

INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

JULIANA LIRA BRITO DE CARVALHO

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR EMBALAGENS
CARTONADAS TRITURADAS

Marechal Deodoro – AL

2022

JULIANA LIRA BRITO DE CARVALHO

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR EMBALAGENS
CARTONADAS TRITURADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (Modalidade Mestrado Profissional) como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Ronny Francisco Marques de Souza

Coorientadora: Profa. Dra. Sheyla Karolina Justino Marques

Marechal Deodoro – AL

2022



**Dados Internacionais de Catalogação na
Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Marechal Deodoro
Biblioteca Dorival Apratto**

C331a

Carvalho, Juliana Lira Brito de.

Análise do desempenho de argamassa de assentamento com substituição parcial do agregado miúdo por embalagens cartonadas trituradas / Juliana Lira Brito de Carvalho. – 2022.

84 f. : il., color.

7.85 megabytes (PDF)

Inclui bibliografia e figuras.

Apêndices: p. 66-83

Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologias Ambientais) – Instituto Federal de Alagoas, *Campus Marechal Deodoro*, Marechal Deodoro, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Ronny Francisco Marques de Souza.

Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Sheyla Karolina Justino Marques.

1. Argamassa. 2. Embalagens cartonadas. 3. Materiais compósitos. 4. Reciclagem. I. Título. II. Souza, Ronny Francisco Marques de. III. Marques, Sheyla Karolina Justino.

CDD: 691.5

**Maria Jôse Nascimento Leite Machado
Bibliotecária – CRB-4/2125**

JULIANA LIRA BRITO DE CARVALHO

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO DE EMBALAGENS
CARTONADAS TRITURADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (Modalidade Mestrado Profissional) como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais.

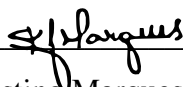
Aprovado em: 20/10/2022

Orientador:



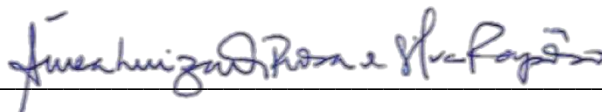
Prof. Dr. Ronny Francisco Marques de Souza, IFAL / *campus* Piranhas

Coorientadora:



Profa. Dra. Sheyla Karolina Justino Marques, IFAL / *campus* Palmeira dos Índios

Banca examinadora:



Profa. Dra. Áurea Luiza Q. Rosa e Silva Rapôso, IFAL / *campus* Maceió



Profa. Dra. Priscylla Cinthya Alves Gondim, IFRN

Marechal Deodoro – AL

2022

Aos meus pais, Maria de Fátima e Josuei de Oliveira (in memoriam), à minha avó, Julia Pereira, ao meu irmão, Tiago (in memoriam), ao meu marido, Eliédson, e ao nosso filho, Rafael, por serem a base de tudo na minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por iluminar as minhas escolhas e cuidar de todos que amo, e, ao mesmo tempo, me encher de sabedoria, dedicação e disposição para vencer todos os obstáculos da minha jornada.

Gostaria de agradecer à minha mãe, Maria de Fátima, e à minha avó, Julia Pereira, que me incentivaram a estudar desde pequena, me aconselharam, me guiaram para o caminho do bem e são exemplos de pessoas guerreiras.

Agradeço ao meu Pai, Josuei de Oliveira (*in memoriam*), e ao meu irmão, Tiago Brito (*in memoriam*), por me amarem e cuidarem tão bem de mim durante toda as suas vidas.

Agradeço imensamente ao meu esposo, Eliédson Carvalho, por ser minha fonte inesgotável de inspiração, por mesmo nas horas mais difíceis, nunca me deixar desistir, por compreender os momentos de ausência que foram dedicados aos estudos e por ser esse pai excelente.

Sou profundamente grata ao nosso filho, Rafael Carvalho, que é luz em nossas vidas, nos faz sempre querer evoluir e sermos pessoas melhores. Gratidão, principalmente, por você nos mostrar e relembrar todos os dias o que é realmente importante nessa vida passageira.

Sou grata ao Programa de Mestrado Profissional em Tecnologias Ambientais do Instituto Federal de Alagoas – IFAL – *Campus* Marechal Deodoro, por proporcionar este ambiente favorável ao meu crescimento intelectual e profissional.

Sou muito grata à cada membro do corpo docente do Programa, em especial, o Prof. Ronny Francisco e a Profa. Sheyla Marques, por orientarem a elaboração deste trabalho, acompanhar a execução das etapas, e por contribuir de forma expressiva com a minha futura carreira.

Não poderia deixar de agradecer e expressar meu carinho pela Prof. Sheyla Marques, que acompanhou todo o meu crescimento pessoal e profissional, se fazendo presente em todas as etapas desde a graduação.

Aos membros da banca pelo tempo disponibilizado e pelas considerações realizadas na avaliação deste trabalho.

Por fim, agradeço com muito carinho demais familiares e professores pelo suporte.

CARVALHO, Juliana Lira Brito de. **Desenvolvimento de argamassa de assentamento com substituição parcial de agregado miúdo por embalagens cartonadas trituradas**. 84 f. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - *Campus Marechal Deodoro*, Instituto Federal de Alagoas, Marechal Deodoro, 2022.

RESUMO

Devido sua composição, as embalagens cartonadas pós-consumo apresentam grande potencial para serem utilizadas como insumo na fabricação de novos produtos. Neste contexto, esta pesquisa teve por objetivo analisar o desempenho da substituição parcial do agregado miúdo por embalagens cartonadas trituradas no desenvolvimento de argamassa para assentamento de alvenaria. A metodologia foi dividida nas seguintes etapas: elaboração da revisão sistemática de literatura; coleta, preparo e cominuição das embalagens cartonadas; caracterização das matérias-primas; definição das composições de referência e experimentais; realização dos ensaios tecnológicos; e análise dos resultados. No agregado miúdo, foi realizada a análise granulométrica. O subproduto, Embalagens Cartonadas Trituradas (ECT), foi caracterizado por meio da Análise Química por Fluorescência de Raios X (FRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). A proporção de 1:6 entre volume de cimento e agregado miúdo foi adotada como referência e foram determinadas as composições experimentais com substituições de 5%, 10% e 15% do volume de agregado por ECT, sendo moldados e testados 5 corpos de prova por composição. Ensaios de Índice de Consistência, Resistência à Compressão, Absorção de Água por Imersão e MEV da Superfície de Fratura foram realizados. Realizou-se a análise de correlação entre os valores médios das propriedades e o percentual de substituição de ECT. Quanto aos resultados do ensaio de Índice de Consistência, as argamassas com substituição de ECT apresentaram pequena redução, mas se mantiveram na faixa apresentada na literatura. Em relação à Resistência à Compressão, as argamassas com substituição de 5%, 10% e 15% apresentaram valores médios de 7,57 MPa, 6,52 MPa e 6,07 MPa, respectivamente. As argamassas com ECT apresentaram baixo índice de Absorção de Água por Imersão, se comparado com os dados da literatura. A análise estatística revelou que todas as propriedades estudadas possuem forte correlação com o percentual de substituição de ECT. A MEV da Superfície Fraturada constatou o maior número de vazios e presença de microfissuras nas amostras com maiores percentuais de ECT. Por fim, a realização deste estudo demonstrou-se relevante no contexto do desenvolvimento de novos materiais técnicos, apresentando ao mercado a argamassa com embalagens cartonadas pós-consumo trituradas.

Palavras-chave: Argamassa; Embalagens cartonadas; Materiais compósitos; Reciclagem.

CARVALHO, Juliana Lira Brito de. **Development of masonry mortar with partial replacement of fine aggregate by triturated carton packages**. 84 s. 2022. Final Paper (Master's Degree in Environmental Technologies) - *Campus* Marechal Deodoro, Federal Institute of Alagoas, Marechal Deodoro, 2022.

ABSTRACT

Due to its composition, post-consumer carton packs have great potential to be used as an input in the manufacture of new products. In this context, this research aimed to analyze the performance of partial replacement of fine aggregate by triturated carton packages in the development of a masonry mortar. The methodology was divided into the following steps: elaboration of a systematic literature review; collection, preparation and comminution of carton packages; characterization of raw materials; definition of the reference and experimental compositions; performance of technological tests; and analysis of results. In the fine aggregate, granulometric analysis was performed. The by-product, Triturated Cartons Packages (ECT), was characterized by Chemical Analysis by X-Ray Fluorescence (XRF) and Scanning Electron Microscopy (SEM). The proportion of 1:6 of volume of cement and fine aggregate was adopted as reference and experimental compositions were determined with substitutions of 5%, 10% and 15% of volume of aggregate by ECT, being molded and tested 5 specimens for each composition. The tests of Consistency Index, Compressive Strength, Water Absorption by Immersion and SEM of Fracture Surface were performed. It was carried out the correlation analysis between the average values of the properties and the percentage of ECT replacement. As for the results of the Consistency Index test, the mortars with ECT replacement showed a small reduction, but they remained in the range presented in the literature. Regarding Compressive Strength, the mortars with replacement of 5%, 10% and 15% showed average values of 7.57 MPa, 6.52 MPa and 6.07 MPa, respectively. Mortars with ECT showed a low rate of Water Absorption by Immersion, when compared to literature data. The statistical analysis revealed that all properties studied have strong correlation with the percentage of ECT replacement. The SEM of the Fractured Surface found the highest number of voids and the presence of microcracks in the samples with the highest percentages of ECT. Finally, the accomplishment of this study proved to be relevant in the context of the development of new technical materials, presenting to the market the mortar with triturated post-consumer carton packages.

