autoria Própria, 2021.

Posteriormente, as fibras foram dispersas manualmente e colocadas acima de uma lona plástica para que a exposição ao sol pudesse finalizar sua secagem (Figura 11).

Figura 11 - Resíduo de kraft durante a secagem ao sol.



Fonte: Autoria Própria, 2021.

Após a secagem completa, processo que levava aproximadamente 24h devido às altas temperaturas da região, o resíduo resultante foi recolhido e armazenado, como ilustrado na Figura 12, finalizando o processo de reciclagem.

Figura 12 - Resíduo final armazenado em embalagem plástica.



Fonte: Autoria Própria, 2021.

#### 4.3.2 Análise do Isolamento Térmico

O isolamento térmico conferido pelo resíduo de papel kraft, quando usado como enchimento em sistemas de vedação vertical, foi avaliado através da construção de protótipos de parede, onde foi realizada uma comparação do desempenho proporcionado pelas unidades preenchidas em relação às não preenchidas.

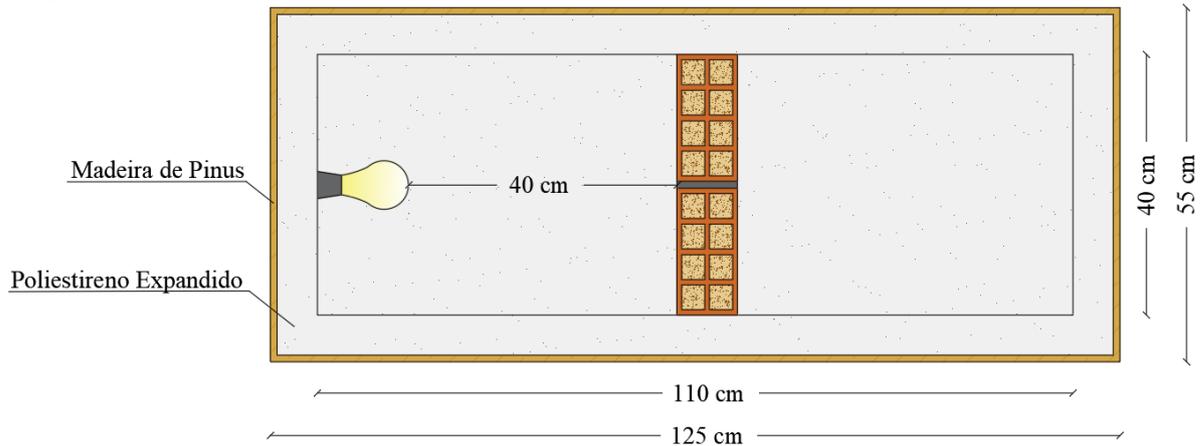
Segundo Giglio e Barbosa (2006), diferentes métodos alternativos às metodologias normativas podem ser abordados para realizar avaliação térmica em sistemas construtivos. Na presente pesquisa, foram abordados dois métodos: o primeiro, através da elaboração de um aparato de teste juntamente com a utilização dos protótipos viabilizou a concepção prática do estudo, através da economia de recursos financeiros, do número de amostras e também do espaço ocupado para a realização dos ensaios. O segundo, de modo a reforçar resultados obtidos pelo procedimento anterior, utilizou a exposição dos protótipos à luz solar e a verificação das temperaturas por meio de câmera termográfica.

##### 4.3.2.1 Construção do aparato de teste

O aparato de teste confeccionado para essa pesquisa consistia em um equipamento que permitisse resguardar os protótipos das variações externas de temperatura, assim como evitar a dissipação do calor gerado ao longo do ensaio. O aparelho era composto de uma câmara construída com madeira de pinus e revestida internamente com placas de EPS (poliestireno

expandido) de 6 cm de espessura, com a finalidade de acentuar o isolamento. Em uma de suas extremidades foi acoplada a fonte de calor, constituída por uma lâmpada infravermelha de 250 watts. As dimensões internas de altura, largura e comprimento adotadas foram 40x40x110cm, como esquematizado na Figura 13. Para a elaboração desse aparato foram seguidas metodologias similares as utilizadas por Barreto (2020) e Guilherme (2019), sendo realizadas as devidas adaptações necessárias.

Figura 13 - Vista superior (sem tampo) do aparato de teste destacando dimensões e materiais componentes.



Fonte: Autoria Própria, 2021.

#### 4.3.2.2 Construção dos protótipos

Os protótipos de parede eram constituídos por uma fiada simples de blocos unidos com argamassa (no caso da alvenaria cerâmica de vedação e da alvenaria estrutural cerâmica e de concreto). Para o protótipo de gesso foi usada uma placa de vedação simples. As dimensões de altura x comprimento das paredes foram de 40x40cm e suas faces foram expostas diretamente à fonte de calor, sem utilização de revestimento.

O enchimento dos blocos preenchidos foi feito manualmente, com a inserção do resíduo em 3 camadas, entre as quais era feita uma compactação do material utilizando uma haste de madeira compatível com a abertura do alvéolo. Cada protótipo era integralmente preenchido da base à extremidade superior, até que não fosse mais possível, de forma manual, compactar e adicionar material. Após a realização dos ensaios, os blocos foram esvaziados e o material de preenchimento foi retirado e pesado, objetivando a quantificação de resíduo usado em cada protótipo de sistema de vedação, como mostra a Figura 14.

Figura 14 – Protótipos de SVV preenchidos e quantidade, em massa, de resíduo utilizado em cada preenchimento.

Sistema de Vedação Vertical	Quantidade de resíduo no preenchimento	Sistema de Vedação Vertical	Quantidade de resíduo no preenchimento
 Gesso	545 g	 Cerâm. Vedação	1145 g
 Cerâm. Estrutural	1990 g	 Concreto Estrutural	1260 g

Fonte: Autoria Própria, 2021.

