

Aplicação de chapas de tetrapak na construção civil

Geraldo P. L. Júnior¹, Josué A. S. Costa², Júlia M. O. Silva³, Wandercy J. A. Santos⁴
(ge1986@bol.com.br; josueaurelino@gmail.com; juliamaria340@hotmail.com; wandercyjunior@hotmail.com)

Professor orientador: Renato A. N. Safadi

Coordenação de curso de Engenharia Civil

Resumo

A construção civil contemporânea, busca materiais que contribuem para edificações mais sustentáveis, tecnológicas e com melhor desempenho. Este artigo estuda a aplicação da chapa feita com materiais recicláveis, obtidos de embalagens longa vida (tetrapak) em substituição das chapas de gesso acartonado e cimentícia nos sistemas construtivos *drywall* e *steel frame*, respectivamente. Para análise da aplicação dessas chapas em edificações, utilizou-se de pesquisas bibliográficas, ensaios tecnológicos com finalidades comparativas em amostras dos três tipos de chapas citadas, baseados na Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e a *American Society for Testing and Materials* - ASTM. Os ensaios realizados demonstraram uma taxa de absorção aproximadamente 30% menor do material tetrapak em relação a chapa cimentícia, quanto a aderência da argamassa colante à chapa, não se obteve um resultado satisfatório de acordo com a NBR 13749 (ABNT, 2013). Outras características relevantes da chapa tetrapak foram observadas, como a densidade e a variação dimensional com amostra saturada. Os resultados alcançados nos estudos e ensaios realizados, mostraram-se promissores e demonstraram que a chapa tetrapak, já fabricada por grandes empresas, pode ser alvo de estudos mais detalhados e comumente ser aplicada na construção civil.

Palavras-chave: Desempenho. *Drywall*. Materiais recicláveis. Tetrapak.

1. INTRODUÇÃO

O sistema construtivo *drywall* é consolidado na construção civil como uma tecnologia de execução limpa e rápida, composto por montantes, guias e placas. As chapas de gesso acartonado aplicadas no sistema, possuem como vantagens o custo, facilidade na execução, baixo peso se comparado com alvenaria convencional, isolamento acústico e praticidade na manutenção das instalações elétricas e hidrossanitárias.

Apesar dos benefícios observados, faz-se necessário o aprimoramento do sistema, a fim de obter melhor desempenho físico (impermeabilidade, conforto termoacústico, resistência mecânica etc.) e menor impacto ambiental. Para isso, a alteração na composição dos materiais de fabricação da chapa, ao incluir materiais recicláveis, torna-se uma alternativa, porém sem impactos consideráveis na execução, além de atender as normas técnicas. Em vista disso, as chapas tetrapak são possíveis para tornar o sistema construtivo melhor e favorável ao meio-ambiente?

1.1 Justificativa

Cada vez mais se faz necessário buscar por tecnologias aliadas à sustentabilidade, que contribuem para a construção civil brasileira tornar-se mais competitiva e relevante no cenário mundial. Novos materiais surgem, porém não são facilmente disseminados, a chapa tetrapak

¹ Graduação em Engenharia Civil – Centro Universitário UNA.

exemplifica essa constante. Logo, espera-se que sejam obtidos resultados que norteiam o uso da chapa tetrapak em substituição do gesso acartonado, tradicionalmente usada no sistema construtivo *drywall*.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento e aplicação da chapa reciclável tetrapak no sistema construtivo *drywall* em substituição do gesso acartonado.

Como objetivos específicos, pode-se citar:

1. Entender o sistema construtivo *drywall*;
2. Conhecer e estudar as embalagens tetrapak e sua reciclagem;
3. Analisar e estudar os comportamentos e propriedades físicas/mecânicas das chapas de tetrapak;
4. Analisar e aplicar chapas de tetrapak ao sistema construtivo *drywall*.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Sistema *Drywall* e *Steel Frame*

O *drywall* é amplamente utilizado nos países desenvolvidos, em ambientes residenciais comerciais ou industriais. Segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI (2015), trata-se de um sistema construtivo não estrutural, que tem como função vedar as partes internas das construções tais como: paredes, forros e revestimentos. O sistema inovador foi desenvolvido em 1894 nos Estados Unidos por Augustine Sackett e Fred Kane, na busca por um material que pudesse proteger as estruturas de madeira dos incêndios que assolavam grandes cidades no país.

Durante a primeira e segunda guerra mundial ganhou maior notoriedade, pois contribuiu para reconstrução de áreas destruídas e o desenvolvimento do setor da construção civil, devido à sua rapidez na montagem e baixo custo, por isso, tornou-se uma técnica popular nos EUA. (MARINHO et al., 2017).

Salgado (2014, p. 103-105), define o *drywall* como um sistema de construção a seco, basicamente composto por montantes e guias de chapas de aço revestido com zinco, que são posicionadas de acordo com as divisões das dependências de uma edificação, em seguida incorporadas por chapas de gesso acartonadas fixadas com parafusos. Salgado ainda afirma que o sistema permite todos os tipos de revestimentos tradicionais, porém alguns cuidados devem ser tomados, como o uso de produtos especiais indicados pelos fabricantes.

A NBR 14715-1 (ABNT, 2021, p. 2), classifica as chapas de gesso acartonado conforma a tabela 1:

Tabela 1 – Tipos de chapas para *drywall*

Tipos de chapa	Código	Aplicação
Standard	ST	Paredes, revestimentos e forros em áreas secas.
Resistente à umidade	RU	Paredes, revestimentos e forros em áreas sujeitas intermitentemente à umidade.
Resistente ao fogo	RF	Paredes, revestimentos e forros em áreas secas, com chapas de características especiais de resistência ao fogo.

Fonte: Adaptado de NBR 14715-1 (ABNT, 2021, p. 2).

A chapa ST apresentada na tabela 1, segundo a NBR-14715-1 (ABNT, 2021, p. 2), pode ser aplicada em forros de áreas úmidas, desde que conste no projeto. As chapas ST, RU e RF são identificadas nas cores cinza, verde e rosa, respectivamente.

O *Steel Frame* por sua vez, segundo Fonsêca (2018, p. 19-22), trata-se de um sistema construtivo estrutural, composto por painéis de chapas cimentícias fixadas em perfis metálicos. As chapas cimentícias são compostas por camadas com fibras, agregados, cimento e aditivos. Fonsêca ainda afirma que as chapas podem ser aplicadas em ambientes externos, devido a sua capacidade de resistência térmica e mecânica.