Keywords: Mortar; Carton package; Composite material; Recycling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Embalagem cartonada tetraédrica	18
Figura 2 – Composição das multicamadas embalagens cartonadas	19
Figura 3 – Fluxograma do ciclo de vida das embalagens cartonadas.....	20
Figura 4 – Objetivos de desenvolvimento sustentável	22
Figura 5 – Aspectos e impactos ambientais na cadeia produtiva das embalagens cartonadas	22
Figura 6 – Subciclo pós-consumo das embalagens cartonadas no Brasil	25
Figura 7 – Localização das centrais de reciclagens das embalagens cartonadas.....	25
Figura 8 – Fluxograma das etapas da pesquisa	31
Figura 9 – (a) Material obtido antes do peneiramento e (b) ECT	36
Figura 10 – Fluxograma da preparação das ECT	37
Figura 11 – Amostra de agregado miúdo após pesagem.....	37
Figura 12 – Corpos de prova antes o ensaio de resistência à compressão	42
Figura 13 – Realização do ensaio de resistência à compressão.....	43
Figura 14 – Curva granulométrica do agregado miúdo.....	47
Figura 15 – MEV das ECT para as magnificações de (a) 150x e (b) 458x.....	48
Figura 16 – MEV da superfície da fibra de ECT para a magnificação de 3770x.....	49
Figura 17 – Índice de Consistência em função do percentual de ECT.....	51
Figura 18 – Resistência à compressão em função do percentual de ECT	52
Figura 19 – Absorção de água por imersão em função do percentual de ECT	54
Figura 20 – MEV da superfície fraturada para as composições (a) CR, (b) CE5 e (c) CE10	55
Figura 21 – MEV da superfície fraturada da composição CE5 com a magnificação de 231x.....	56
Figura 22 – MEV da superfície fraturada da amostra da composição CE10	57
Figura 23 – MEV da superfície fraturada da composição CE10 com a magnificação de 153x.....	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Perguntas norteadoras da RSL	32
Quadro 2 – <i>Strings</i> utilizadas nas buscas	32
Quadro 3 – Critérios de Inclusão (I) e Critérios de Exclusão (E)	33
Quadro 4 – Critérios de qualidade dos estudos	33
Quadro 5 – Avaliação final dos estudos.....	34
Quadro 6 – Critérios de extração dos estudos	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das argamassas quanto a resistência à compressão	28
Tabela 2 – Índices de consistência e fator água/cimento coletados na literatura	28
Tabela 3 – Composições, em volume, para argamassa convencional encontradas na literatura.....	30
Tabela 4 – Quantidade de amostra para Análise Granulométrica	37
Tabela 5 – Composições Experimentais e de Referência (volume)	40
Tabela 6 – Resultados do ensaio de Granulometria do agregado miúdo	46
Tabela 7 – Fluorescência de Raios X da amostra de ECT	47
Tabela 8 – Fluorescência de Raios X da amostra de ECT	50
Tabela 9 – Valores médios dos Índices de Consistência.....	50
Tabela 10 – Valores médios da Resistência à Compressão.....	52
Tabela 11 – Valores médios da Absorção de Água por Imersão	54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	13
1.2 JUSTIFICATIVA	15
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivo Geral	16
1.3.2 Objetivos Específicos	16
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 CADEIA PRODUTIVA DAS EMBALAGENS CARTONADAS	18
2.1.1 Histórico	18
2.1.2 Sistema produtivo	19
2.1.3 Aspectos ambientais relacionados às embalagens cartonadas	21
2.2 REAPROVEITAMENTO DAS EMBALAGENS CARTONADAS	23
2.3 ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO	26
2.3.1 Propriedades das argamassas de assentamento	27
2.3.2 Composições das argamassas de assentamento	30
3 MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA	31
3.2 MATÉRIAS-PRIMAS	34
3.2.1 Cimento	35
3.2.2 Agregado miúdo	35
3.2.3 Embalagem Cartonada Triturada	36
3.2.4 Caracterização das matérias-primas	37
3.2.4.1 Caracterização do agregado miúdo por Análise Granulométrica	37
3.2.4.2 Caracterização das Embalagens Cartonadas Trituradas	38
3.2.4.1.1 Análise Química por Fluorescência de Raios X	38
3.2.4.1.2 Microscopia Eletrônica de Varredura	39
3.3 DOSAGENS PARA CONFECÇÃO DAS ARGAMASSAS	39
3.4 ENSAIOS TECNOLÓGICOS	40
3.4.1 Índice de Consistência	41
3.4.2 Resistência à Compressão	41
3.4.3 Absorção de Água por Imersão	43

3.4.4 MEV da Superfície de Fratura	44
3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS	46
4.1.1 Análise Granulométrica – agregado miúdo	46
4.1.2 Análise por FRX das ECT	47
4.1.3 Microscopia Eletrônica de Varredura das ECT	48
4.2 ENSAIOS TECNOLÓGICOS	49
4.2.1 Índice de Consistência	50
4.2.2 Resistência à Compressão	52
4.2.3 Absorção de Água por Imersão	53
4.2.4 MEV da Superfície de Fratura	55
5 CONCLUSÃO	58
6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	60
REFERÊNCIAS	61
APÊNDICE 1 – PRODUTO TÉCNICO/TECNOLÓGICO – DEPÓSITO DE PATENTE	66
APÊNDICE 2 – ARTIGO COM OS RESULTADOS DA RSL SUBMETIDO PARA REVISTA ELETRÔNICA DE ENGENHARIA CIVIL - REEC	70

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

As embalagens cartonadas revolucionaram a produção e o consumo de alimentos. São consideradas eficazes na conservação, pois permitem que a qualidade e o valor nutricional sejam preservados. É conhecida em todo o mundo por possuir grande praticidade e fácil utilização (TETRA PAK, 2020).

Entretanto, é importante ressaltar que, devido a sua composição, as embalagens cartonadas possuem tempo prolongado de até 100 anos para se decompor, tornando-se um grande problema ambiental (SOUZA, 2011). Além disso, as embalagens podem ser a causa de impacto negativo ainda maior em virtude do seu grande consumo, resultando no aumento do volume de resíduos sólidos, que quase sempre possui a disposição final de forma inadequada.

Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos de 2021 da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2021), pela primeira vez, a destinação final ambientalmente adequada de resíduos supera a casa dos 60%, com cerca de 46 milhões de toneladas sendo depositadas em aterros sanitários, os quais são obras de engenharia licenciadas para tal finalidade. No entanto, a destinação inadequada de resíduos para aterros controlados e lixões a céu aberto, problema ainda presente no País, é responsável por receber quase 40% do total de resíduos coletados, ou 30,3 milhões de ton/ano (ABRELPE, 2021).

Dessa forma, observa-se que elaborar meios mais eficientes para que os materiais utilizados e descartados retornem ao ciclo de produção, torna-se imprescindível. De fato, o desenvolvimento de trabalhos que tragam práticas voltadas para Reduzir, Reutilizar, Reciclar e Repensar (4R's) deve ser fortalecido, contribuindo na sensibilização da sociedade.

Por outro lado, de acordo com a Norma Brasileira NBR 13281 – argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos – (ABNT, 2005a), a argamassa caracteriza-se pela mistura homogênea de agregado miúdo, aglomerante e água, com propriedades de aderência e endurecimento. Dependendo da funcionalidade, do material utilizado e local a ser aplicada, as argamassas podem ser classificadas como: de revestimento, de assentamento, de rejuntamento, chapisco, emboço, contrapiso e colante (ABCP, 2002).

A argamassa de assentamento é utilizada em grande escala, no Brasil, para a elevação de paredes e muros de blocos. As funções primordiais das juntas de argamassa na alvenaria são: transformar os blocos em elemento único; distribuir igualmente as cargas atuantes; selar as juntas; e absorver as deformações naturais (JONES; OLIVEIRA; LIMA, 2015).

Estudos recentes sobre a incorporação de subprodutos em argamassas têm sido realizado com o intuito tanto de investigar o desempenho das propriedades das argamassas, quanto de propor alternativas que visem mitigar os problemas relacionados com a geração de resíduos. Vale destacar que, de acordo com Ferreira *et al.* (2015), o termo subproduto é aplicado aos compostos secundários que resultam de processos produtivos e que podem ser utilizados para a confecção de novos produtos.

Nesse contexto, a pesquisa realizada por Balapour, Ramezaniapour e Hajibandeh (2017) revelou que a incorporação de cinzas de casca de arroz em substituição parcial do cimento melhorou as características de durabilidade e resistência mecânica em relação a argamassa tradicional. O trabalho de Pavez *et al.* (2018), que utilizou escória de cobre como subproduto incorporado em argamassas em substituição do agregado miúdo, mostrou que houve aumento na resistência à compressão e à flexão se comparadas a argamassa tradicional.

Em contrapartida, na literatura, existem estudos que mostram que a inserção de subprodutos resulta em perdas de desempenho das propriedades da argamassa, como é caso da pesquisa de Rahman *et al.* (2013) que revelou que a incorporação de fibras de PET em substituição do agregado miúdo resulta na diminuição da resistência à compressão, além de maior índice de absorção de água e porosidade em comparação a argamassa convencional. Usahanunth e Tuprakay (2017) estudaram o uso de resíduo de baquelite como subproduto incorporado em argamassa, substituindo o agregado miúdo, e obtiveram como resultado a diminuição na resistência à compressão da argamassa com o aumento dos percentuais de substituição. Apesar disso, vale ressaltar que mesmo com a redução de resistência à compressão, a argamassa atendeu aos requisitos técnicos exigidos pelo mercado para porcentagens de incorporação de subproduto de baquelite variando entre 11% e 24%.

Compondo a base teórica desta pesquisa, encontram-se os estudos realizados pelos autores já mencionados no texto, Balapour, Ramezaniapour e Hajibandeh (2017), Pavez *et al.* (2018) e Usahanunth e Tuprakay (2017). Ainda, o trabalho de Martínez-Barrera *et al.* (2020), que investigaram o comportamento mecânico de concreto com a incorporação de resíduos de embalagens cartonadas, traz contribuições para referencial teórico desta pesquisa.

Além desses, também se apresentam na fundamentação teórica, os estudos realizados por Shubbar *et al.* (2019) que propuseram a avaliação do desempenho mecânico e durabilidade de argamassas cimentícias com incorporação de cinzas volantes modificada e escória de alto forno granular; e Menezes, Marques e Souza (2022) que desenvolveram a argamassa de assentamento de alvenaria com incorporação de conchas de Sururu descartadas.

Apesar dos estudos similares já realizados, esta pesquisa traz o diferencial de aplicar a embalagem cartonada reciclada em argamassas de assentamento, produto que é largamente utilizado na construção civil. Desse modo, a pesquisa surge com o propósito de fechar o ciclo produtivo das embalagens cartonadas, evitando o descarte irregular e apresentando destinação final que as recoloca no mercado como parte integrante de novo produto.

Por fim, a presente proposta tem como foco a realização de análise acerca do comportamento da argamassa para assentamento com a incorporação de subproduto derivado de embalagens cartonadas pós-consumo trituradas, verificando sua viabilidade técnica por meio da caracterização do material e de ensaios tecnológicos.

Baseado no panorama apresentado, o seguinte questionamento surge como problema de investigação desta pesquisa: **Quais contribuições podem resultar da aplicação de embalagens cartonadas pós consumo trituradas na fabricação de argamassa de assentamento de alvenaria?**

1.2 JUSTIFICATIVA

A Lei 12.305/10 (BRASIL, 2010) que institui Política Nacional de Resíduos Sólidos, salienta a importância de dar destinação final ambientalmente adequada aos resíduos sólidos. Assim, antes de descartar os resíduos, deve-se priorizar sua reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e seu aproveitamento energético.

Por outro lado, destinar adequadamente os subprodutos gerados pela indústria não é tarefa fácil. Como afirma Santos (2019), as dificuldades são inúmeras, com destaque para a sensibilização da população e viabilidade logística, financeira e tecnológica. Neste contexto, a realização do trabalho justifica-se tanto pela proposta de apresentar alternativas para destinação final das embalagens cartonadas, quanto para mitigar as dificuldades envolvidas no processo.

Tendo em vista que as embalagens cartonadas são amplamente consumidas, fica evidente a necessidade de estudos sobre processos que implementem sua inserção como componente de produtos alternativos ou processos de reaproveitamento. Dessa maneira, o desenvolvimento da pesquisa se fortaleceu no sentido de buscar resultados sobre o desempenho técnico da incorporação de embalagem cartonadas pós-consumo na fabricação de argamassa de assentamento.