#### 4.3.2.3 Detalhamento dos processos de medição e análise dos dados

- **Ensaio realizado com o aparato de teste:** os protótipos, posicionados dentro do aparato (com a face a 40cm de distância da fonte de calor), foram equipados com dois termopares, um na face exposta à fonte e outro na face oposta, dispostos de maneira centralizada. As verificações de temperatura foram realizadas durante um período de 4 horas (de modo a simular o tempo de exposição durante o turno da tarde, onde ocorrem as maiores incidências solares e altas temperaturas na região). Os valores foram tomados em intervalos de 30 minutos. Para evitar eventuais oscilações que pudessem interferir nos resultados, todos os ensaios foram realizados em um ambiente cuja temperatura foi mantida fixa em 25 °C. Esse procedimento de análise se aproxima do método conhecido como placa quente protegida, onde, segundo Barreto (2020), uma fonte de calor conhecida é transmitida pelo elemento e termopares fazem a leitura do fluxo através do material. Os testes utilizando o aparato confeccionado para os ensaios térmicos conseguiram fornecer iguais condições para todos os protótipos, visto que estes eram expostos a uma mesma fonte de calor (lâmpada infravermelha) e protegidos das variações externas de temperatura. A Figura 15 mostra a disposição dos protótipos dentro dos caixotes, antes da vedação dos mesmos.

Figura 15 - Disposição dos protótipos de parede no interior do aparato de teste (ainda aberto, sem colocação do tampo lateral e superior).



Fonte: Autorial Própria, 2021.

- **Ensaio de exposição solar:** em um ambiente aberto, os mesmos protótipos utilizados no método anterior foram submetidos à exposição solar durante o período das 12:00h às 15:00h. Utilizando uma câmera termográfica, a temperatura das faces foi averiguada em intervalos de 60 minutos. Os ensaios ocorreram em quatro dias (cada par de protótipos foi testado em um dia distinto) de modo a promover um adequado posicionamento dos elementos no espaço reservado aos testes, evitando dessa forma, a ocorrência de sombreamento ou outros fatores que pudessem prejudicar a exposição. Para melhor simular um ambiente fechado, os protótipos foram isolados em um abrigo de EPS, deixando somente a face externa exposta ao sol, como mostra a Figura 16. Durante a verificação da temperatura nas faces opostas, os abrigos eram removidos a cada hora e, após as capturas de imagem, os mesmos eram recolocados para uma nova fase de aquecimento.

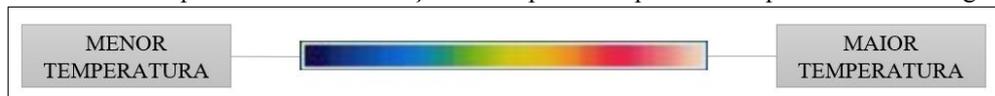
Figura 16 - Protótipos durante a exposição solar, envolvidos por abrigo de EPS.



Fonte: Autorial Própria, 2021.

Vale destacar que a câmera termográfica se utiliza de uma variação de cores para representar as diferentes temperaturas (ver Figura 17), onde tais cores vão de um azul escuro (menor temperatura) passando pelo verde, amarelo, alaranjado, vermelho e branco (temperatura mais quente).

Figura 17 - Cores representativas da variação de temperatura apresentadas pela câmera termográfica.



Fonte: Autorial Própria, 2021.

Através dos dados fornecidos pelos ensaios acima, a análise dos resultados foi feita com base na construção de curvas de temperatura traçadas a partir dos valores obtidos, assim como na observação comparativa das imagens capturadas pela câmera termográfica.

## 5 RESULTADOS E ANÁLISES

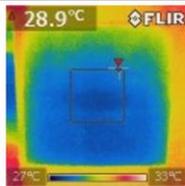
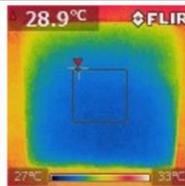
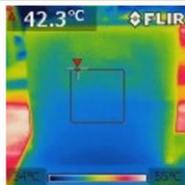
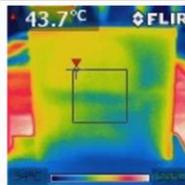
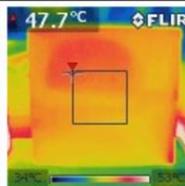
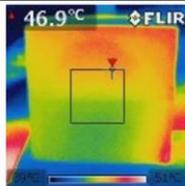
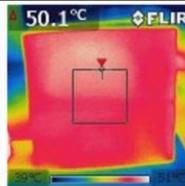
A seguir, os resultados obtidos através dos métodos abordados serão expostos em duas sessões. Após, são apresentadas em um terceiro tópico, a análise desses resultados e particularidades pertinentes a cada ensaio.

### 5.1 ENSAIO DE EXPOSIÇÃO SOLAR

#### 5.1.1 Protótipos de Cerâmica Estrutural

A Figura 18 apresenta as imagens e temperaturas obtidas pela câmera termográfica para as faces opostas à exposição solar nos protótipos de cerâmica estrutural.

Figura 18 - Resultados da exposição solar dos protótipos de cerâmica estrutural, obtidos por câmera termográfica.

BLOCO CERÂMICO ESTRUTURAL	TEMPO DE EXPOSIÇÃO	BLOCO PREENCHIDO	BLOCO VAZIO	DIFERENÇA DE TEMP.
	0 MIN.			0 °C
	60 MIN.			1,4 °C
	120 MIN.			2,4 °C
	180 MIN.			3,2 °C

Fonte: Autoria Própria, 2021.

A figura mostra que, ao início do ensaio, não havia diferença de temperatura entre os protótipos (ambos com 28,9 °C). Visto que, no dia de ocorrência do procedimento, o céu encontrava-se limpo e a presença de nuvens foi pouco influente na exposição, a temperatura dos blocos tendeu a aumentar ao longo do tempo, assim como a diferença térmica entre eles,

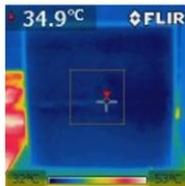
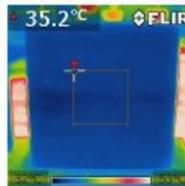
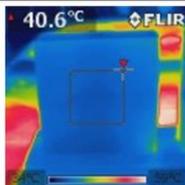
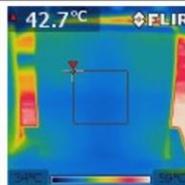
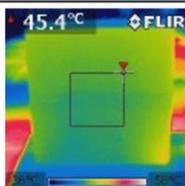
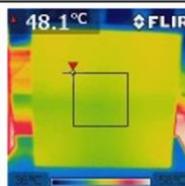
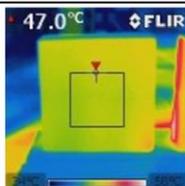
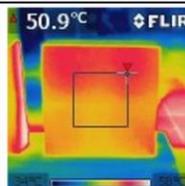
promovida pelo isolamento: com 1 hora, essa diferença foi de 1,4 °C (representando uma redução de 3,2% em relação à temperatura do bloco vazio, ou seja, o mesmo estaria 3,12% menos quente caso estivesse preenchido), crescendo para 2,4 °C com 2 horas (redução de 5,3%) e 3,2 °C (redução de 6,38%) ao final do teste.