2.2 Chapas de material tetrapak

As chapas de tetrapak são obtidas da reciclagem das embalagens longa vida, desenvolvidas pela empresa Tetra Pak. Segundo Cerqueira (2000), as embalagens são compostas basicamente por três tipos de materiais: papel, polietileno e alumínio, nas proporções de 75%, 20% e 5%, respectivamente. Estes materiais são justapostos em camadas unidas termicamente na fabricação o que dificulta a reciclagem do material.

De acordo com Neves (1999), a reciclagem das caixas de tetrapak pode ser feita em um equipamento que agita o material triturado com a adição de água. Ao longo desse processo as fibras de papel são separadas das camadas de plástico e do alumínio, sendo submetidas a peneiração que separa os dois compostos. A fibra resultante do papel é utilizada na fabricação do papelão, já o plástico e o alumínio podem ser utilizados juntos na fabricação de telhas e placas.

As chapas e telhas obtidas após a reciclagem possuem características mecânicas favoráveis à aplicação na construção civil, Sebben et al. (2020), enfatiza a utilização das embalagens tetrapak no revestimento de residências, pois possibilitam o conforto térmico das moradias vulneráveis, proporcionado pelo o alumínio e polietileno em sua composição. De acordo com Araújo et al. (2008), o material obtido da tetrapak possui densidade até 50% menor do que os convencionais para fabricação de telhas e chapas, entre outras características destaca-se também a resistência a tração, ensaiada conforme a norma *American Society for Testing and Materials - ASTM D 698/98 (Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristic of Soil Using Standard Effort)*, Araújo obteve nas telhas produzidas de tetrapak a resistência à tração de 14,4 MPa contra 5,2 MPa das telhas de fibrocimento.

2.3 Desempenho das estruturas de vedação

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, determina normas de aplicação em estruturas de vedação, entre elas destaca-se a NBR 15575-4 (ABNT, 2021), que estabelece os requisitos, os critérios e os métodos para avaliação do desempenho mínimo necessário dos sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Dentre as características analisadas, observa-se o desempenho estrutural, segurança contra incêndio, segurança no uso e na operação, estanqueidade, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho lumínico, durabilidade, manutenibilidade e conforto antropodinâmico.

2.3.1 Estanqueidade

A Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC (2013, p. 177), associa a durabilidade da construção a estanqueidade à água dos seus elementos. A permeabilidade aos fluidos dos SVVIE, podem desencadear condições insalubres de higiene e saúde nas edificações, o que contribui para a formação de fungos e surgimentos de doenças respiratórias.

A fim de evitar essas patologias, segundo a NBR 15575-4 (ABNT, 2021), as paredes internas devem possuir diferentes níveis de estanqueidade, especificadas como áreas molhadas, áreas molháveis e áreas secas, as quais possuem alta, média ou nenhuma exposição à água, respectivamente.

De acordo com Thomaz (1989, p. 34) a absorção de água de um material na construção civil, depende basicamente de dois fatores: porosidade e capilaridade. A capilaridade destaca-se como a mais importante, pois provoca o aparecimento de forças de sucção, permitindo a formação de manchas na superfície e deterioração do material. Dias e Neto (2021, p. 192), destaca que nos SVVIE feitos com *drywall* a utilização somente da chapa RU não é suficiente para garantir o desempenho satisfatório quanto a durabilidade e resistência, principalmente em ambientes expostos a água. Portanto para que tais qualidades sejam atendidas, deve-se aplicar impermeabilizantes específicos, tais como: membranas de asfalto elastomérico, membranas acrílicas e ou cimento polimérico.

Figura 1 – Patologia no *drywall*



Fonte: Elaborada pelos Autores.

A Figura 1 exemplifica as patologias que podem surgir no *drywall* quando não impermeabilizado corretamente. De acordo com Fonsêca (2018, p. 74), as chapas de gesso acartonado sofrem danos irreversíveis quando expostas a infiltrações, a troca da chapa é a única solução disponível.

A estanqueidade pode ser obtida através da higroscopicidade de um material, conforme determinado pela ASTM D 570-98 (Standard Test Method for Water Absorption of Plastics), a norma apresenta um método tecnicamente equivalente a ISO 62:2008 (Plastics - Determination of water absorption), este método de ensaio abrange a determinação da absorção relativa de água pelos plásticos quando imersos. Este ensaio é adequado para testar todos os tipos de plásticos, incluindo produtos de resina fundidos, moldados a quente e moldados a frio, bem como hastes e tubos.

De acordo com Rosdi et al. (2022), com a norma ASTM D 570-98, é possível estudar o comportamento de absorção de água de diversos materiais. Os ensaios proporcionam o cálculo da porcentagem de absorção de água, através da Equação 1:

$$AA\% = \frac{(m_u - m_s)}{m_s} * 100 \quad (1)$$

Onde:

- $AA\%$ → índice de absorção;
- m_u → massa úmida (g);
- m_s → massa seca (g).

2.3.2 Aderência dos acabamentos

A NBR 13528 (ABNT, 2019, p. 1), em nota, define que a aderência não é uma propriedade da argamassa, porém depende da interação entre camadas que constitui o substrato e o revestimento avaliado. Os SVVIE também devem apresentar condições de ancoragem para os acabamentos internos e externos, de acordo com a NBR 13749 (ABNT, 2013), espera-se as seguintes resistências mínimas de aderência:

Tabela 2 – Limites de resistência de aderência à tração

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,20$
		Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
	Externa	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,30$
		Cerâmica	$\geq 0,30$

Fonte: Adaptado de NBR 13749 (ABNT, 2013, p. 3).

A tabela 2 apresenta os limites mínimos de resistência de aderência à tração, esses valores podem ser obtidos por ensaios laboratoriais.

Carasek et al. (1997), define aderência como um processo de travamento mecânico devido a formação de cristais no interior dos poros do substrato e os fatores que influenciam neste fenômeno são: o tipo de substrato, a argamassa aplicada, o teor de umidade e o mais importante a concentração de cimento na argamassa. As características do substrato também interferem com a aderência dos revestimentos, segundo Nogami (2007), a aderência será proporcional à área de contato com a argamassa, devido a rugosidade das superfícies, solução proposta para materiais não porosos.

A NBR 13528 (ABNT, 2019), especifica o método para determinação da aderência ao substrato de argamassas inorgânicas ou gesso de acordo com a NBR 16618 (ABNT, 2017). Já para determinação da resistência de aderência à tração da argamassa ao substrato, aplica-se a NBR 14081-4:2012 que estabelece o método que obtém a resistência medida através de arrancamento por tração simples.