Aliado aos pontos mencionados, outros trabalhos já demonstraram que é viável aplicar subprodutos na fabricação de argamassas, como por exemplo, a argamassa com baquelite (USAHANUNTH; TUPRAKAY, 2017); argamassa com cinza da casca de coco verde

(MATOS; GUIMARÃES, 2017); argamassa com borracha (KURZ; PALIGA; TORRES, 2018); argamassa com resíduos da construção civil (SCHILLER; PALIGA; TORRES, 2021); e argamassa com conchas de sururu (MENEZES; MARQUES; SOUZA, 2022).

Contudo, este trabalho apresenta papel fundamental na produção de conhecimento científico sobre o desenvolvimento de argamassa de assentamento com a incorporação de subproduto de embalagens cartonadas, contribuindo para o fechamento do seu ciclo produtivo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar o desempenho de argamassa para assentamento de alvenaria com substituição parcial do agregado miúdo por embalagens cartonadas pós-consumo trituradas, atestando sua viabilidade técnica por meio de ensaios tecnológicos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Categorizar de forma sistemática estudos sobre argamassas com incorporações de subprodutos;
- Estudar a cadeia produtiva das embalagens cartonadas;
- Caracterizar o agregado miúdo por meio da Análise Granulométrica e as embalagens cartonadas através da Análise Química por Fluorescência de Raios X (FRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV);
- Definir os percentuais de incorporação de embalagens cartonadas trituradas para os traços experimentais;
- Realizar os ensaios tecnológicos de Índice de Consistência (IC), Resistência à Compressão (RC), Absorção de Água (AA) por imersão e ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) na superfície fraturada dos corpos de prova;
- Analisar os resultados dos ensaios tecnológicos.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido e organizado com a seguinte estrutura:

O capítulo 1 aborda o panorama geral em relação ao conteúdo de estudo, percorrendo aspectos norteadores da pesquisa como introdução, justificativa, objetivo geral, objetivos específicos e a descrição da estrutura da dissertação.

O capítulo 2 traz o referencial teórico sobre as embalagens cartonadas pós-consumo e sua cadeia produtiva, destacando o histórico, sistema produtivo, geração de resíduos e panorama do reaproveitamento das embalagens pós consumo. Além disso, este mesmo capítulo apresenta os aspectos relacionados às argamassas de assentamento, citando a definição, as principais classificações, as propriedades e as composições para produção de argamassa de assentamento.

No capítulo 3, está apresentada a metodologia utilizada para alcançar os objetivos propostos neste estudo, detalhando a elaboração da revisão sistemática de literatura; coleta, preparação e caracterização das embalagens cartonadas; definição das composições de referência e experimental, realização dos ensaios tecnológicos e, por fim, análise dos resultados.

O capítulo 4 expõe os resultados experimentais referentes aos ensaios tanto de caracterização das matérias-primas, quanto os tecnológicos de índice de consistência, resistência à compressão e absorção de água por imersão realizados na argamassa. Assim, os resultados estão representados por meio de gráficos, figuras e tabelas. Neste capítulo também podem ser encontradas a análise e a discussão acerca dos resultados.

No capítulo 5 são expostas as considerações finais sobre o desenvolvimento do estudo. E no capítulo 6, encontram-se as sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, estão relacionadas as referências utilizadas durante a elaboração dessa dissertação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 EMBALAGENS CARTONADAS

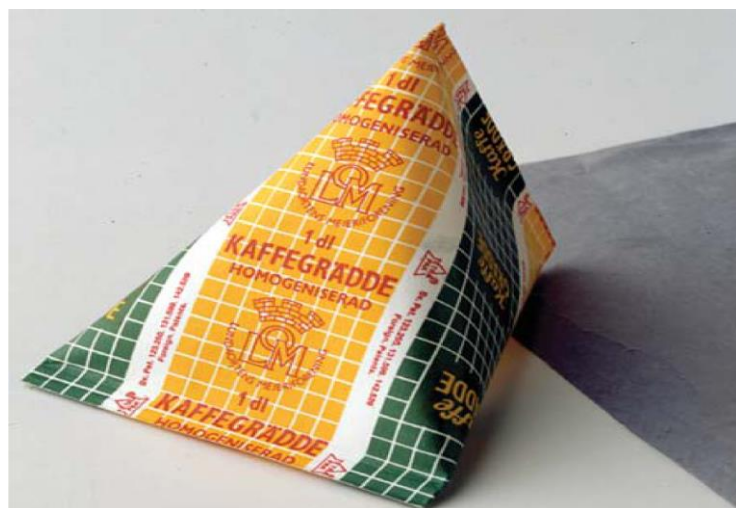
2.1.1 Histórico das embalagens

Desde a mudança da vida nômade para a vivência em comunidade, há aproximadamente 10 mil a.C., a produção de novos materiais foi intensificada. Esse processo ficou ainda mais acelerado após a Revolução Industrial que, com o incremento de novas tecnologias, foi capaz de produzir grande diversidade de novos materiais (DEUS; BATTISTELLE; SILVA, 2015).

Dentre esses materiais, que se formaram e se tornaram fundamentais para a população estão as embalagens. De acordo com Borges (2007), pode-se dizer que as embalagens acompanharam o desenvolvimento humano, atendendo a necessidade de armazenamento de água e alimentos.

Ao longo da história as embalagens ganharam diversas formas e passaram a fazer parte da rotina humana. Dentre elas, destacam-se as embalagens cartonadas, que ganharam forma quando a Europa passava por problemas de conservação de leite, após a segunda guerra mundial, e se tornaram indispensáveis para as famílias (SOUZA, 2011). Nascimento *et al.* (2007) relatam que no início dos anos 50, o empresário sueco, Ruben Rausing, desenvolveu a embalagem tetraédrica (Figura 1) empregando plástico e papel, selada sem a presença de oxigênio.

Figura 1 – Embalagem cartonada tetraédrica



Fonte: Nascimento *et al.*, 2007.

De acordo com Nascimento *et al.* (2007), buscando resolver também os problemas de estocagem e com o aprimoramento do envase asséptico, a embalagem cartonada ganhou o formato de paralelepípedo ainda nos anos de 1950. O uso comercial das embalagens longa vida se iniciou em 1961, chegando ao Brasil somente nos anos 1970.

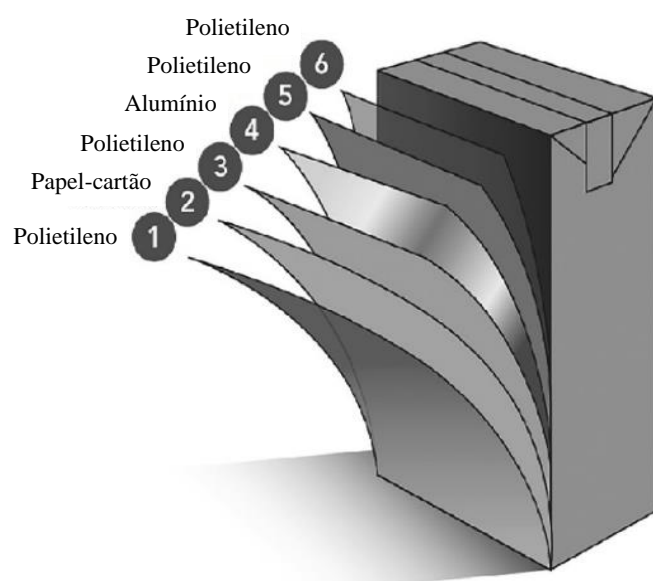
2.1.2 Sistema produtivo

As embalagens cartonadas, também chamadas de longa vida, revolucionaram a produção e o consumo de alimentos. São consideradas eficazes na conservação, pois permitem que a qualidade e o valor nutricional sejam preservados. É conhecida em todo o mundo por possuir grande praticidade e fácil utilização (TETRA PAK, 2022a).

A principal empresa de embalagens cartonadas no mundo é a Tetra Pak. De acordo com o Relatório de Sustentabilidade da Tetra Pak (2020), somente em 2019 foram vendidas 190 bilhões de embalagens cartonadas, cerca de 90% da produção mundial, distribuídas de acordo com as seguintes categorias: produtos laticínios líquidos (57,9%); néctar (14,8%); bebidas não gasosas (10,2%); laticínios alternativos (7,7%); alimentos (5,8%); e vinhos e destilados (2,4%).

Segundo Martínez-Barrera *et al.* (2020), a estrutura das embalagens cartonadas é constituída a partir de camadas de três materiais: papel-cartão (75%), polietileno (20%) e alumínio (5%). A Figura 2 apresenta esquematicamente as multicamadas das embalagens cartonadas.

Figura 2 – Composição das multicamadas das embalagens cartonadas

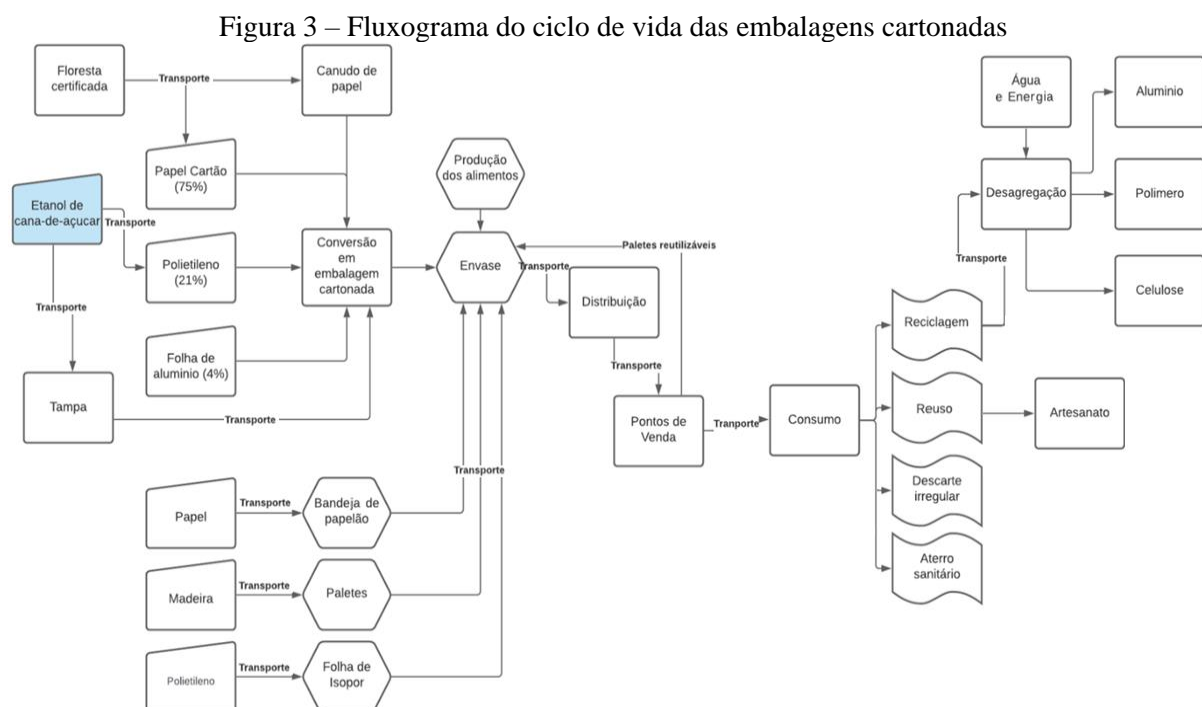


Fonte: Adaptado de Martínez-Barrera *et al.*, 2020.