A temperatura das faces diretamente expostas ao sol foi verificada ao final do ensaio, de modo a fornecer uma noção do nível de aquecimento frontal dos elementos, apresentando valores de 70,7 °C e 69,5 °C para o protótipo vazio e preenchido, respectivamente.

### 5.1.2 Protótipos de Concreto Estrutural

A Figura 19 apresenta as imagens e temperaturas obtidas pela câmera termográfica para as faces opostas à exposição solar nos protótipos de concreto estrutural.

Figura 19 - Resultados da exposição solar dos protótipos de concreto estrutural, obtidos por câmera termográfica.

BLOCO DE CONCRETO ESTRUTURAL	TEMPO DE EXPOSIÇÃO	BLOCO PREENCHIDO	BLOCO VAZIO	DIFERENÇA DE TEMP.
	0 MIN.	 34.9 °C FLIR	 35.2 °C FLIR	0,3 °C
	60 MIN.	 40.6 °C FLIR	 42.7 °C FLIR	2,1 °C
	120 MIN.	 45.4 °C FLIR	 48.1 °C FLIR	2,7 °C
	180 MIN.	 47.0 °C FLIR	 50.9 °C FLIR	3,9 °C

Fonte: Autoria Própria, 2021.

Inicialmente, a temperatura dos blocos apresentou uma leve diferença de 0,3 °C, valor que pode ser atribuído ao próprio manuseio e transporte inicial dos protótipos. As condições climáticas do segundo dia de ensaio foram favoráveis ao teste, apresentando um céu encoberto com poucas nuvens. Ao fim da primeira hora, pôde-se verificar uma diferença de 2,1 °C entre

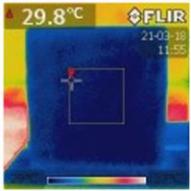
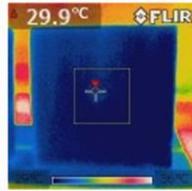
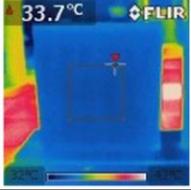
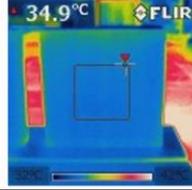
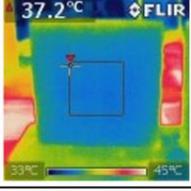
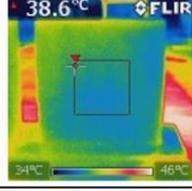
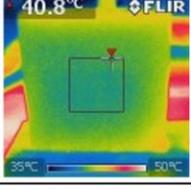
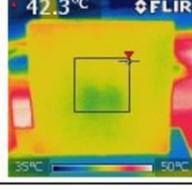
os protótipos (redução de 4,9% em relação à temperatura do bloco vazio); em seguida, a diferença cresceu para 2,7 °C (redução de 5,6%) e ao final do ensaio foi obtida uma diferença de 3,9 °C (redução de 7,66% em relação à temperatura do bloco vazio).

A temperatura das faces frontais (diretamente expostas ao sol), verificadas ao fim do procedimento, apresentaram valores de 68,8 °C e 71,3 °C para o protótipo vazio e preenchido, respectivamente.

### 5.1.3 Protótipos de Gesso

A Figura 20 apresenta, para as faces opostas à exposição solar nos protótipos de gesso, as imagens e temperaturas obtidas pela câmera termográfica.

Figura 20 - Resultados da exposição solar dos protótipos de gesso, obtidos por câmera termográfica.

BLOCO DE GESSO	TEMPO DE EXPOSIÇÃO	BLOCO PREENCHIDO	BLOCO VAZIO	DIFERENÇA DE TEMP.
	0 MIN.			0,1 °C
	60 MIN.			1,2 °C
	120 MIN.			1,4 °C
	180 MIN.			1,5 °C

Fonte: Autoria Própria, 2021.

De modo análogo aos protótipos de concreto, os blocos de gesso apresentaram, ao início do ensaio, uma pequena diferença de 0,1 °C entre suas faces (como dito anteriormente, essa leve divergência pode ocorrer devido ao manuseio e transporte dos protótipos ao local de teste). Diferente dos ensaios anteriores, as condições climáticas no dia de ensaio dos blocos de gesso foram menos favoráveis, visto que o céu se encontrava nublado e a exposição solar e

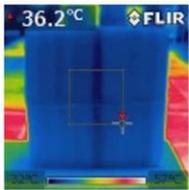
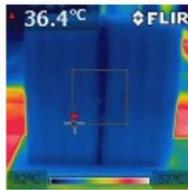
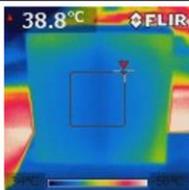
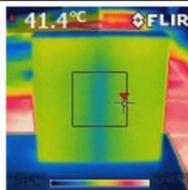
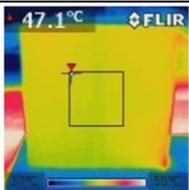
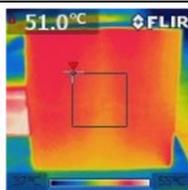
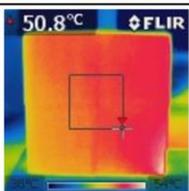
temperatura ao longo do procedimento foram mais amenas. Apesar desse fator, os protótipos apresentaram uma diferença de temperatura devido ao isolamento, que aumentou levemente e de forma gradual ao longo do teste: ao fim da primeira hora, foi constatada a diferença de 1,2°C (redução de 3,4% em relação à temperatura do bloco vazio); na segunda hora, essa diferença foi de 1,4 °C (redução de 3,6%) e ao final, 1,5 °C (redução de 3,5% em relação à temperatura do bloco vazio).