De acordo com a NBR 14081 (ABNT, 2012) o ensaio é embasado nas seguintes etapas:

- Preparo do substrato, remoção de partículas e impurezas que possam interferir nos resultados;
- Extensão da argamassa preparada na direção longitudinal sob o substrato;
- Posicionamento das placas cerâmicas quadradas com arestas de 50mm;
- Cura da argamassa através dos métodos com imersão em água, normal ou com aquecimento em estufa;
- Execução do ensaio de arrancamento por tração manual;
- Classificação do tipo de ruptura obtida, cálculo da tensão de ruptura e elaboração do relatório técnico.

De acordo com a norma a tensão de ruptura (f_t) de cada placa cerâmica pode ser obtida mediante a Equação 2:

$$f_t = \frac{T}{A} \quad (2)$$

Onde:

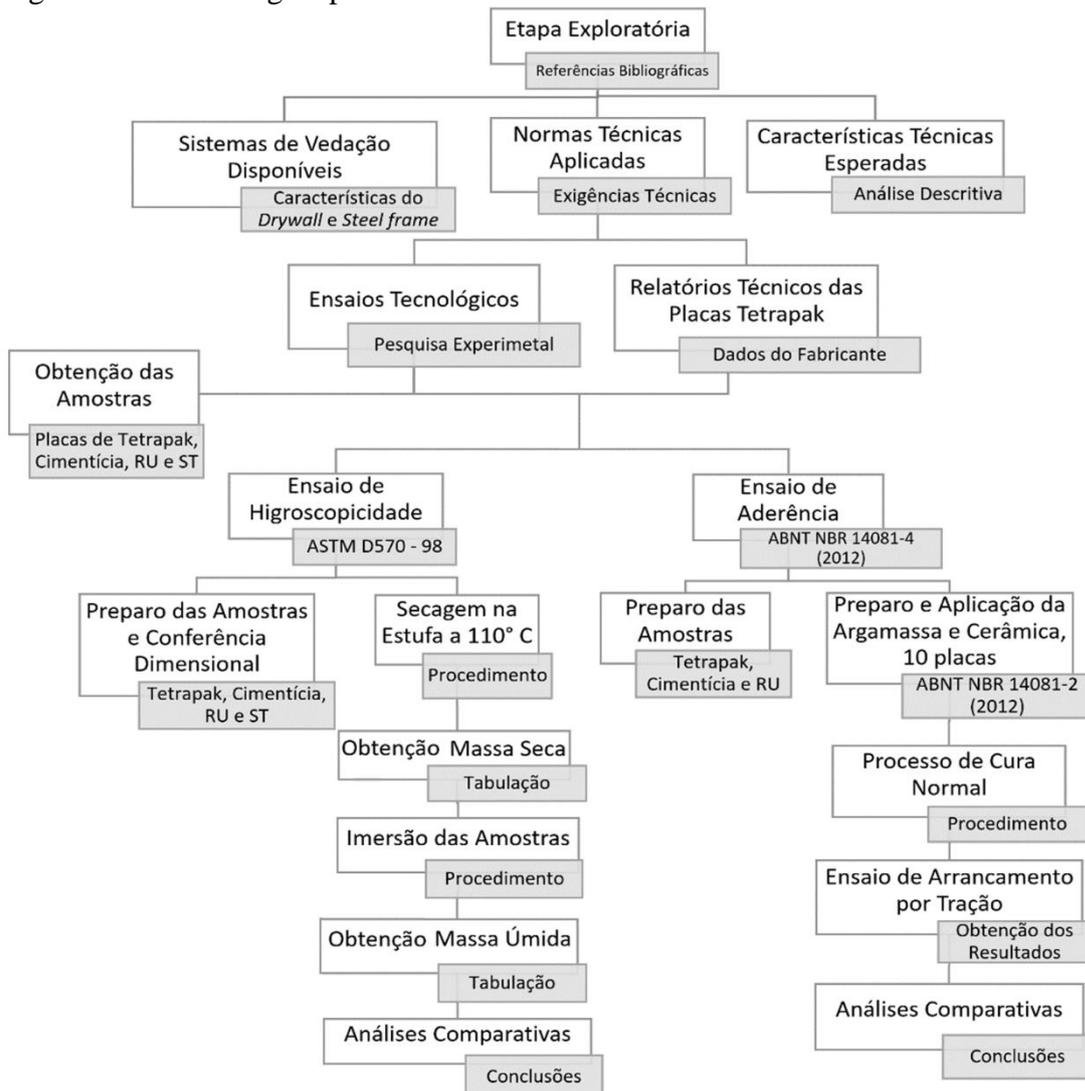
- $f_t \rightarrow$ é a tensão de ruptura, arredondada à segunda decimal e expressa em megapascals (MPa);
- $T \rightarrow$ é a força de ruptura, expressa em newtons (N);
- $A \rightarrow$ é a área da placa cerâmica, expressa em milímetros quadrados (mm²).

3. METODOLOGIA

3.1 Tipo de pesquisa

A fim de alcançar o objetivo que envolve aplicar e avaliar a chapa de tetrapak, composta por materiais reciclados, no sistema construtivo *drywall*, realizou-se o estudo da problemática para investigação da viabilidade na aplicação destas chapas. Através de pesquisas bibliográficas, compreendeu-se as estruturas convencionais do *drywall* e *steel frame*, a composição das chapas de tetrapak, além dos ensaios laboratoriais que contribuem para análise da demanda estudada. O fluxograma exposto na Figura 2, apresenta as etapas desenvolvidas para obtenção dos resultados técnicos científicos que serão exibidos.

Figura 2 – Metodologia aplicada



Fonte: Elaborada pelos Autores.

As chapas e telhas de materiais tetrapak são aplicadas na construção civil em instalações provisórias ou fixas, porém nas estruturas sem caráter nobre, como, por exemplo, nos elementos do canteiro de obra, tapumes, bandejas de proteção, telhados entre outros. Sendo assim, as atividades desenvolvidas propõem explorar por meio experimental comparativo, baseado nos ensaios recomendados pela ASTM e ABNT, a capacidade de absorção de água e a ancoragem de argamassa colante nas chapas.

Quanto aos meios, essa pesquisa é um estudo de caso, baseada na coleta de informações de livros, artigos, estudos e normas de caráter científico, agregada através de observações e resultados obtidos nos ensaios da chapa reciclada.