Cada camada apresentada na Figura 2 tem função específica. Desse modo, a camada 1, é confeccionada com polietileno para proteger o produto da umidade externa. A camada 2, feita de papel-cartão (celulose) oferece estabilidade dimensional e resistência. A camada 3 (polietileno) é necessária para a laminação das camadas. A camada 4, feita de folha de alumínio, funciona como barreira contra oxigênio, aroma e luz. A camada 5 (polietileno) é necessária para o processo de laminação. A camada interna (6), feita de polietileno, sela o líquido (MARTÍNEZ-BARRERA *et al.*, 2020).

Para detalhar o processo de fabricação das embalagens cartonadas, pode-se dividi-lo em três estágios fundamentais: impressão, laminação e corte. Primeiramente, ocorre a impressão no papel, onde é aplicada a camada de tinta que servirá de rótulo do futuro produto. Após impresso, o papel passa pela laminação para serem adicionados o polietileno e o alumínio. Na última etapa, são realizados o corte e bobinamento. Após todo procedimento, a embalagem é enviada ao cliente para o envasamento do produto que irá ser comercializado.

De acordo com Nascimento *et al.* (2007), entende-se a análise do ciclo de vida dos produtos como a ferramenta importante tanto para a logística quanto para a verificação da viabilidade econômica do processo produtivo. Assim, o ciclo de vida permite verificar todos os processos relacionados ao produto, indo desde a aquisição da matéria-prima para a fabricação até a destinação final, incluindo também os impactos gerados sobre o ambiente. A Figura 3 apresenta o fluxograma mais detalhado do ciclo de vida das embalagens cartonadas.



Fonte: Elaborado pela autora com base em Tetra Pak, 2020.

Pela Figura 3, observa-se que o ciclo de vida das embalagens cartonadas é composto pelos seguintes estágios: extração da matéria-prima, transporte, fabricação, distribuição, envase, consumo, coleta seletiva e tratamentos pós-consumo. O ciclo de vida das embalagens cartonadas permite avaliar que existem estratégias que visam reduzir os impactos ambientais gerados no seu processo, por exemplo, manutenção de florestas certificadas, canudo de papel, e polietileno de etanol de cana-de-açúcar aplicado, inclusive, para produção das tampas.

2.1.3 Aspectos ambientais relacionados às embalagens cartonadas

Como mencionado anteriormente, a Tetra Pak é a principal produtora das embalagens cartonadas, sendo responsável por quase toda produção mundial. Desse modo, os dados referentes à empresa podem ser considerados representativos para entender o panorama global das embalagens cartonadas.

O Relatório de Sustentabilidade da Tetra Pak de 2020 (TETRA PAK, 2020) traz aspectos que já estão em prática e metas futuras para aprimorar a cadeia produtiva das embalagens com ações que buscam minimizar os impactos causados em todos os estágios do ciclo de vida do produto. Esse mesmo relatório assegura que a empresa tem alinhado os objetivos estratégicos com soluções que priorizam a Economia Circular e para melhorar a sustentabilidade em toda a cadeia de valor, do fornecimento à produção.

Dentre as ações para minimizar os impactos, estão (TETRA PAK, 2020):

- utilizar papel que venha em sua totalidade de florestas certificadas ou fontes controladas;
- buscar fontes renonáveis para as demais matérias-primas;
- manter a disponibilidade de água potável;
- implementar processos que visem a redução de emissões e dos resíduos totais de operação;
- buscar e operar com fontes de energia renovável;
- fortalecer parcerias para reciclagem das embalagens.

Essas são atividades que se relacionam com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS, os quais foram estabelecidos pela Organização das Nações Unidas – ONU, em 2015, e foram agenda mundial para a construção e implementação de políticas públicas que buscam guiar a humanidade até 2030 (EMBRAPA, 2022). Assim, segundo o relatório da Tetra Pak (2020), a empresa, através das ações supracitadas, tem contribuído para os ODS 6 – água potável e saneamento, 7 – energias renováveis, 9 – indústria, inovação e infraestruturas, 12 –

produção e consumo sustentáveis, 13 – ação climática e 15 – proteger a vida terrestre. A Figura 4 apresenta todos os 17 ODS estabelecidos pela ONU.

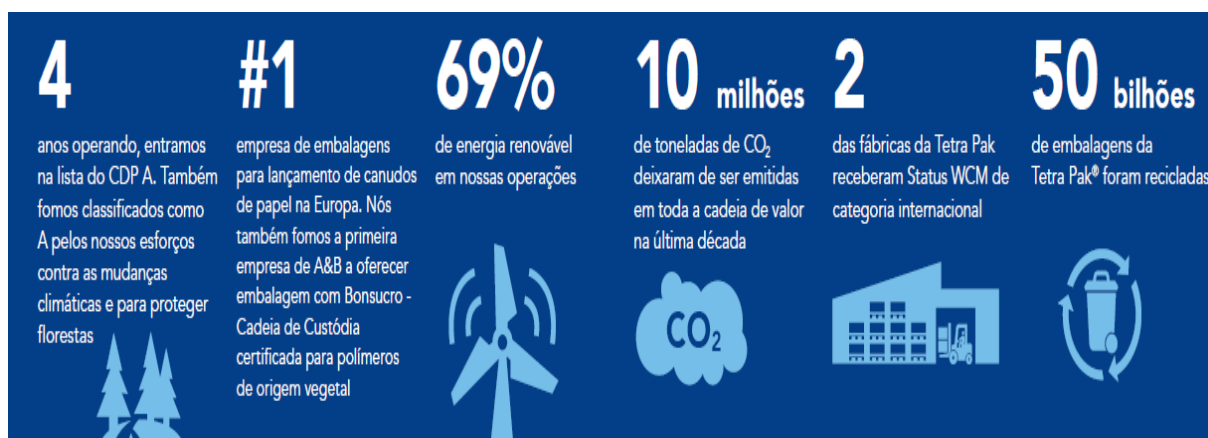
Figura 4 – Objetivos de desenvolvimento sustentável



Fonte: EMBRAPA, 2022.

De acordo com Souza (2011), no que se refere a produção consciente, a Tetra Pak vem desenvolvendo parte das ações mencionadas com intuito de mitigar os impactos ambientais desde de 1980, bem antes do estabelecimento dos ODS. De modo geral, os principais resultados obtidos pelas atividades mitigadoras da empresa estão apresentadas no Relatório de Sustentabilidade (TETRA PAK, 2020) e podem ser vistas na Figura 5.

Figura 5 – Aspectos e impactos ambientais na cadeia produtiva das embalagens cartonadas



Fonte: Tetra Pak, 2020.

A Figura 5 mostra que a empresa já opera com 69% de energia de fontes renováveis e conseguiu reduzir 10 milhões de toneladas de emissões de CO₂ em toda cadeia de valor somente na última década. Além disso, somente em 2019 foram recicladas 50 bilhões de embalagens cartonadas da empresa Tetra Pak.

Apesar do elevado número de embalagens cartonadas que foram recicladas, este valor representa somente 26,3% do total da produção anual (TETRA PAK, 2020). De acordo com o

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2022), no Brasil, os números estão melhorando, de modo que 43,7% das embalagens longa vida produzidas no país foram encaminhadas para a reciclagem. Mesmo assim, grande parte das embalagens continuam sem receber destinação ambientalmente adequada.

É importante ressaltar que, devido a sua composição multicamadas, as embalagens cartonadas apresentam dificuldade para serem encaminhadas para reciclagem em função da agregação de materiais com características químicas e físicas bem diferentes. Além disso, quando dispostos na natureza, os materiais constituintes das camadas apresentam tempo de decomposição médio diferentes, o papel está entre dois e cinco meses, o alumínio 100 a 500 anos e do polietileno de 100 a 300 anos (NASCIMENTO *et al.*, 2007; SOUZA, 2011).

Contudo, observa-se que apesar dos recentes avanços e da preocupação das empresas produtoras de embalagens cartonadas, os impactos ambientais negativos resultantes da cadeia produtiva das embalagens cartonadas são significativos e, assim, alternativas que visem melhorias para o setor devem ser buscadas.

2.2 REAPROVEITAMENTO DAS EMBALAGENS CARTONADAS

Pós-consumo, as embalagens já cumpriram seu propósito inicial, que é a proteção do alimento, então precisam ser destinadas para a coleta seletiva, para que ocorra o fechamento do ciclo de vida das embalagens. No entanto, apesar da existência de legislações específicas para a gestão de resíduos, as embalagens cartonadas não estão inclusas na lei, mesmo com sua alta comercialização e possibilidades de reciclagem, necessitando de coleta eficiente para a destinação adequada. Desse modo, evidencia-se que o gargalo da cadeia ainda está na coleta seletiva e na mobilização das pessoas (TREVISAN *et al.*, 2018; TETRA PAK, 2022b).

Na busca de favorecer a coleta seletiva no Brasil, a empresa fabricante das embalagens cartonadas, disponibiliza no site a ferramenta chamada de Rota da Reciclagem (www.rotadareciclagem.com.br), buscador online que localiza os pontos de coleta seletiva mais próximos dos consumidores (TETRA PAK, 2022b).

Segundo Moreira (2017), as embalagens cartonadas apresentam três métodos de tratamento pós-consumo: reciclagem, incineração com recuperação de energia e disposição final. Dentre estes métodos, destaca-se a reciclagem, por ter maior praticidade e recolocar no mercado os produtos gerados, e assim, tendo maior utilização.