A verificação das faces frontais (diretamente expostas ao sol) ao final do ensaio, constatou as temperaturas de 45,6 °C e 45,1 °C para o protótipo vazio e preenchido, respectivamente. Esses valores, bem abaixo dos obtidos nos outros procedimentos, refletem a influência da exposição solar mais amena no dia do teste.

#### 5.1.4 Protótipos de Cerâmica para Vedação

A Figura 21 apresenta as imagens e temperaturas obtidas pela câmera termográfica para as faces opostas à exposição solar nos protótipos de cerâmica para vedação.

Figura 21 - Resultados da exposição solar dos protótipos de cerâmica de vedação, obtidos por câmera termográfica.

BLOCO CERÂMICO PARA VEDAÇÃO	TEMPO DE EXPOSIÇÃO	BLOCO PREENCHIDO	BLOCO VAZIO	DIFERENÇA DE TEMP.
	0 MIN.	 36.2°C FLIR	 36.4°C FLIR	0,2 °C
	60 MIN.	 38.8°C FLIR	 41.4°C FLIR	2,6 °C
	120 MIN.	 47.1°C FLIR	 51.0°C FLIR	3,9 °C
	180 MIN.	 50.8°C FLIR	 54.9°C FLIR	4,1 °C

Fonte: Autoria Própria, 2021.

No início do ensaio, pelas razões expostas anteriormente, também foi constatada nas faces dos protótipos de cerâmica para vedação uma leve diferença de 0,2 °C. O procedimento ocorreu com céu limpo, sem presença de nuvens e com boa exposição solar. O aumento de temperatura nos blocos foi crescente, assim como a gradual diferença térmica entre os protótipos: com 1 hora, essa diferença foi de 2,6 °C (representando uma redução de 6,28% em relação à temperatura do bloco vazio), crescendo para 3,9 °C com 2 horas (redução de 7,64%) e 4,1 °C (redução de 7,46%) ao final do procedimento.

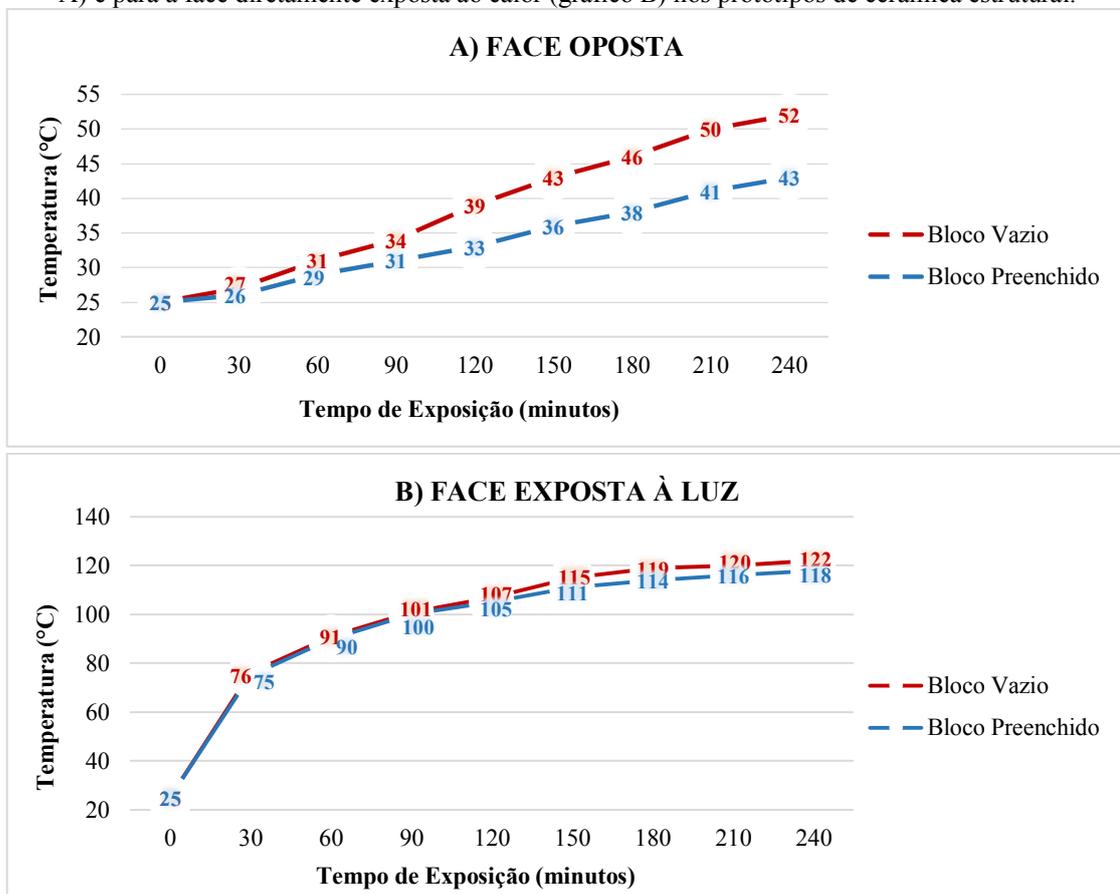
A temperatura das faces expostas ao sol (com verificação ao fim do ensaio) foram de 75,2 °C e 75,1 °C para o protótipo vazio e preenchido, respectivamente.

## 5.2 ENSAIO TÉRMICO UTILIZANDO APARATO DE TESTE

### 5.2.1 Protótipos de Cerâmica Estrutural

A Figura 22 apresenta os resultados obtidos a partir dos termopares para as faces dos protótipos de cerâmica estrutural, utilizando o aparato de teste.

Figura 22 - Resultados obtidos a partir das verificações dos termopares para a face oposta à exposição (gráfico A) e para a face diretamente exposta ao calor (gráfico B) nos protótipos de cerâmica estrutural.