3.2 Universo da amostra

Em parceria com fornecedor da Ibaplac – Indústria de Plásticos, foi adquirida a chapa de material reciclado para confecção dos protótipos ensaiados. A Ibaplac está no mercado desde 1993, com o desenvolvimento e aplicação de tecnologias inovadoras em seus produtos, além de disponibilizar ao mercado as mais modernas opções em produtos reciclados, de alta resistência e durabilidade. A fabricante desenvolve com as embalagens tetrapak três tipos diferentes de chapas:

- Chapas linha “PS” → São produzidas através das aparas industriais das embalagens longa vida. Basicamente composta por papel, polietileno de Baixa Densidade - PEBD e alumínio;
- Chapas linha “T” → É um produto similar à Chapa PS, produzidas através das aparas industriais das embalagens longa vida, porém recebe acabamento em papel para aderência de tintas, colagens e acabamentos em geral;
- Chapas linha “PT” → Produzidas através do reaproveitamento de PEBD e alumínio das embalagens longa vida, possuem superfície plana e seu aspecto é marmorizado.

A chapa da linha “PT”, exemplificada na Figura 3, foi a escolhida para os ensaios, pois difere-se das outras por não possuir papel em sua composição, o que proporciona uma vida útil extensa, além da característica impermeabilizante.

Figura 3 – Chapas de tetrapak da linha “PT”



Fonte: Elaborada pelos Autores.

Foram adquiridas as seguintes chapas com suas respectivas dimensões:

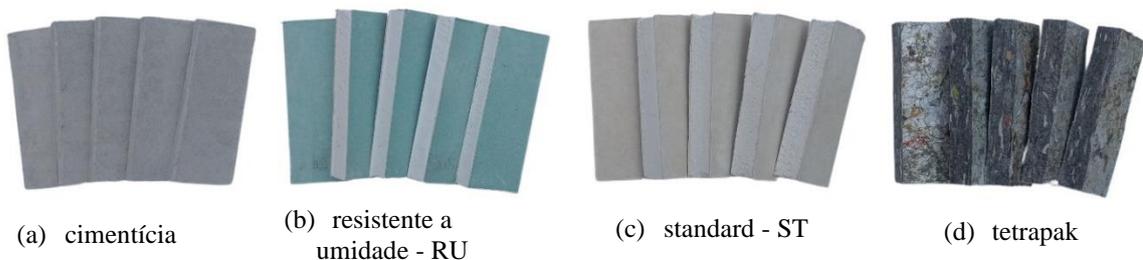
- Tetrapak linha “PT” com 2,20 m de comprimento por 1,10 m de largura e 10,0 mm de espessura;

- Gesso acartonado ST com 2,40 m de comprimento por 1,20 m de largura e 12,5 mm de espessura;
- Gesso acartonado RU com 2,40 m de comprimento por 1,20 m de largura e 12,5 mm de espessura;
- Cimentícia com 2,40 m de comprimento por 1,20 m de largura e 10,0 mm de espessura.

3.3 Ensaio de Higroscopicidade

A fim de identificar e comparar as características das chapas, quanto a absorção de água e deformação na presença de umidade, foi realizado o ensaio de higroscopicidade conforme determinado pela ASTM D 570-98 (*Standard Test Method for Water Absorption of Plastics*), o ensaio foi realizado no laboratório acadêmico da UNA Contagem (MG). Foram preparados cinco corpos de prova para cada chapa a ser ensaiada, em forma de uma barra com 76,2 mm de comprimento por 25,4 mm de largura pela espessura do material, a Figura 4 apresenta essas amostras.

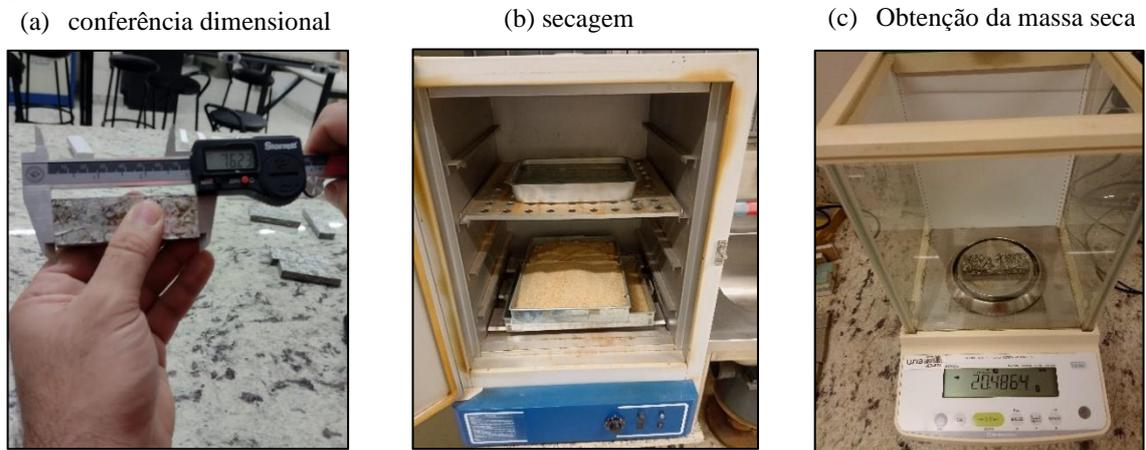
Figura 4 – Amostras para o ensaio de higroscopicidade



Fonte: Elaborada pelos Autores.

Depois do corte foi feita a conferência dimensional das chapas, com auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm, os valores aferidos foram tabelados e comparados entre si. Em sequência, as amostras foram colocadas por uma hora, em uma estufa à temperatura de 110° C, esse procedimento deve ser feito para remoção de qualquer umidade residual. Após serem retiradas da estufa as amostras foram resfriadas e imediatamente pesadas com aproximação menor que 0,001 g, solicitada na norma. A figura 5 apresenta estas etapas.

Figura 5 – Verificações amostras secas



Fonte: Elaborada pelos Autores.

Em sequência a determinação das dimensões e massas secas, os corpos de prova foram colocados em um recipiente de dimensões apropriadas, preenchido com água destilada, em volume suficiente para mantê-los totalmente submersos. As amostras foram mantidas completamente imersas em água por 24 h na temperatura de 23° C garantida pela estufa. Depois do tempo determinado, um de cada vez, os corpos de prova foram retirados da água, superficialmente secos com um pano e imediatamente pesados. Os valores das dimensões e massa úmida foram anotados e tabelados, com essas informações foi possível obter a densidade unitária do material e a taxa de absorção calculada através da Equação 1 apresentada no referencial.

3.4 Ensaio de Aderência

Este ensaio teve como objetivo identificar a capacidade de aderência da argamassa colante industrializada às chapas de tetrapak. Para isso, aplica-se a NBR 14081-4:2012 (Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração). O ensaio foi realizado em parceria com o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI CFP Paulo de Tarso, que cedeu o laboratório e maquinários necessários.

As chapas escolhidas para o ensaio foram a tetrapak, cimentícia e a RU. A princípio realizou-se marcações transversais nas mesmas que posteriormente foram cortadas, sendo que, por ser de gesso acartonado a chapa RU foi cortada com um estilete, já as demais com auxílio da serra mármore. Após os cortes obteve-se uma placa de cada material com as dimensões aproximadas de 1,10 m de comprimento por 0,7 m de largura.