A empresa Tetra Pak, facilitando a parceria com os recicladores, fomenta a integração para a separação da polpa de celulose da embalagem pós-consumo e posterior venda para

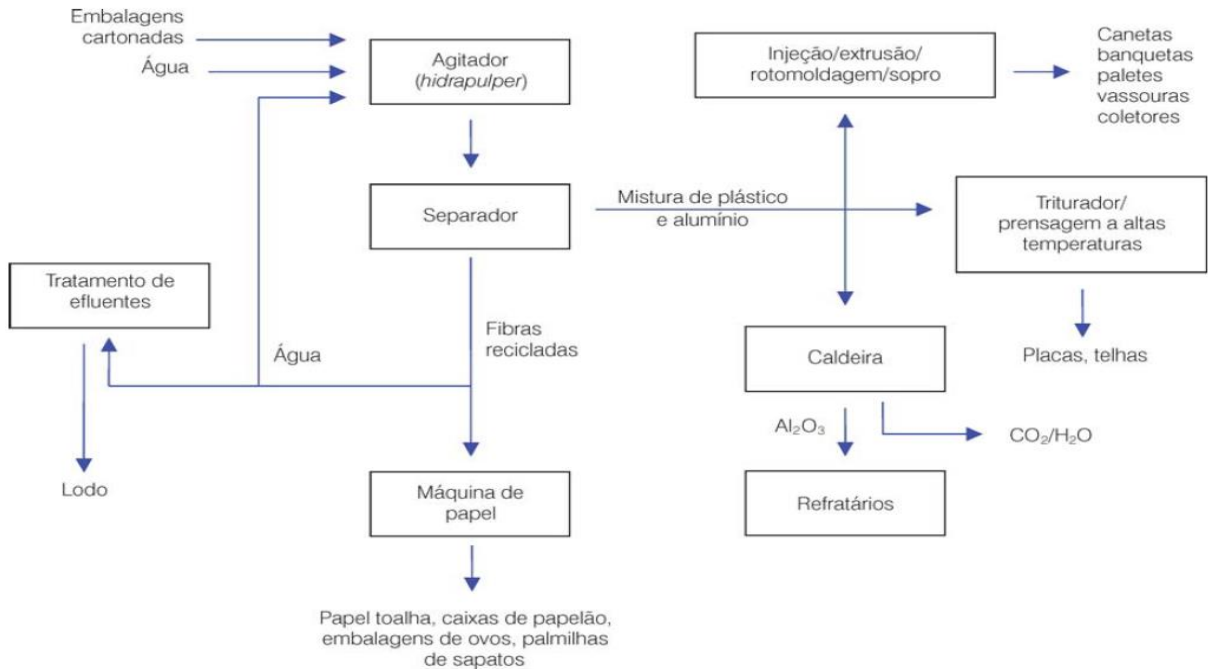
fábricas de papel, agregada à fabricação de placas e telhas com o polietileno e o alumínio restantes. Assim, nas fábricas de papel, o equipamento hidrapulper, equipamento utilizado para a mistura e trituração de grandes volumes, agita as embalagens com água, hidratando as fibras de celuloses e separando-as do polietileno e do alumínio. As fibras de papel recicladas podem se transformar em caixas de papelão, tubetes, chapas, palmilhas, produtos em polpa moldada, entre outros. Cada tonelada de embalagem cartonada reciclada gera, aproximadamente, 680 quilos de papel kraft (CEMPRE, 2022; TETRA PAK, 2022b).

Além disso, de acordo com CEMPRE (2022), o polietileno e o alumínio separados na indústria de papel podem ser utilizados:

- **Fabricação de placas e telhas:** o polietileno e o alumínio são triturados e depois prensados a altas temperaturas, produzindo chapas semelhantes à madeira, ideais para a produção de móveis e divisórias. Essas chapas podem ser transformadas também em telhas utilizadas na construção civil;
- **Produção de pellets:** a mistura de alumínio com polietileno pode ser encaminhada para as indústrias de plástico, nas quais é reciclada por meio de processo de extrusão para produção de pellets. Esses pellets são pequenos grãos de polietileno e alumínio que podem ser utilizados como matéria-prima nos processos de fabricação de peças por injeção, rotomoldagem ou sopro. Os produtos finais são canetas, banquetas, vassouras, coletores e outros;
- **Reciclagem via plasma:** este processo permite a separação total das camadas de plástico e alumínio. O sistema usa energia elétrica para a produção de jato de plasma com cerca 15000 °C para aquecer a mistura de plástico e alumínio. Com o procedimento, o plástico é transformado em parafina e o alumínio totalmente recuperado em forma de lingotes de alta pureza. Esses lingotes são transformados em novas folhas de alumínio usadas na fabricação de novas embalagens, fechando assim o ciclo de reciclagem do material. A parafina é vendida para a indústria petroquímica nacional.

Nascimento *et al.* (2007) esquematizaram de forma resumida o subciclo pós-consumo das embalagens cartonadas, o qual está representado no fluxograma da Figura 6 a seguir. Observa-se que o modelo de reciclagem dessas embalagens (Figura 6) permite a separação do papel, mas mantém o plástico e o alumínio unidos, porém todos os materiais obtidos seguem para a reutilização na fabricação de novos produtos ou geração de energia (NASCIMENTO *et al.*, 2007).

Figura 6 – Subciclo pós-consumo das embalagens cartonadas no Brasil



Fonte: Nascimento *et al.*, 2007.

Existem diversas centrais de reciclagens específicas para embalagens cartonadas em todo mundo. Tetra Pak (2020) revela em seu relatório de sustentabilidade que conta com o apoio de mais de 170 fábricas de reciclagem, distribuídas conforme o infográfico da Figura 7. Além disso, observa-se que o Brasil se encontra com um bom número de fábricas de reciclagem de embalagens cartonadas.

Figura 7 – Localização das centrais de reciclagens das embalagens cartonadas



Fonte: Tetra Pak, 2020.

Varžinskas, Staniskis e Knasyte (2012) e Mourad *et al.* (2008) realizaram estudos sobre a eficiência na redução de emissões de gases do efeito estufa (GEE), comparando as emissões no processo de reciclagem das embalagens em relação à disposição em aterros sanitários. Assim, os resultados obtidos apontaram que o processo de reciclagem apresentou redução de emissões de GEE em 17% (VARŽINSKAS; STANISKIS; KNASYTE, 2012) e 40% (MOURAD *et al.*, 2008).

Apesar dos diferentes meios de destinação final das embalagens cartonadas, a relevância da coleta seletiva fica evidente em todos os estudos, trazendo à tona a importância da consciência socioambiental por parte da população.

2.3 ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT em sua norma NBR 13281 – argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos – (ABNT, 2005a), a argamassa se caracteriza por ser a mistura homogênea de agregado miúdo, aglomerante inorgânico e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria, no caso, argamassa industrializada.

Dependendo da funcionalidade, do material utilizado e local a ser aplicada, diferentes tipos de argamassas podem ser produzidos. As características e propriedades das argamassas vão depender da qualidade e proporções dos materiais com que são compostas. Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2002), as argamassas podem ser classificadas como: de revestimento, de assentamento, de rejuntamento de azulejos e ladrilhos, para chapisco, para emboço, para contrapiso e colante.

Dentro deste contexto, a argamassa de assentamento de alvenaria recebe esse nome, principalmente, pela forma de sua aplicação. De fato, a argamassa de assentamento pode ser entendida como aquela indicada para ligação dos componentes, como blocos cerâmicos e tijolos, na execução de alvenarias, cuja função primordial se dá por meio da vedação ou separação dos ambientes (ABNT, 2005a).

Sobretudo, os subtópicos seguintes tratam especificamente de argamassa de assentamento de alvenaria de blocos cerâmicos, objeto de estudo desta pesquisa. Assim, o texto aborda as propriedades e principais composições, ou traços (nome comumente dado as proporções de cada material utilizadas para a produção da mistura), deste tipo de argamassa.

2.3.1 Propriedades das argamassas de assentamento

A argamassa de assentamento de alvenaria configura-se por ser utilizada em grande escala para a elevação de paredes e muros de tijolos ou blocos cerâmicos. De acordo com Jones, Oliveira e Lima (2015), as funções primordiais das juntas de argamassa na alvenaria:

- transformar os blocos em um único elemento, contribuindo na resistência dos esforços laterais;
- distribuir igualmente as cargas atuantes na parede por toda a área dos blocos;
- selar as juntas, garantindo a não infiltração de água;
- absorver as deformações naturais, como as de retração e de origem térmica.

De acordo com Kurz, Paliga e Torres (2018), entre as propriedades essenciais para o desempenho satisfatório das argamassas de assentamento, estão: trabalhabilidade, especialmente consistência, plasticidade e adesão inicial, retração, aderência, permeabilidade à água, resistência mecânica, principalmente a superficial, e capacidade de absorver deformações.

Para garantir que as argamassas apresentem boa funcionalidade e aplicabilidade, a norma brasileira NBR 13281 (ABNT, 2005a) especifica os requisitos nos quais as argamassas destinadas ao assentamento de paredes devem cumprir. No total, esta norma prevê 7 (sete) propriedades e seus respectivos métodos de ensaios tecnológicos que devem ser realizados com o intuito de classificar a argamassa.

De modo geral, as propriedades requeridas pela NBR 13281 (ABNT, 2005a) são: resistência à compressão, densidade de massa aparente no estado endurecido, resistência à tração na flexão, coeficiente de capilaridade, densidade de massa no estado fresco, retenção de água, e resistência potencial de aderência à tração.

A resistência à compressão (RC) representa a propriedade comumente investigada no controle de qualidade das argamassas, tendo em vista que o ensaio é considerado relativamente simples (SHUBBAR *et al.*, 2019; KURZ; PALIGA; TORRES, 2018; MATOS; GUIMARÃES, 2017). Além disso, diversas propriedades das argamassas, como módulo de elasticidade, impermeabilidade e durabilidade podem ser deduzidas a partir da resistência à compressão.

A Norma Brasileira NBR 13281 (ABNT, 2005a) classifica as argamassas de assentamento em relação a resistência à compressão por meio da Tabela 1 a seguir. Esta norma indica que este ensaio deve ser realizado conforme a NBR 13279 – argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à tração na flexão e à compressão – (ABNT, 2005b).

Tabela 1 – Classificação das argamassas quanto a resistência à compressão

Classe	Resistência à compressão (MPa)
P1	≤ 2,0
P2	1,5 a 3,0
P3	2,5 a 4,5
P4	4,0 a 6,5
P5	5,5 a 9,0
P6	> 8,0

Fonte: Elaborado pela autora adaptado da ABNT NBR 13281, 2005a.

De acordo com Matos e Guimarães (2017), uma das mais relevantes propriedades da argamassa no estado fresco é o índice de consistência (IC), uma vez que tem relação com a fluidez da mistura e traduz a tendência de deformação da argamassa quando submetida à ação de cargas. O índice de consistência tem o desempenho diretamente influenciado pelo fator de água/cimento (A/C). Assim, autores podem fixar o índice de consistência para descobrir o fator água/cimento da mistura (OLIVEIRA *et al.*, 2019; KURZ; PALIGA; TORRES, 2018; PIMENTEL *et al.*, 2018), ou o contrário (FORMIGONI *et al.*, 2019; SHUBBAR *et al.*, 2019; MATOS; GUIMARÃES, 2017). A Tabela 2 relaciona os resultados dos índices de consistência com o fator água/cimento utilizados por autores em seus estudos sobre argamassas cimentícias com incorporação de subprodutos.