Fonte: Autoria Própria, 2021.

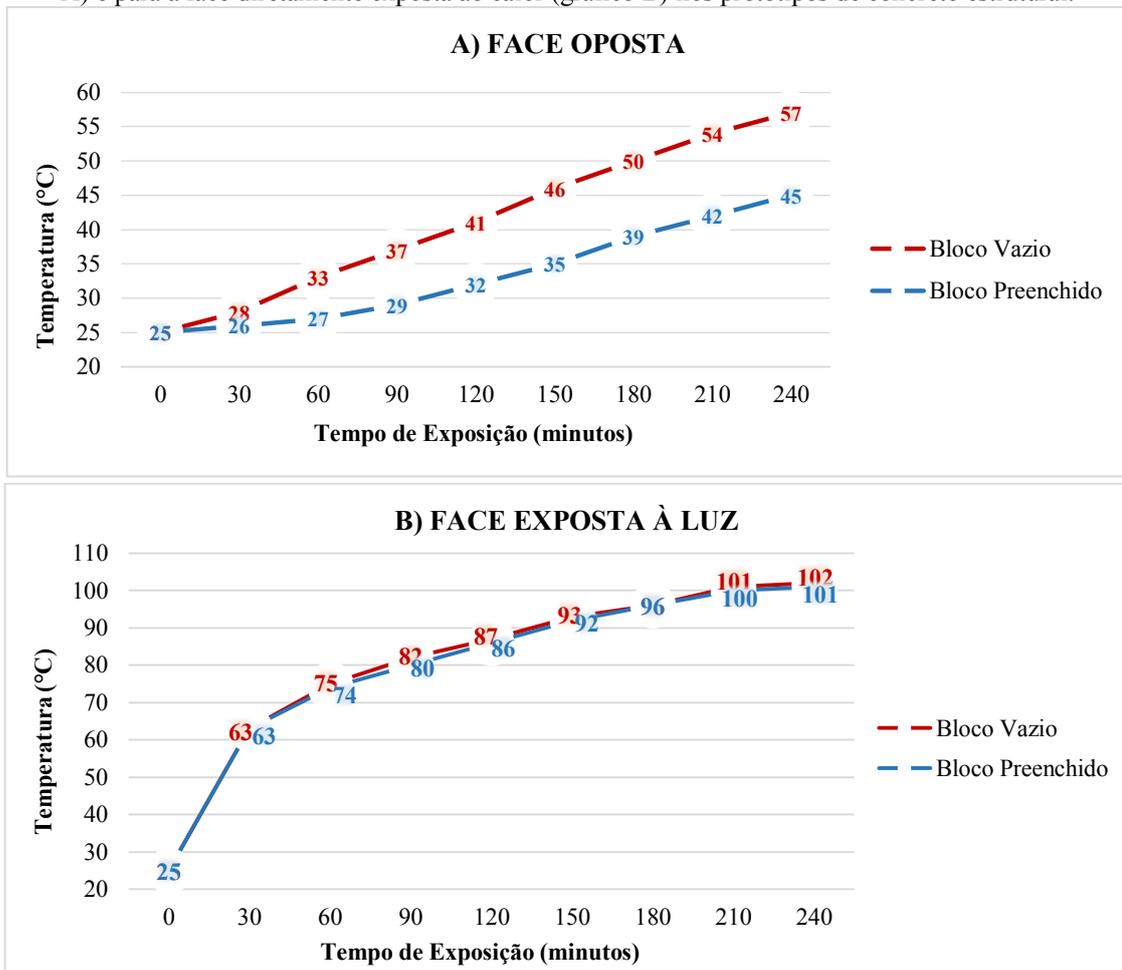
O início do ensaio ocorreu com os protótipos apresentando uma leitura de 25 °C (em ambas as faces). A temperatura nas faces opostas à exposição aumentou gradualmente, atingindo a maior diferença térmica entre o bloco vazio e preenchido ao final do ensaio, com o valor de 9 °C. Tal diferença representa uma redução de 17,3% em relação à temperatura do bloco vazio.

As faces diretamente expostas à luz obtiveram valores de temperatura aproximados ao longo do procedimento (e bastante elevados devido à alta potência de aquecimento das lâmpadas infravermelhas). A diferença de 4 °C verificada no fim do teste representa uma leve redução de 3,27% em relação à temperatura final do bloco vazio.

### 5.2.2 Protótipos de Concreto Estrutural

A Figura 23 apresenta os resultados obtidos a partir dos termopares para as faces dos protótipos de concreto estrutural, utilizando o aparato de teste.

Figura 23 - Resultados obtidos a partir das verificações dos termopares para a face oposta à exposição (gráfico A) e para a face diretamente exposta ao calor (gráfico B) nos protótipos de concreto estrutural.



Fonte: Autoria Própria, 2021.