De acordo com a NBR 14081-4 (ABNT, 2012), deve ser fixado sobre o substrato da chapa, dez placas cerâmica do grupo BIIa, cuja absorção de água seja $(4 \pm 1) \%$. As placas cerâmicas devem ser cortadas em seção quadrada com (50 ± 1) mm de aresta e estarem limpas, secas e livres do engobe. A Figura 6 a seguir, apresenta as placas prontas para receber o revestimento cerâmico, as ferramentas utilizadas no processo de assentamento e as placas cerâmicas cortadas.

Figura 6 – Preparos para o ensaio de aderência



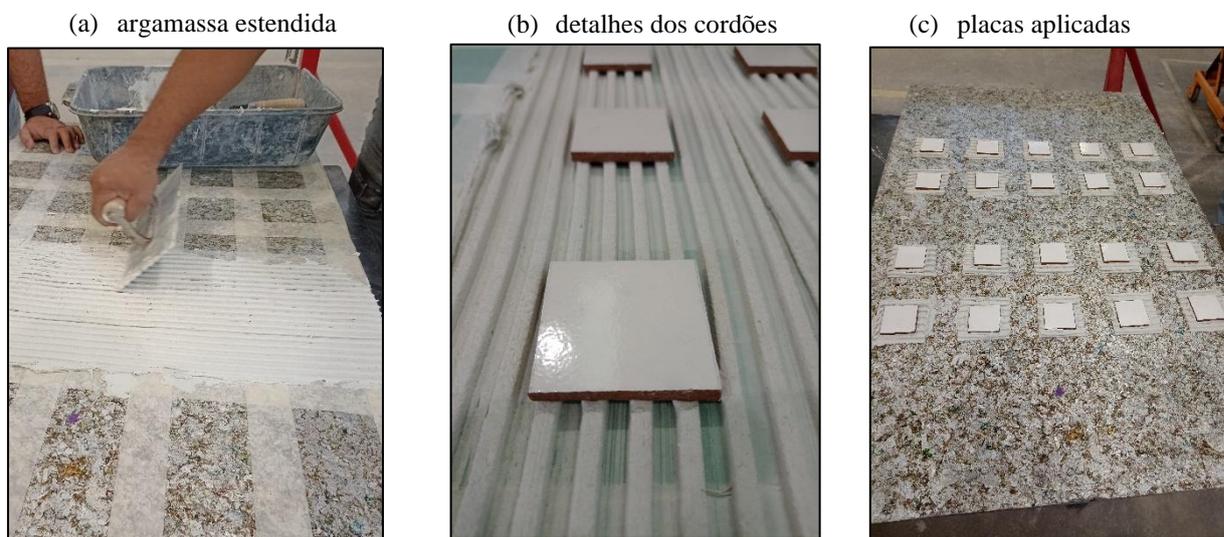
Fonte: Elaborada pelos Autores.

As áreas que viessem a receber as placas, foram delimitadas com o auxílio de uma fita crepe conforme apresentado na Figura 6 (a). Em sequência foi preparada e aplicada a argamassa colante industrializada ACIII (Super Formatos, da Quartzolit), essa argamassa foi escolhida

devido a sua capacidade de aderência a superfícies menos porosas e o tempo de cura. O preparo da argamassa foi realizado de forma mecânica, de acordo com as especificações do fabricante e a ABNT NBR 14081-2:2015, neste processo destaca-se a necessidade de os insumos serem dosados pela massa, e o tempo de descanso da mistura de 15 min para ativação dos aditivos químicos.

A aplicação da argamassa, foi realizada conforme a ABNT NBR 14081-2:2015 seção 8, na qual se fez necessário estender a argamassa na direção longitudinal sobre o substrato da chapa, aplicada com uma desempenadeira retangular de aço apresentada na Figura 6 (b), que possui os dentes com largura, altura e espaçamento de $(6,0 \pm 0,1)$ mm. Antes da aplicação na chapa de material tetrapak fez-se necessário a remoção da película presente na amostra, imprescindível no processo de conformação da chapa. Transcorridos 5 min da aplicação, foram posicionadas dez placas cerâmicas, conforme a Figura 7 (b), sobre quatro cordões da argamassa com afastamento aproximado entre elas de 50 mm e no mínimo 25 mm entre as suas arestas e a borda mais próxima do substrato padrão. Deve-se realçar que os cordões foram totalmente esmagados, resultando em um perfeito contato da argamassa com o substrato e a placa cerâmica.

Figura 7 – Aplicação das placas cerâmicas



Fonte: Elaborada pelos Autores.

Os conjuntos formados pela chapa, argamassa e placas cerâmicas devidamente fixadas, foram mantidos na horizontal durante 24 h, após esse período estocadas na vertical, em um processo de cura normal, onde não há a hidratação do conjunto. As características de cura da argamassa escolhida, possibilitou o ensaio ser realizado com 7 dias após a aplicação. Em sequência ao tempo de cura necessário, as pastilhas metálicas para o ensaio de arrancamento foram coladas com adesivo epóxi de alta resistência e secagem rápida, sobre as placas cerâmicas.

O ensaio de arrancamento pode ser resumido no acoplamento da máquina na pastilha metálica, com a aplicação de força a uma velocidade uniforme de (250 ± 50) N/s até a ruptura. Registra-se a carga máxima (T)¹ aplicada, calcula-se a tensão máxima com a Equação 2 apresentada no referencial teórico e analisa-se o tipo de ruptura de acordo com a Figura 9.

A Figura 8 (b), apresenta o maquinário posicionado acoplado a pastilha metálica pronto para o ensaio. Foi necessário na chapa de gesso acartonado o posicionamento de suportes em madeira para que os apoios da máquina não penetrassem na chapa, além de evitar também sua deformação, o que ocasionaria falsas leituras. O mesmo procedimento foi realizado para as demais chapas, a fim de obter resultados comparativos verdadeiros.