Tabela 2 – Índices de consistência e fator água/cimento coletados na literatura

Autores	Subprodutos	Índice de consistência – IC (mm)	Fator água/cimento – A/C
Matos e Guimarães (2017)	Cinza da Casca de Coco	222 – 273	0,50
Pimentel <i>et al.</i> (2018)	Resíduo da Construção Civil	255 – 265	1,21 – 1,90
Passos e Carasek (2018)	Resíduo de Isolante Térmico	140 – 255	1,07 – 1,88
Pavez <i>et al.</i> (2018)	Escória de Cobre	205 - 216	0,44 – 0,53
Kurz, Paliga e Torres (2018)	Borracha	245 – 265	0,61 – 1,03
Boita e Bellei (2019)	Poliestireno Expandido (EPS)	210 – 310	0,70 – 0,90
Oliveira <i>et al.</i> (2019)	Resíduo de Cerâmica Vermelha	256 – 263	0,48 – 0,52
Formigoni <i>et al.</i> (2019)*	Resíduo de Placa Cerâmica	-	0,88
Shubbar <i>et al.</i> (2019)**	Cinza Volante	-	0,40
Schiller, Paliga e Torres (2021)	Resíduo de Construção Civil	250 – 265	0,70 – 0,74

*Não apresentaram os valores do IC, apenas afirmaram que foram determinados de acordo com a NBR 13276;

**Apresentaram dados de IC a partir de outra métrica (porcentagem).

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

As faixas de índice de consistência, apresentados na Tabela 2, foram obtidas analisando o menor e o maior valor descrito pelos respectivos autores incluindo a argamassa de referência.

De forma análoga, foram construídas as faixas para os fatores de água/cimento, exceto para aqueles autores que fixaram o valor e observaram a variação no índice de consistência.

De modo geral, no Brasil, o ensaio tecnológico para determinação do Índice de Consistência, normatizado pela NBR 13276 – argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação do índice de consistência – (ABNT, 2016a), que, na ausência de informações sobre o fator de água/cimento da argamassa, recomenda adotar a quantidade suficiente para que a mistura apresente índice de consistência de $260 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$.

No estado endurecido, outra propriedade importante é a capacidade de absorção de água (AA) das argamassas, pois está diretamente relacionada com a durabilidade do material (MATOS; GUIMARÃES, 2017). Para mensurar essa propriedade, os ensaios tecnológicos comumente realizados são: absorção de água por capilaridade e absorção de água por imersão (SCHILLER; PALIGA; TORRES, 2021; FORMIGONI *et al.*, 2019; KURZ; PALIGA; TORRES, 2018; BALAPOUR; RAMEZANIANPOUR; HAJIBANDEH, 2017; MATOS; GUIMARÃES, 2017).

A Norma Brasileira NBR 13281 (ABNT, 2005a) classifica as argamassas a partir da absorção por capilaridade e retenção de água, indicando, respectivamente, as normas complementares ABNT NBR 15259 e ABNT NBR 13277, com os procedimentos para realização dos ensaios para obtenção dos valores destas propriedades.

O procedimento do ensaio de absorção de água por imersão em argamassas, normatizado pela NBR 9778 – argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica – (ABNT, 2009), também é comumente realizado pelos autores nos trabalhos com argamassa. Kurz, Paliga e Torres (2018) realizaram este ensaio, seguindo o método proposto pela norma citada, em seu estudo sobre argamassa com substituição de agregado miúdo por resíduo de borracha, obtendo valores médios de 14% de absorção de água por imersão para a composição de referência e valores variando entre 16% e 26% para as composições com borracha.

Em estudo similar, porém propondo a substituição da areia por cinzas da casca de coco verde, Matos e Guimarães (2017) apresentaram seus resultados para absorção de água por imersão na forma de porcentagem em relação ao traço de referência, obtendo aumento de 10%, 17,5% e 27,3% na absorção nas argamassas experimentais com 5%, 10% e 15% de cinzas, respectivamente.

É importante ressaltar que a NBR 9778 (ABNT, 2009) não prevê nenhum valor de referência para a absorção de água por imersão em argamassas, somente recomenda que seja expresso em porcentagem em relação a massa seca.

2.3.2 Composições das argamassas de assentamento

Como mencionado anteriormente, a argamassa de assentamento pode ser caracterizada pela mistura homogênea de agregado miúdo, aglomerante inorgânico e água, contendo ou não aditivos ou adições (ABNT, 2005a). Segundo a ABCP (2002), as características e propriedades das argamassas dependem da qualidade e proporções dos materiais com que são compostos. Diferentes composições podem ser adotadas para argamassas em virtude da sua aplicação e tipo.

Carasek (2017) relata que, se na composição existir apenas um tipo de material aglomerante, a argamassa classifica-se como simples, passando a ser mista, caso a mistura apresente dois ou mais aglomerantes. Os traços comumente encontrados nas composições de custo de construção para argamassa de assentamento são 1:5, 1:6 e 1:7, nas proporções de volume de cimento e areia, ou para argamassa mista composta de cimento, cal e areia, respectivamente, nas proporções 1:2:6 e 1:2:8 (CAVALCANTE *et al.*, 2018).

A Tabela 3 apresenta as composições de referência para argamassa convencional encontradas nos trabalhos presentes na literatura, representando os valores das proporções em volume de cimento para agregado miúdo.

Tabela 3 – Composições, em volume, para argamassa convencional encontradas na literatura

Autores	Cimento	Agregado miúdo
Passos e Carasek (2018)	1	6
Pimentel <i>et al.</i> (2018)	1	6
Kurz, Paliga e Torres (2018)	1	9
Oliveira <i>et al.</i> (2019)	1	3
Formigoni <i>et al.</i> (2019)	1	5,5
Shubbar <i>et al.</i> (2019)	1	2,5
Boita e Bellei (2019)	1	6
Schiller, Paliga e Torres (2021)	1	8

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

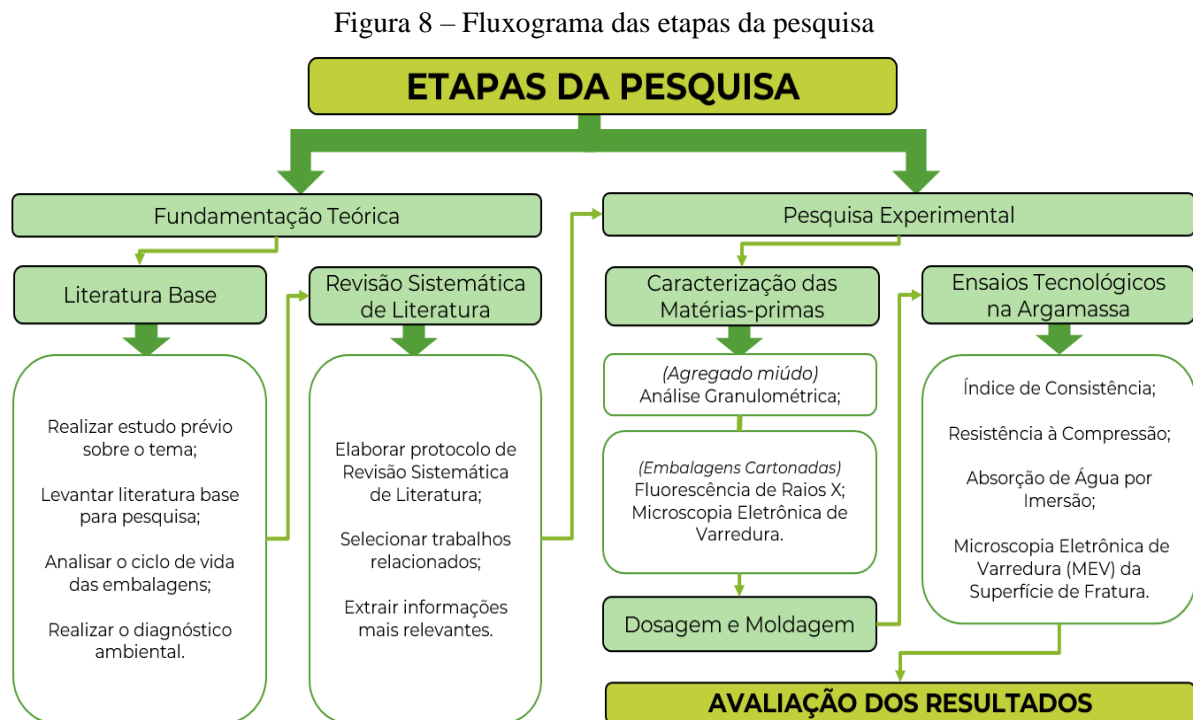
A Norma Brasileira NBR 16541 – argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura para realização de ensaios – (ABNT, 2016b), diante da diversidade de composições, não estabelece nenhum valor de traço padrão. Em termos gerais, a ausência de definição normativa é o que pode ter contribuído para que os autores acabem adotando diferentes traços nos seus estudos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de viabilizar o desenvolvimento de produto a partir do redirecionamento e da reciclagem externa das embalagens cartonadas pós-consumo, esta pesquisa, que se enquadra no tipo experimental, tem enfoque quantitativo e possui como instrumento a realização de análises de caracterização e ensaios tecnológicos (ALMEIDA, 2021).

A presente pesquisa foi dividida nas seguintes etapas: elaboração da revisão sistemática de literatura; coleta, preparo e cominuição das embalagens cartonadas pós-consumo; caracterização das matérias-primas; definição das composições de referência e experimentais; realização dos ensaios tecnológicos; e análise dos resultados.

Com o intuito de facilitar a compreensão das etapas da pesquisa, a Figura 8 apresenta o fluxograma geral da metodologia.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

A Revisão Sistemática de Literatura (RSL) teve como foco principal reunir estudos primários semelhantes, analisando dados e reunindo-os em estudo secundário para que possa, posteriormente, ser divulgado e, assim, outros pesquisadores possam repetir o procedimento e obter resultados semelhantes (GALVÃO; PEREIRA, 2014). Dessa forma, fez-se necessário a elaboração de protocolos que determinam as etapas e os padrões, além de permitirem que a RSL fosse reproduzida.

Inicialmente, foi elaborado o Protocolo de RSL, utilizando como base os itens recomendados pela *Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis Protocols* - PRISMA-P (2015). De forma clara, o Protocolo de RSL detalha todas as etapas utilizadas para a seleção, extração e síntese dos estudos. O Protocolo pode ser encontrado pelo *link* - <https://abre.ai/protocolorsl>.

Neste item, estão destacados os principais pontos da metodologia descrita no Protocolo de RSL. O software *free StArt* foi utilizado para seleção, extração, síntese e registro dos dados. A ferramenta foi fundamental para o gerenciamento das referências, permitindo a customização e facilitando a importação e exportação de dados. O ponto de partida para a realização desse estudo foram as perguntas norteadoras, que estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Perguntas norteadoras da RSL

P1	Quais são os principais tipos de resíduos sólidos utilizados como incorporação em argamassas de assentamento?
P2	Quais os procedimentos utilizados na caracterização de argamassas de assentamento com incorporação de resíduos sólidos?
P3	Qual são os indicadores de viabilidade técnica de argamassas de assentamento com incorporação de resíduos sólidos?

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

A princípio, pensou-se em utilizar *string* de busca para cada pergunta, porém a busca teste revelou que os resultados não seriam satisfatórios. Assim, optou-se pela utilização de *strings* específicas para cada fonte de busca e aplicação de filtros, como período 2016-2020, de modo a refinar os resultados com trabalhos recentes da área de Engenharia. As bases de busca foram: *Google Acadêmico*; *Science Direct*; *IEEE*; e *Periódicos CAPES*. O Quadro 2 apresenta as *strings* utilizadas nas buscas.