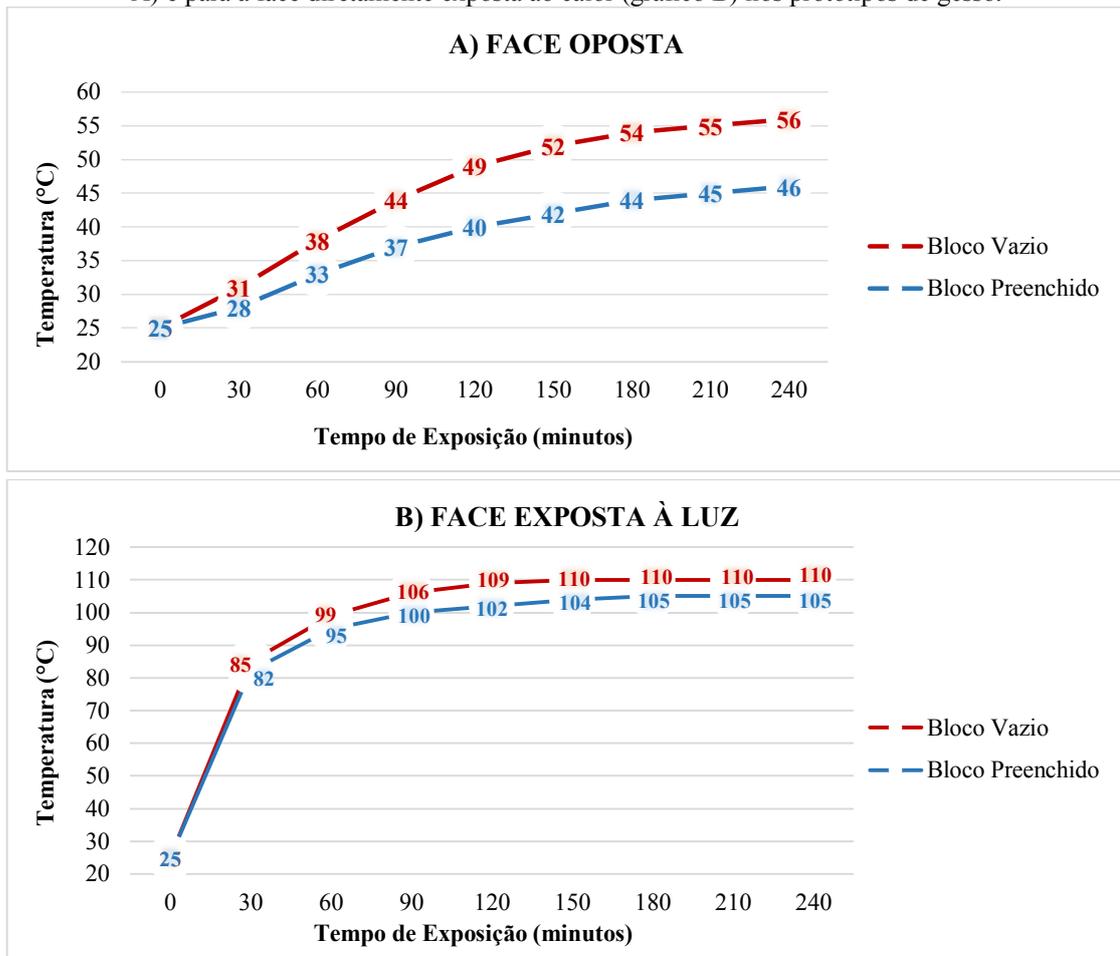
De modo análogo ao anterior, os protótipos de concreto apresentaram uma leitura inicial de 25 °C em suas faces. Gradualmente, na face oposta à exposição, a temperatura aumentou até atingir a diferença máxima de 12 °C ao final do ensaio, valor que representa uma redução térmica de 21% em relação à temperatura final do bloco vazio.

Nas faces expostas, cujos valores de temperatura entre os protótipos ficaram sempre muito próximos, a diferença encontrada foi de apenas 1 °C ao final do ensaio (redução de 0,98% em relação à temperatura do bloco vazio).

### 5.2.3 Protótipos de Gesso

A Figura 24 apresenta os resultados obtidos a partir dos termopares para as faces dos protótipos de gesso, utilizando o aparato de teste.

Figura 24 - Resultados obtidos a partir das verificações dos termopares para a face oposta à exposição (gráfico A) e para a face diretamente exposta ao calor (gráfico B) nos protótipos de gesso.



Fonte: Autoria Própria, 2021.

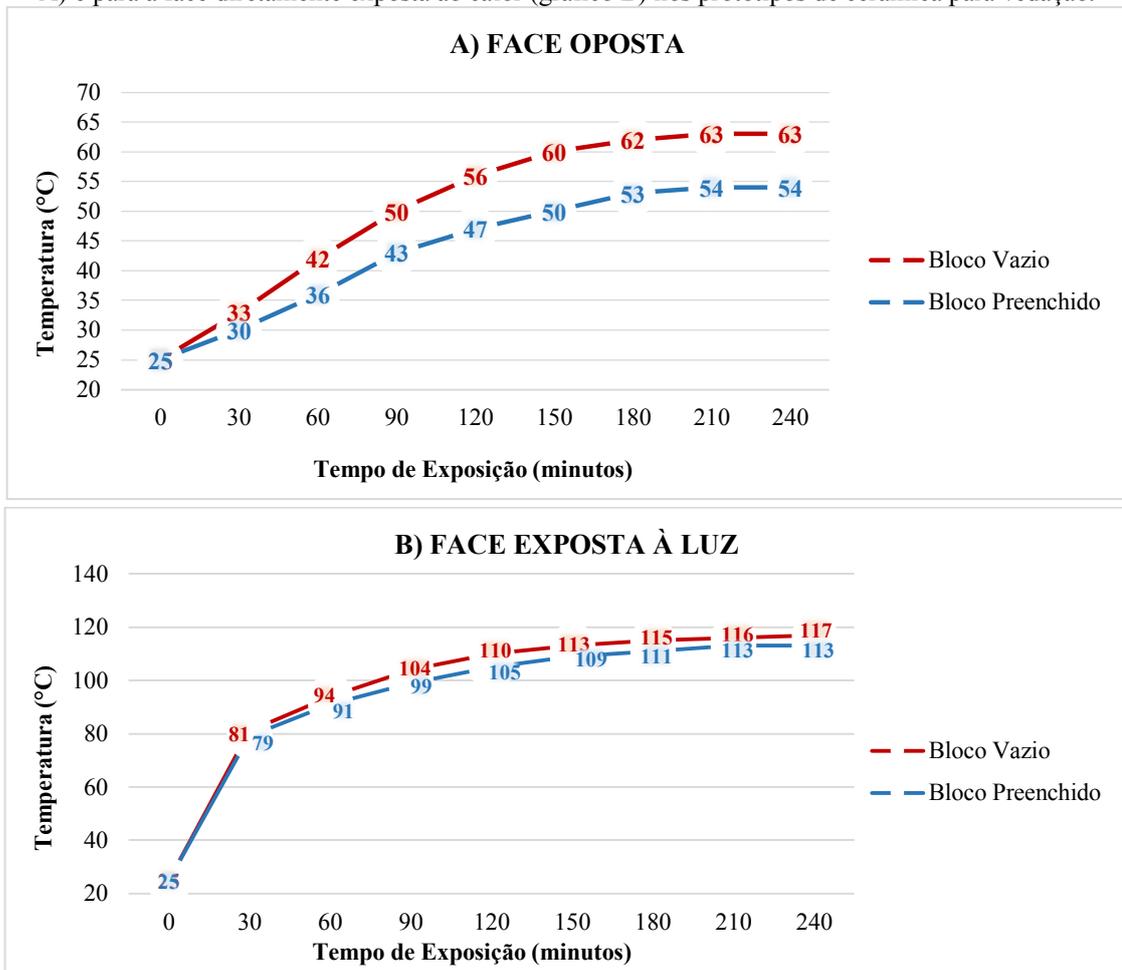
Iniciando os ensaios com os protótipos à 25 °C (como nos casos anteriores), a diferença de temperatura nas faces opostas cresceu gradualmente até se definir estável partir de 150 minutos de exposição, apresentando 10 °C de diferença entre o protótipo vazio e o preenchido até o final das verificações. Esse valor representa uma redução de 17,86% em relação à temperatura final do bloco vazio.