Figura 8 – Realização do ensaio

(a) maquinário utilizado



(b) maquinário posicionado

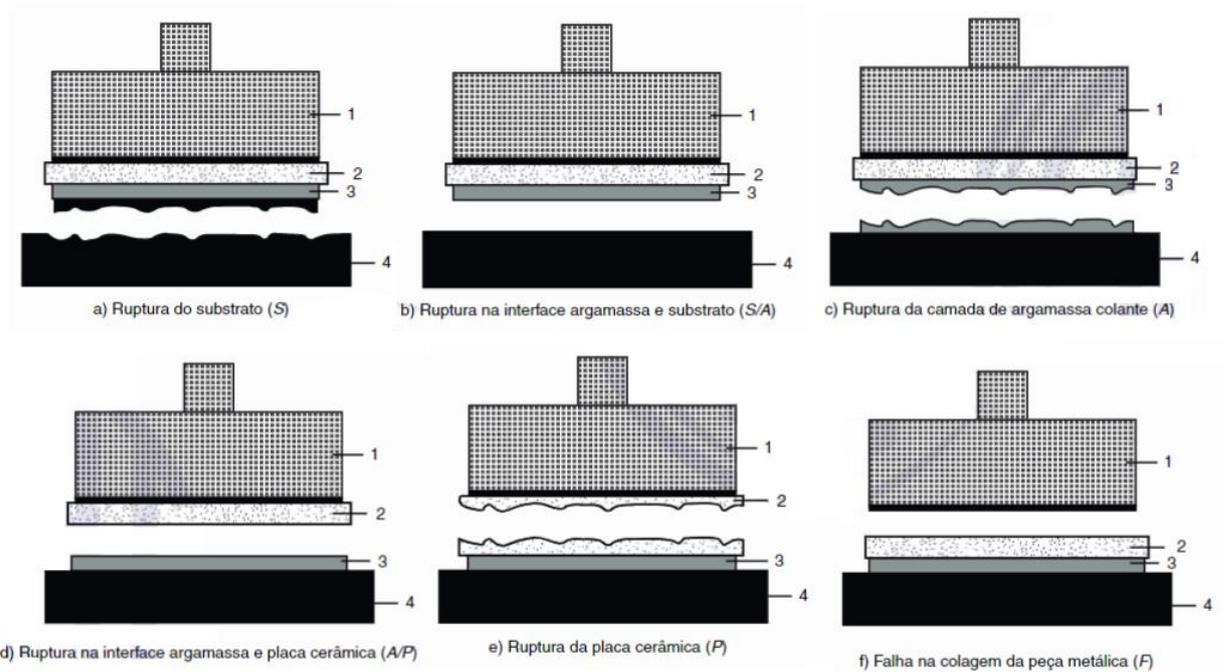


Fonte: Elaborada pelos Autores.

De acordo com a NBR 14081-4 (ABNT, 2012), as rupturas provenientes do ensaio podem ser classificadas em:

- a) ruptura do substrato (S);
- b) ruptura na interface argamassa e substrato (S/A);
- c) ruptura da camada de argamassa colante (A);
- d) ruptura na interface argamassa e placa cerâmica (A/P);
- e) ruptura da placa cerâmica (P);
- f) falha na colagem da peça metálica (F).

Figura 9 – Tipos de rupturas



Fonte: Adaptado de NBR 14081-4 (ABNT, 2012, p. 5).

Legenda:

- 1 - Pastilha metálica
- 2 - Placa cerâmica (BIIa)
- 3 - Argamassa colante (ACIII – Super formatos)
- 4 - Substrato-Padrão (chapa de tetrapak, RU e cimentícia)

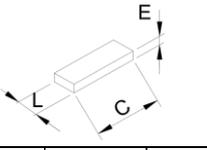
A Figura 9, apresenta a classificação do tipo de ruptura de acordo com a norma, a qual foi utilizada para identificação das características dos materiais envolvidos no ensaio. Todos os resultados obtidos foram planilhados e comparados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o desenvolvimento dos ensaios técnicos experimentais, apresenta-se os resultados obtidos, as análises e as discussões plausíveis que colaboram para as conclusões a serem apresentadas. Foram realizados os ensaios de higroscopicidade e aderência a fim de analisar e estudar os comportamentos e propriedades físicas/mecânicas das chapas de tetrapak e compará-la às chapas de cimentícia, RU e ST.

A tabela 3 apresenta os resultados obtidos no ensaio de higroscopicidade.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de higroscopicidade

Material	Amostra				Volume (cm ³)	Massa Seca (g)	Massa Úmida (g)	Densidade (g/cm ³)	Taxa de Absorção (%)
		C (mm)	L (mm)	E (mm)					
Cimentícia	A 1	76,31	25,48	10,01	19,46	33,1257	38,5048	1,7020	16,24
	A 2	76,24	25,41	10,00	19,37	32,2701	37,3011	1,6658	15,59
	A 3	76,33	25,51	10,01	19,49	33,3393	38,3921	1,7105	15,16
	A 4	76,14	25,41	10,06	19,46	33,5151	38,7412	1,7220	15,59
	A 5	76,17	25,45	10,03	19,44	33,3765	38,5299	1,7166	15,44
Valor Médio =								1,7034	15,60
Gesso Acartonado RU	A 1	76,21	25,39	12,44	24,07	18,6486	22,2328	0,7747	19,22
	A 2	76,04	25,34	12,48	24,05	19,3136	23,0482	0,8032	19,34
	A 3	76,35	25,40	12,47	24,18	19,0453	22,6868	0,7876	19,12
	A 4	76,40	25,38	12,36	23,97	18,7691	22,2800	0,7831	18,71
	A 5	76,38	25,48	12,34	24,02	18,4515	21,8388	0,7683	18,36
Valor Médio =								0,7834	18,95
Gesso Acartonado ST	A 1	76,24	25,33	12,50	24,14	15,9492	24,0204	0,6607	50,61
	A 2	76,33	25,50	12,29	23,92	15,8225	23,8601	0,6614	50,80
	A 3	76,20	25,32	12,32	23,77	15,8182	23,8805	0,6655	50,97
	A 4	76,10	25,48	12,38	24,01	16,0040	23,9061	0,6667	49,38
	A 5	76,00	25,53	12,32	23,90	15,7908	23,6358	0,6606	49,68
Valor Médio =								0,6630	50,29
Tetrapak	A 1	76,06	25,14	11,11	21,24	20,3688	20,4706	0,9588	0,50
	A 2	76,35	25,34	11,03	21,34	21,5524	21,6323	1,0100	0,37
	A 3	76,29	25,42	10,37	20,11	20,8288	20,9007	1,0357	0,35
	A 4	76,16	25,66	10,41	20,34	20,8424	20,9041	1,0245	0,30
	A 5	76,43	25,47	10,71	20,85	21,4747	21,5343	1,0300	0,28
Valor Médio =								1,0118	0,36

Fonte: Elaborada pelos Autores.