Quadro 2 – *Strings* utilizadas nas buscas

Google Acadêmico	“argamassa de assentamento” AND “resíduo sólido” AND (procedimento OR experimento) AND (indicadores OR “viabilidade técnica”)
Science Direct	mortar AND “solid residue” AND (procedure OR test) AND (Indicators OR “technical feasibility”)
IEEE	mortar AND (residue OR waste) AND (procedure OR test)
Periódicos da CAPES	1. “argamassa de assentamento” AND “resíduo sólido” 2. argamassa AND resíduo

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Os estudos resultantes da aplicação das *strings* nas bases de dados passaram por triagem através dos títulos, onde se descartou aqueles que, claramente, não estavam relacionados à estratégia de busca.

Em seguida, foram analisadas palavras-chaves, resumos e conclusões, a fim de verificar os critérios de inclusão e critérios de exclusão. O Quadro 3 apresenta os critérios de inclusão e de exclusão.

Quadro 3 – Critérios de Inclusão (I) e Critérios de Exclusão (E)

Inclusão (I)	Os estudos podem fazer parte de jornais, revistas, conferências e congressos.
	Os estudos deverão estar apresentados somente no formato de artigo.
	O estudo deverá ser dos últimos 5 anos.
	Os estudos devem tratar diretamente de incorporação de resíduos sólidos em argamassas.
	O estudo deverá apresentar metodologia embasada em procedimentos experimentais.
Exclusão (E)	Estudos repetidos.
	Estudos que não tratem de resíduos sólidos.
	Estudos com resultados incompletos.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

A lista de trabalhos aceitos na etapa anterior foi submetida ao critério de qualidade. Os estudos foram lidos para a avaliação da qualidade, que foi realizada através do somatório da pontuação obtida no Quadro 4, onde cada item recebeu pontuação de 0 a 5.

Quadro 4 – Critérios de qualidade dos estudos

Item	Critérios de qualidade	Pont.
Introdução	O estudo possui contextualização adequada sobre argamassa de assentamento com incorporação de resíduo sólido?	
Objetivos	Os objetivos estão apresentados de maneira clara e são pautados em aspectos relacionados a argamassa de assentamento com incorporação de resíduos sólidos?	
Justificativa	A justificativa apresenta contexto coerente para a aplicação do resíduo sólido em argamassa de assentamento?	
Revisão teórica	A revisão teórica traz os autores e estudos mais relevantes sobre argamassa de assentamento com incorporação de resíduos?	
Metodologia	A metodologia apresenta, de forma detalhada, quais os procedimentos experimentais foram utilizados para a caracterização da argamassa de assentamento e seus constituintes?	
Resultados	Os resultados apresentam discussões relevantes acerca da viabilidade técnica da argamassa de assentamento com incorporação de resíduo?	
Conclusão	A conclusão prevê de forma clara se os objetivos foram alcançados e revela os pontos importantes da argamassa de assentamento com incorporação de resíduo estudada?	
TOTAL		

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Foram considerados aprovados os estudos que obtiveram soma igual ou maior que 20, como está apresentado no Quadro 5 a seguir.

Quadro 5 – Avaliação final dos estudos

Pontuação	Situação
0-19	Reprovado
20-35	Aprovado

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

A extração das informações mais relevantes foi iniciada depois que os estudos finais foram aceitos e classificados de acordo com os critérios de qualidade. Os critérios estabelecidos para a extração estão expressos no Quadro 6.

Quadro 6 – Critérios de extração dos estudos

Campo	Conteúdo
A argamassa proposta poderia ser utilizada para assentamento	{ Sim, Não }
Resíduo sólido incorporado à argamassa	Inserir o resíduo sólido utilizado
O resíduo sólido foi utilizado como substituição de algum material da argamassa tradicional	{ Sim, Não }
Tipo de substituição	[Não, Total, Parcial]
Material substituído	[Não, Cimento, Areia]
Procedimentos realizados para a caracterização da argamassa	Inserir os procedimentos utilizados na caracterização
Indicadores de Viabilidade Técnica	Inserir os Indicadores de Viabilidade Técnica
Como o estudo comprovou a viabilidade técnica da argamassa	[Comparação, Apresentação dos Dados, Normas/Referências]

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Ao final da extração, foram construídos gráficos e tabelas com os principais resultados obtidos. As informações extraídas serviram para compor a base teórica desta pesquisa, como qual o tipo de subproduto mais utilizado em argamassas, os principais ensaios tecnológicos e critérios de viabilidade adotados pelos autores.

3.2 MATÉRIAS-PRIMAS

As matérias-primas necessárias para o desenvolvimento da pesquisa foram: cimento, agregado miúdo e embalagem cartonada pós-consumo triturada. O tipo de cimento Portland escolhido foi o CPII – Z – 32 RS, comumente utilizado no Brasil para a fabricação de argamassa de assentamento. O agregado miúdo utilizado foi areia média adquirida em jazida local. As

embalagens cartonadas passaram por processo de trituração e foram incorporadas substituindo parcialmente o agregado miúdo.

3.2.1 Cimento

Bauer (2005) define o material cimento Portland como o produto obtido pela pulverização do clínquer constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com determinada proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego.

A ABCP (2002) estabelece no guia prático de utilização quais tipos de cimento são mais indicados para a fabricação de argamassa de assentamento. Assim, os tipos de cimento definidos são: CP I; CP II-E; CP II-Z; CP II-F; CP III; e CP IV (ABCP, 2002).

Para a produção dos corpos de prova das argamassas de assentamento estudadas nesta pesquisa, foi utilizado o cimento Portland CP II-Z 32 RS, pozolânico, de venda comum e fácil aquisição devido a sua popularidade (OLIVEIRA *et al.*, 2019; CAVALCANTE *et al.*, 2018). O cimento Portland utilizado na pesquisa encontrava-se estocado em embalagens de 50 kg nas dependências do Laboratório de Materiais da Construção do Instituto Federal de Alagoas – IFAL – *Campus* Palmeira dos Índios.

3.2.2 Agregado miúdo

A NBR 7211 – agregados para concreto – especificação – (ABNT, 2005c) define agregado miúdo como sendo aquele formado por grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 0,15 mm. O agregado miúdo utilizado foi areia média com diâmetro teórico dos grãos variando entre 2,00 mm a 0,15 mm mais pequena parcela de finos. A escolha se deu, principalmente, devido ao grande número de estudos que utilizavam areia com características similares (SCHILLER; PALIGA; TORRES, 2021; BOITA; BELLEI, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2019).

A areia média foi adquirida de jazida local e transportada para o Laboratório de Materiais da Construção do IFAL – *Campus* Palmeira dos Índios, onde manteve-se nas baias de armazenamento. Daí, foram retiradas as amostras de areia para caracterização e, também, para uso na fabricação das argamassas estudadas.

Para a realização desta pesquisa, o agregado miúdo foi caracterizado por meio da análise granulométrica, com base na NBR NM 248 – agregados – determinação da composição granulométrica – (ABNT, 2003), com o intuito de determinar o diâmetro máximo, o módulo de finura e a curva granulométrica da amostra.

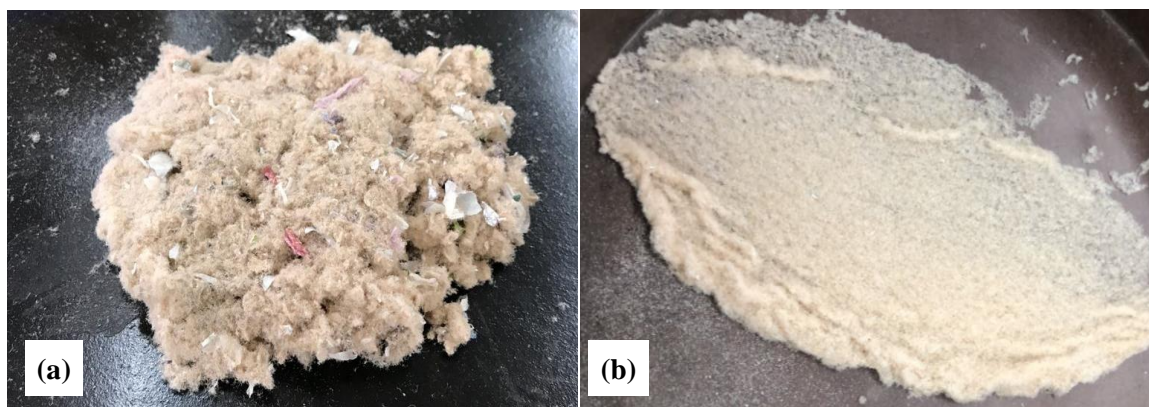
3.2.3 Embalagem Cartonada Triturada

Para a preparação do subproduto, foram coletadas cerca de 60 embalagens cartonadas pós-consumo a partir de lixeiros domiciliares. As embalagens foram levadas para o laboratório, onde o material coletado foi limpo com água parada em balde para eliminar as impurezas, sendo necessários aproximadamente 20 litros. Após a utilização nesta pesquisa, a água precisou ser descartada, pois apresentava resíduos de matéria orgânica. No entanto, pensando em produção em larga escala, a água utilizada na limpeza poderia ser encaminhada para estação de tratamento e ser reutilizada.

Em seguida, todas as embalagens foram trituradas, através de processo reprodutível, com o auxílio de liquidificador convencional juntamente com 200 ml de água, formando espécie de polpa. Foi colocado por vez, a quantidade de 100 g pelo tempo de 10 minutos, totalizando aproximadamente 2 kg. A polpa obtida no processo de trituração foi colocada para secar a temperatura ambiente por 24 horas. Depois do período de secagem, a polpa foi triturada novamente por 10 min, obtendo-se o material apresentado na Figura 9a.

Por fim, o material resultante da trituração foi passado manualmente pela peneira com 4,75 mm de abertura para remoção das partículas maiores. Após o procedimento, foi obtido o material denominado de Embalagem Cartonada Triturada – ECT (ver Figura 9b).

Figura 9 – (a) Material obtido antes do peneiramento e (b) ECT



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Todo procedimento foi realizado no verão, durante o período da manhã e em ambiente arejado, dispensando o uso de iluminação artificial e equipamentos eletrônicos para climatização e ventilação. Vale ressaltar que os processos utilizados para preparação das ECT foram similares aos utilizados por Silva *et al.* (2015) com papelão e Morais *et al.* (2022) com embalagens de cimento. O fluxograma do procedimento de preparação das ECT pode ser visto na Figura 10.

Figura 10 – Fluxograma de preparação das ECT



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

3.2.4 Caracterização das matérias-primas

3.2.4.1 Caracterização do agregado miúdo por Análise Granulométrica

A análise granulométrica seguiu as recomendações da Norma Mercosul NBR NM 248 – agregado para concreto – determinação da composição granulométrica – (ABNT, 2003) similarmente aos estudos de Schiller, Paliga e Torres (2021); Passos e Carasek (2018); e Matos e Guimarães (2017). A análise se deu através do peneiramento fino das amostras do agregado.