Nas faces diretamente expostas ao calor, aos 180 minutos de exposição a temperatura dos protótipos apresentou estabilidade, conseqüentemente, a diferença de temperatura entre eles também se tornou constante, com valor de 5 °C (representando redução de 4,54% em relação à temperatura final do bloco vazio).

#### 5.2.4 Protótipos de Cerâmica para Vedação

A Figura 25 apresenta os resultados obtidos a partir dos termopares para as faces dos protótipos de cerâmica para vedação, utilizando o aparato de teste.

Figura 25 - Resultados obtidos a partir das verificações dos termopares para a face oposta à exposição (gráfico A) e para a face diretamente exposta ao calor (gráfico B) nos protótipos de cerâmica para vedação.



Fonte: Autoria Própria, 2021.

Iniciando o procedimento com temperatura à 25 °C, de modo análogo aos casos anteriores, a diferença de temperatura nas faces opostas cresceu gradualmente, apresentando um valor máximo de 10 °C aos 150 minutos de exposição. Após esse tempo, essa diferença diminuiu para 9 °C, mantendo-se constante até o final do ensaio (o que representou uma redução de 14,29% em relação à temperatura final do bloco vazio).

Nas faces diretamente expostas ao calor, os valores de temperatura cresceram gradualmente, apresentando ao final do procedimento uma diferença de 4 °C entre os protótipos (redução de 3,42% em relação à temperatura final do bloco vazio).

### 5.3 DISCUSSÃO

A análise dos resultados obtidos demonstra um potencial de isolamento térmico promovido pelo resíduo reciclado de papel kraft no interior dos protótipos: o material em questão conseguiu promover reduções, ao final do ensaio de exposição solar, de 6,38%, 7,66%, 3,5% e 7,46% na temperatura dos blocos de cerâmica estrutural, concreto estrutural, gesso e cerâmica de vedação, respectivamente. Vale destacar que nesse ensaio, tendo sido realizado em dias distintos para cada sistema de vedação, a comparação entre os sistemas é inadequada, uma vez que as condições climáticas foram variáveis, favorecendo de maneira imparcial apenas a análise paralela entre blocos vazios e preenchidos.

Para os ensaios utilizando o aparato de testes, as reduções de temperatura geradas pelo preenchimento com resíduo de papel kraft foram de 17,3%, 21%, 17,86% e 14,29% para os blocos de cerâmica estrutural, concreto estrutural, gesso e cerâmica de vedação, respectivamente. O aumento dos percentuais de redução nesse ensaio se deve ao fato de que o fornecimento de calor, em virtude das altas temperaturas fornecidas pela lâmpada infravermelha, era maior que aquele obtido no ensaio de exposição. Esse fator sugere que, em dias ainda mais quentes, as reduções térmicas obtidas pelo aquecimento solar, entre blocos preenchidos e vazios, podem atingir valores ainda maiores.

De maneira oposta ao anterior, os procedimentos com aparato, por fornecer iguais condições de aquecimento aos elementos, permitem uma classificação do isolamento entre os sistemas de vedação, de modo que: o melhor percentual de isolamento obtido ocorreu no bloco de concreto estrutural (redução térmica de 21%), seguido pelo bloco de gesso (redução de 17,86%), bloco cerâmico estrutural (com redução térmica de 17,3%) e por fim, blocos cerâmicos de vedação (redução térmica de 14,29%). Uma possível explicação para essa ordem

pode estar associada com a espessura das paredes externas dos elementos, visto que os blocos de concreto e gesso possuíam paredes mais espessas (com 24 mm e 12 mm, respectivamente) e os blocos de cerâmica estrutural e de vedação tinham paredes mais finas (com 11 mm e 7 mm, respectivamente).

A forma de isolamento promovida pelo resíduo reciclado, por este ser um material fibroso de baixa densidade, é análoga às tradicionais utilizações de materiais como lã de vidro e lã de rocha, onde o preenchimento promove uma barreira que dificulta a transmissão de calor ao longo do componente devido à sua baixa condutividade térmica, diminuindo, dessa forma, os ganhos excessivos de calor no interior de ambientes vedados por esses elementos.

## 6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos e considerando a importância do conceito de sustentabilidade e consciência ambiental no âmbito da construção civil, pode-se concluir:

Todos os sistemas de vedação vertical abordados nos ensaios dessa pesquisa apresentaram reduções de temperatura, em suas faces opostas à exposição, quando preenchidos pelo resíduo reciclado de papel kraft. A análise comparativa, ao final do ensaio de exposição solar e utilizando aparato de testes, respectivamente, mostrou as seguintes reduções de térmicas para os blocos preenchidos: 3,2 °C e 9 °C no protótipo de cerâmica estrutural; 3,9 °C e 12 °C no protótipo de concreto estrutural; 1,5 °C e 10 °C no protótipo de gesso e, por fim, 4,1 °C e 9 °C no protótipo de cerâmica para vedação.

Tais valores apontam, em uma análise preliminar, que esse material apresenta um potencial de melhoria no conforto térmico e na eficiência energética (pela diminuição dos gastos com climatização artificial) em ambientes cuja envoltória seja preenchida internamente com o resíduo.