Observa-se nos resultados obtidos, que as amostras da chapa tetrapak apresentaram uma taxa de absorção média inferior as demais, entorno de 0,36%, este resultado é coerente com o referencial bibliográfico analisado na etapa exploratória. Também é apresentado a densidade das amostras, destaca-se o valor aproximadamente 30% menor do material tetrapak em relação a chapa cimentícia. Foi observado a variação dimensional dos corpos de prova ao serem mantidos submersos, como resultado, as amostras das chapas cimentícia e tetrapak, não sofreram alterações significativas. No entanto, as chapas a base de gesso acartonado (RU e ST), manifestou variações na espessura de 1 a 3%, a Figura 10 apresenta a verificação dimensional com a amostra (A1) úmida da chapa ST.

Figura 10 – Verificação dimensional úmida



Fonte: Elaborada pelos Autores.

Os valores de resistência a atração obtidos no ensaio de aderência, estão apresentados na tabela 4 a seguir:

Tabela 4 – Resultados do ensaio de aderência

Chapa cimentícia ensaiada												
Amostra	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Valor Médio	Desvio Padrão
Força aplicada (N)	1.327	1.117	1.564	1.506	1.095	1.081	1.353	1.250	1.409	1.268		
Tensão de ruptura (MPa)	0,68	0,57	0,80	0,77	0,56	0,55	0,69	0,64	0,72	0,65	0,66	8,6%
Chapa RU ensaiada												
Amostra	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Valor Médio	Desvio Padrão
Força aplicada (N)	480	544	654	674	653	654	556	687	465	476		
Tensão de ruptura (MPa)	0,24	0,28	0,33	0,34	0,33	0,33	0,28	0,35	0,24	0,24	0,30	4,5%
Chapa Tetrapak ensaiada												
Amostra	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Valor Médio	Desvio Padrão
Força aplicada (N)	394	246	261	152	243	109	181	304	489	127		
Tensão de ruptura (MPa)	0,20	0,13	0,13	0,08	0,12	0,06	0,09	0,16	0,25	0,06	0,13	6,2%
Dimensões da placa cerâmica fixada 50x50 mm												

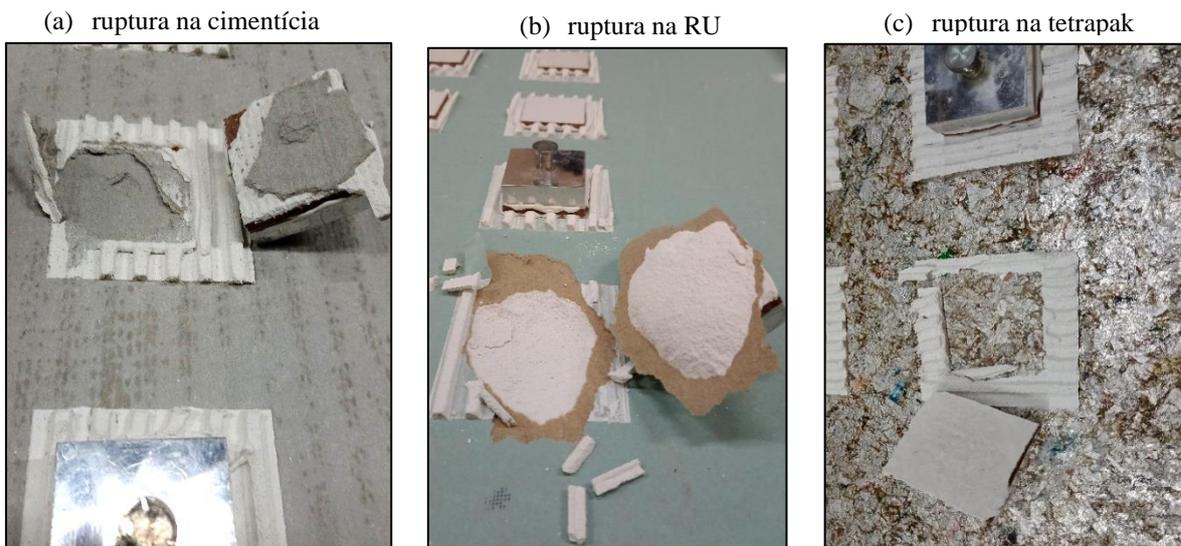
Fonte: Elaborada pelos Autores.

No ensaio de aderência da argamassa colante à chapa cimentícia, obteve-se um valor de tensão média do deslocamento igual a 0,66 MPa, acima do exigido pela a NBR 13749 (ABNT, 2013). Em sete das dez amostras ensaiadas da chapa cimentícia, houve a ruptura no substrato (S), classificado conforme a NBR 14081-4 (ABNT, 2012, p. 5), o que pode ser observado na Figura 11 (a).

Para a chapa RU os resultados apresentados na Tabela 4, revelam um valor de tensão média do deslocamento igual a 0,30 MPa, igual o solicitado na norma. Todas as chapas amostradas de gesso acartonado, apresentaram a ruptura no substrato (S), que pode ser observado na Figura 11 (b).

Os valores de tensão de ruptura apresentados pelas amostras da chapa tetrapak, oscilaram entre 0,06 à 0,20 MPa com valor médio de 0,13 MPa, o maior valor obtido não atende o mínimo exigido pela norma apresentado na Tabela 2. No entanto, foi constatado que a superfície da chapa tetrapak não oferece condições favoráveis a ancoragem da argamassa ensaiada, devido à falta de saliências e reentrâncias. Portanto, para que a chapa receba revestimentos argamassados é necessário durante o processo de prensagem a inserção de saliências em sua superfície, assemelhando-se a chapa cimentícia. A falta de rugosidade na chapa propiciou em todas as amostras a ruptura na interface argamassa e substrato (S/A), como pode ser observado na Figura 11 (c).

Figura 11 – Deslocamento observado



Fonte: Elaborada pelos Autores.

Outras características foram percebidas durante a preparação e execução dos ensaios, entre elas destaca-se o manuseio necessário diferenciado entre as chapas. A chapa a base de gesso acartonado demonstrou fragilidade quanto a impactos, de fácil corte, porém com a geração de muitos resíduos. A chapa de material cimentício, apresentou maior resistência mecânica para cortes e furos, e neste processo produziu grande suspensão de partículas. Por último, a chapa de material tetrapak apresentou a capacidade elástica relevante, devido ao fato de absorver os impactos durante o manuseio e também a ausência de poeira e resíduos no processo de corte.

5. CONCLUSÕES

O sistema construtivo em *drywall* têm grande potencial e versatilidade para a construção civil, mas apresenta deficiência em relação aos métodos tradicionais, quando se trata de estruturas externas que entram em contato com as intempéries e áreas úmidas, que necessitam

de proteção contra umidade. A pesquisa realizada confirmou que esta característica do sistema, colabora para sua rejeição por parte dos clientes e profissionais do setor da construção, o que justifica o seu aperfeiçoamento.