Por ser proveniente de sacos de cimento descartados em obra, a utilização do resíduo no interior de blocos tradicionalmente utilizados nas edificações, pode se constituir em uma alternativa de reciclagem para esse material, promovendo uma dupla vantagem através da combinação de um destino sustentável, para o que antes seria um elemento de descarte, com a melhoria das características de isolamento térmico nos sistemas de vedação vertical.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DE ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA – AESA. **Dados da estação de cajazeiras**. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2021.
- ALVES, L. S. **Influência da adição de fibras de celulose (papel kraft) nas características dos blocos de concreto não estrutural**. 2016. 129p. Dissertação (mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA. **Relatório Estatístico 2011/2012**. Disponível em: <<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/7743>>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://www.abrelpe.org.br/panorama-2020/>>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005b.
- BARRETO, S. S. **Fabricação de tijolos prensados de solo-resíduos-cimento e avaliação de desempenhos térmico e acústico**. 2020. 112 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2020.
- BEZERRA, L. A. C. **Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo**. 2003. 64 p. Dissertação (mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2003.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. (2002, 17 de julho). Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Brasília: Diário Oficial da União. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em 25 fevereiro de 2021.

BRAVO, R. S. **Análise de blocos de concreto com resíduo de borracha de pneu e metacaulim**. 2014. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2014.

BUSON, M. A. **KRAFTTERRA: Desenvolvimento e análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimento para vedação vertical**. 2009. 135 p. Tese (doutorado) – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2009.

CAMPOS, J. P.; CALAZANS, Y. A. M. **Estudo comparativo entre vedações internas utilizando alvenaria com blocos cerâmicos e blocos de gesso em atendimento a norma brasileira de desempenho – NBR 15.575**. 2017. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário CESMAC, Maceió, 2017.

CIMENTO ITAMBÉ. Portal Itambé. **Embalagem com conteúdo**. 2007. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/embalagem-com-conteudo/>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2021.

DIAS, R. A. **Avaliação da interferência da adição de fibras de papel kraft em argamassas**. 2017. 94 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

DUNEL, M. P. **Avaliação do desempenho térmico de tijolos ecológicos em aracaju/se por meio de simulação computacional**. 2020. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Anuário estatístico de energia elétrica 2020**. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Uso de ar condicionado no setor residencial brasileiro: perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética**. Ministério de Minas e Energia. Nota Técnica EPE 030/2018. Rio de Janeiro, 2018.

GIGLIO, T. G. F., BARBOSA, M. J. **Aplicação de métodos de avaliação do desempenho térmico para analisar painéis de vedação em madeira**. In: AMBIENTE CONSTRUÍDO, Porto Alegre, V6 N3, p. 91-103, 2006.

GORSKI, D. P. *et al.* Impacto da adição de argamassa isolante nas propriedades termomecânicas de blocos de concreto de vedação vertical. **E&S Engineering And Science**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 25-40, 9 abr. 2019. Universidade Federal de Mato Grosso. <http://dx.doi.org/10.18607/es201988140>.

GUILHERME, D. D. P. **Estudo do desempenho térmico e mecânico em argamassas de revestimento com substituição do agregado natural pela vermiculita expandida**. 2019. 86 p. Dissertação (mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte, Natal, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Portal Cidades**. 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/cajazeiras/panorama>>. Acesso em 26 fevereiro de 2021.

LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na Arquitetura**. 3. ed – Eletrobras/Procel, 2014.

LIMA, G.N.; AMORIM, M.C.C.T. Análise das características noturnas dos elementos climáticos em um episódio de verão no município de Teodoro Sampaio-SP. **Revista Geografia em Atos**, Presidente Prudente, v.1, n.10, p.1-25, 2010.

LORDSLEEM JR., A.C. **Execução e inspeção de alvenaria racionalizada**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2000. 104 p.

MENDES, J. U. L. *et al.* **Determinação da difusividade térmica de um compósito natural visando classificá-lo como isolante térmico**. Anais do 20º CBECIMAT – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Joinville/SC, 2012.

NOVAIS, J.W.Z. *et al.* Comparação do Desempenho Térmico de Painéis em EPS como Alternativa aos Tijolos Cerâmicos no Conforto Térmico de Residências em Cuiabá-MT. **Unopar Científica: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 13, n. 1, p. 39-43, nov. 2014.

OLIVEIRA, M. P. **Materiais compósitos à base de gesso contendo EVA (Etileno Acetato de Vinila) e vermiculita: otimização de misturas e propriedades termomecânicas**. 2009. 216 f. Tese (Doutorado) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

SCHMAL, A. K.; AVILA, M. **Projeto Construa Limpo**. Artigo Técnico Científico, Belo Horizonte, 2008.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO - SNIC. **Relatório Anual**. São Paulo: 2019. 44 p.

SANTOS, L. R.; CARVALHO, P. E. F. **Avaliação de argamassas com fibras de papel kraft provenientes de embalagens de cimento**. 2011. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

SILVA, F. M. F. **Estudo de materiais de isolamento térmico inovadores**. 2013. 181 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Especialização em Construções Cíveis, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2013.

SILVA, A. C. **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose**. 2002. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO – SINDUSCON-SP. **Gestão ambiental dos resíduos da construção civil**. São Paulo, 2015. 149 f.

SOBRINHO, C. W. A. P. *et al.* Divisórias internas de edifícios em alvenaria de blocos de gesso – vantagens técnicas, econômicas e ambientais. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA APLICADA PARA A ARQUITETURA & ENGENHARIA SUSTENTÁVEIS, 2010, Recife. **Anais [...]**. Recife: CITAES, 2010.

SOUZA, R. C. **Avaliação do desempenho térmico de vedações em blocos de concreto produzidos com lâ de rocha**. 2017. 187 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.

TORRING, M. Management of construction and demolition waste streams. **Materials and Technologies for Sustainable Construction** – CIB World Building Congress, 1998, Gävle, Suécia.

WEATHER SPARK. **Condições meteorológicas médias de Cajazeiras**. 2021. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/31102/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Cajazeiras-Brasil-durante-o-ano#Sections-Temperature>>. Acesso em: 26 de fevereiro de 2021.