Após o estudo da embalagem tetrapak e sua composição, encontrou-se a série "PT" de chapas recicláveis produzidas pela empresa Ibaplac, diferente das demais chapas obtidas com o material tetrapak, possui em sua composição apenas materiais resistentes a umidade, além da característica impermeabilizante garantida pelo fabricante. O estudo também demonstrou que a chapa pode ser facilmente aplicada nas estruturas de montantes e guias metálicas utilizadas no sistema construtivo tradicional do *drywall*, pois possuem as mesmas dimensões comercializadas das chapas de gesso acartonado.

Os resultados obtidos nos ensaios realizados demonstraram que dentre as chapas ensaiadas, a de embalagem tetrapak apresenta a menor taxa de absorção, característica que proporciona uma estrutura de vedação totalmente impermeável se for aplicada corretamente ao sistema. A chapa RU – Resistente a Umidade, demonstrou características semelhantes, porém de acordo com os estudos sabe-se que ela não suporta longos períodos de exposição a umidade, diferente da chapa RU a chapa ST – Standard não possui em sua composição aditivos hidrofugantes, o que pôde ser observado devido a sua taxa de absorção superior as demais. Já a chapa cimentícia, apesar do seu título hidrofugante, apresentou resultados inferiores à chapa tetrapak.

Com o ensaio de aderência, foi possível identificar as características de ancoragem da argamassa às chapas aplicadas no *drywall* e *steel frame*, e compará-las com a chapa tetrapak. Foi notório que a baixa capacidade de absorção e a falta de rugosidade na superfície da chapa tetrapak, impediu que acontecesse a ancoragem da argamassa ao substrato da mesma, os valores obtidos de aderência sem a inserção de saliências em sua superfície, não atendem as determinações da NBR 13749 (ABNT, 2013), o que impede que o acabamento seja feito com revestimentos cerâmicos fixados com argamassa colante.

Obteve-se através das pesquisas que a chapa tetrapak é comercializada por valores semelhantes à chapa cimentícia, além disso, os resultados alcançados nos estudos e ensaios realizados, mostraram-se promissores, o que justifica a chapa de tetrapak ser alvo de estudos mais detalhados como, dilatação e retração térmica (por conter materiais metálicos), isolamento termoacústico, resistência a incêndios, dentre outros, antes de ser aplicada nos sistemas *drywall* e ou *steel frame*. É evidente que o setor da construção civil, necessita se aprimorar e buscar sistemas mais eficientes que contribuam também para reciclagem, a chapa de tetrapak com suas características personifica essas necessidades do setor.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem primeiramente a Deus, pela oportunidade e graça de concluírem mais uma etapa no desenvolvimento profissional e pessoal, além das amizades e parcerias conquistadas neste processo.

Os autores estendem os agradecimentos às seguintes pessoas e instituições:

Aos familiares, que apoiaram com incentivos, assistência financeira e psicológica, o que contribuiu para obtenção de melhores resultados.

Aos professores, que compartilharam com empenho e dedicação os conhecimentos e experiências técnicas, para formação de bons profissionais.

Ao Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI CFP Belo Horizonte Paulo de Tarso, que cedeu o laboratório e equipamentos necessários para desenvolvimento dos ensaios de aderência, além dos profissionais que acompanharam e orientaram quanto a execução dos mesmos.

A UNA Contagem na pessoa da Letícia Mota Lima, técnica responsável pelos laboratórios acadêmicos, que com presteza auxiliou no desenvolvimento do ensaio de higroscopicidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **MANUAL DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA**. v. 1: Estruturas e Vedação, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 570-98**: Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. United States, 1998.

ARAÚJO, D.C. et al. Avaliação mecânica e físico-química entre telhas convencionais e alternativas usadas em habitações populares. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**. v.3.2, p. 50-56, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528**: revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - determinação da resistência de aderência à tração - aderência ao substrato. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - especificação. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081**: argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - determinação da resistência de aderência à tração. 4. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14715-1**: Chapas de gesso para *drywall* - Requisito. 1. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: edificações habitacionais - desempenho - requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. 4. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16618**: revestimento interno em gesso de paredes e tetos - procedimento. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

CARASEK, Helena et al. **Aderência de Argamassas a Base de Cimento Portland a Unidades de Alvenaria**. 1997. Tese de Doutorado (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, EPUSP, 1997.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação. p. 177, 2013.

DE CERQUEIRA, Mario Henrique; PAK, Engenheiro de Desenvolvimento Ambiental-Tetra. **PLACAS E TELHAS PRODUZIDAS A PARTIR DA RECICLAGEM DO POLIETILENO/ALUMÍNIO PRESENTES NAS EMBALAGENS TETRA PAK**. **Artigos Técnicos, Tetra Pak**, 2000.

DIAS, Marcelo da Silva et al. **SISTEMA DE ESTRUTURAS DRYWALL. ENGENHARIA NA PRÁTICA: CONSTRUÇÃO E INOVAÇÃO**. v. 3, p. 192, 2021.

FONSÊCA, Cleonice Pereira. **PATOLOGIAS EM OBRAS PÚBLICAS EM SISTEMA CONSTRUTIVO DRYWALL**. 2018. 81f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia - UFU, 2018.

MARINHO, Gabriela de Fátima Cândido et al. **Sistema Construtivo em Drywall: uma alternativa na construção civil**. 2017. 61f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário CESMAC, Maceió - Alagoas, 2017.

NEVES, Fernando Luiz. Reciclagem de embalagens cartonadas Tetra Pak. **O Papel**, v. 53, n. 2, p. 38-45, 1999.

NOGAMI, Lizandra. **Fixação de Placas de Rochas Ornamentais: estudo da aderência com argamassa colante**. São Carlos, 2007. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

ROSDI, Mohamad Hilmi Hisyamuddin Mohamad; AHAD, Nor Azwin; SHAHDAN, Dalila. Comparison on oil and water absorption ability of various natural fiber. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, p. 012021, 2022.

SALGADO, Júlio César Pereira. Gesso Acartonado – Sistema *Drywall*. **Técnicas e Práticas Construtivas: da Implantação ao Acabamento**. 1ª ed. São Paulo: Érica LTDA. p. 103-105, 2014.

SEBBEN, Thaíse et al. ANÁLISE DO NÍVEL DE CONFORTO TÉRMICO EM HABITAÇÃO VULNERÁVEL REVESTIDA COM EMBALAGENS TETRA PAK® E PROPOSIÇÕES DE PROJETO1. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Porto Alegre. ANTAC, 2020.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edificações: causas, prevenção e recuperação**. 6ª ed. USP São Paulo: PINI. p. 34, 1989.