A amostra foi preparada de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Assim, a amostra foi passada na peneira de 4,75 mm, do material passante na peneira, pesou-se a quantidade de 1 kg, visto que a quantidade mínima deve ser de 300 g, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Quantidade de amostra para análise granulométrica

Dimensão máxima nominal do agregado (mm)	Massa mínima da amostra de ensaio (kg)
< 4,75	0,3*
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10

*Após secagem

Fonte: Elaborado pela autora adaptado da ABNT NBR NM 248, 2003.

A amostra foi colocada no conjunto de peneiras da série normal 19,00 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2,40 mm, 1,20 mm, 0,60 mm, 0,30 mm e 0,15 mm (ABNT, 2003) e, em seguida, foi promovida a agitação do conjunto com o auxílio do agitador mecânico pelo total de 20 minutos. Após o processo de peneiramento, o material retido em cada peneira foi pesado e massas retidas. A Figura 11 apresenta a amostra separada por material retido em cada peneira, após a pesagem.

Figura 11 – Amostra de agregado miúdo após pesagem



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

A determinação do diâmetro máximo característico do agregado e o cálculo do módulo de finura foram realizados com base na NBR NM 248 (ABNT, 2003). Esta norma define a dimensão máxima característica como a grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente superior a 5% em massa. Além disso, esta norma traz que o módulo de finura deve ser obtido através da soma das porcentagens retidas acumuladas em massa da amostra do agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100.

O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais da Construção do IFAL – *Campus Palmeira dos Índios*. Desse modo, a partir dos resultados foi possível construir a tabela com o total de massa retida e passante, bem como os respectivos percentuais acumulados. Com base na tabela, determinou-se o diâmetro máximo, o módulo de finura e a curva granulométrica para o agregado miúdo.

3.2.4.2 Caracterização das Embalagens Cartonadas Trituradas

Em relação às ECT, os métodos de caracterização foram determinados com base nos procedimentos utilizados pelos autores dos trabalhos similares para caracterizar o subproduto estudado e, também, a viabilidade de execução foi levada em consideração.

Desse modo, as ECT foram caracterizadas através da Análise Química por Fluorescência de Raios X (FRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) (OLIVEIRA *et al.*, 2019; MOURA, 2018; PASSOS; CARASEK, 2018; PAVEZ *et al.*, 2018; BREITENBACH *et al.*, 2017; USAHANUNTH; TUPRAKAY, 2017).

Nos subtópicos seguintes, estão descritos os procedimentos utilizados nas análises de caracterização.

3.2.4.2.1 Análise Química por Fluorescência de Raios X

A espectroscopia de Fluorescência de Raios X (FRX) caracteriza-se por ser a técnica analítica onde raios x são usados para excitar os átomos dos elementos presente nas amostras em análise. Assim, os elementos atingidos pelos raios x primários liberam raios x secundários, efeito da fluorescência, que podem ser detectados e analisados. A identificação e a quantificação dos elementos presentes em determinada amostra são relacionadas com a posição e a intensidade do pico em função da energia aplicada (NOGUEIRA; TEIXEIRA; VASQUES, 2017).

A Fluorescência de Raios X é o método mais utilizado para determinar a composição química dos materiais por ser considerada como a técnica instrumental de grande reprodutibilidade e com alta precisão (OLIVEIRA, 2011). Nesta pesquisa, a análise de FRX foi utilizada para o melhor entendimento dos elementos constituintes das ECT e como eles podem afetar a mistura da argamassa. A técnica permitiu verificar a possível presença de componentes nocivos ao meio ambiente.

A análise de FRX foi realizada no Laboratório do Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis – CTGAS-ER, localizado em Natal – RN, utilizando o espectrômetro por Fluorescência de Raios X – EDX-720 da marca Shimadzu, com limite de detecção do Na (11) ao U (92) (>0,001%), aplicando método semiquantitativo para determinação dos elementos.

3.2.4.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) possibilita investigar a superfície de amostras com magnificações da ordem de centenas de milhares de vezes e produzir imagens de alta resolução, permitindo analisar visualmente a distribuição espacial das partículas. Nesta pesquisa, realizou-se o ensaio de MEV na amostra de ECT com o intuito de entender a morfologia e as dimensões do material, similarmente aos estudos de Passos e Carasek (2018); Breitenbach *et al.* (2017); e Usahanunth e Tuprakay (2017).

De modo geral, foi preparada a amostra de ECT por meio de peneiramento. A amostra foi analisada no microscópio eletrônico de varredura de modelo INCAx-act, resolução de 5,9 keV – *Oxford Instruments*, no Laboratório de Química do IFAL – *Campus Maceió*, com magnificações de 150x, 458x e 3770x.

3.3 DOSAGEM PARA FABRICAÇÃO DAS ARGAMASSAS

Basicamente, a etapa de dosagem consistiu na adoção da Composição de Referência (CR) com base na revisão da literatura e, a partir desta, foram elaboradas três Composições Experimentais (CE) com diferentes percentuais de substituição do agregado miúdo por Embalagens Cartonadas Trituradas. A análise de caracterização das matérias-primas foi importante para a elaboração das CE, contribuindo, principalmente, no entendimento das características das ECT.

Em virtude dos diferentes traços convencionais para argamassa de assentamento, tomou-se como CR o traço 1:6 nas proporções de volume de cimento e agregado miúdo respectivamente, por ser econômica e ambientalmente interessante, pois utiliza menos cimento na mistura. A adoção deste traço como CR foi embasada em estudos similares que obtiveram

resultados satisfatórios (BOITA; BELLEI, 2019; PASSOS; CARASEK, 2018; PIMENTEL *et al.*, 2018) e, também, por ser comumente utilizada (CAVALCANTE *et al.*, 2018). A Tabela 5 apresenta as composições utilizadas nos ensaios tecnológicos.

Tabela 5 – Composições experimentais e de referência (volume)

Composição	Cimento	Agregado Miúdo	Embalagens Cartonadas Trituradas	Relação a/c
CR	1	6	0	0,75
CE5	1	5,70	0,30	0,75
CE10	1	5,40	0,60	0,75
CE15	1	5,10	0,90	0,75

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Os trabalhos de Schiller, Paliga e Torres (2021); Boita e Bellei (2019); Kurz, Paliga e Torres (2018) revelam que os melhores desempenhos nas propriedades de argamassas cimentícias com substituição de material constituinte por subprodutos geralmente acontecem nos traços com menores percentuais de incorporação. Por sua vez, Martínez-Barrera *et al.* (2020), obtiveram resultados mais satisfatórios no percentual de 10% de incorporação embalagens cartonadas laminadas no concreto em relação aos 5% e 15% também analisados.

Desse modo, tomando como base estas pesquisas, foram elaboradas as três Composições Experimentais, cujos traços apresentam 5%, 10% e 15% de substituição do volume do agregado miúdo por ECT, sendo denominadas por CE5, CE10 e CE15, fazendo referência aos traços correspondentes.

Com o objetivo de verificar se a incorporação de ECT provaria mudança na consistência da argamassa, foi adotado valor único da relação água/cimento (a/c) para todas as composições. Assim, o valor de a/c utilizado na fabricação das argamassas foi 0,75, em volume, com base nos valores médios apresentados por Boita e Bellei (2019), uma vez que estes autores adotaram traço de referência similar ao desta pesquisa.

3.4 ENSAIOS TECNOLÓGICOS

A revisão de literatura permitiu verificar que os indicadores de viabilidade mais investigados pelos trabalhos com argamassas cimentícias com incorporação de subprodutos são resistência mecânica, índices físicos e trabalhabilidade. Aliado ao fato mencionado, a NBR 13281 (ABNT, 2005a) indica quais os requisitos para as argamassas de assentamento convencionais, além de revelar as normas com os procedimentos para determinação destes. Dentre os ensaios recomendados por esta norma está o de resistência à compressão.

Diante disto, buscando delimitar a execução da pesquisa aos indicadores de viabilidade apontados na literatura e atendendo aos requisitos estabelecidos nas normas vigentes, foram realizados os seguintes ensaios tecnológicos: índice de consistência; resistência à compressão; absorção de água por imersão; e microscopia eletrônica de varredura da superfície de fratura.

3.4.1 Índice de Consistência

Antes da moldagem dos corpos de prova de todas as composições, foi realizado o ensaio de Índice de Consistência, característica diretamente ligada à trabalhabilidade da argamassa. O procedimento para determinação do Índice de Consistência seguiu as recomendações da NBR 13276 – argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação do índice de consistência – (ABNT, 2016a).

Logo após a preparação da argamassa, colocou-se o molde de modo centralizado sobre a mesa para Índice de Consistência, segurando-o firmemente e enchendo-o em três camadas sucessivas, com alturas aproximadamente iguais, e aplicando em cada uma delas, respectivamente, quinze, dez e cinco golpes com o soquete. O rasamento da argamassa foi realizado passando a régua metálica rente à borda do molde troncônico.

Seguindo com o procedimento, retirou-se o molde troncônico verticalmente. Em seguida, utilizou-se manivela da mesa para Índice de Consistência, de modo que a mesa suba e caia 30 vezes em 30 s. Após a última queda da mesa, mediu-se com o paquímetro o espalhamento da argamassa em três diâmetros tomados em pares de pontos distribuídos ao longo do perímetro. Registrou-se as três medidas e o índice de consistência corresponde ao valor médio das medidas.

O procedimento foi repetido para todas as composições. Ao final, foi possível computar o valor médio do Índice de Consistência dos traços ensaiados. O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais da Construção do IFAL – *Campus* Palmeira dos Índios.

3.4.2 Resistência à Compressão

A revisão da literatura mostrou que o ensaio de Resistência à Compressão foi realizado na grande maioria dos estudos que tratam de argamassas com incorporação de subprodutos. Além disso, a NBR 13281 (ABNT, 2005a) possui a resistência à compressão como primeiro requisito a ser analisado.

Para a realização do ensaio de Resistência à Compressão (RC) simples, primeiramente foram moldados os corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 50 mm e altura de 100 mm, seguindo as recomendações da NBR 7215 – cimento Portland – determinação da resistência à

compressão de corpos de prova cilíndricos – (ABNT, 2019). Vale salientar que este processo normatizado para moldagem dos corpos de prova para argamassa foi adotado também nos trabalhos de Schiller, Paliga e Torres (2021); Oliveira *et al.* (2019); Kurz, Paliga e Torres (2018); Matos e Guimarães (2017). Todo o procedimento foi realizado no Laboratório de Materiais da Construção do IFAL – *Campus* Palmeira dos Índios.

A NBR 7215 (ABNT, 2019) prevê o número mínimo de 4 corpos de prova para cada formulação. Além disso, Ferreira (2018) revela que para redução do efeito de variação acidental nos experimentos, o número de parcelas ensaiadas deve ser composto por cerca de 20 ou mais unidades. Desse modo, como este ensaio possui 4 composições, foram moldados 5 corpos de prova para cada, atendendo a ambos os critérios.

A moldagem dos corpos de prova foi realizada imediatamente após o preparo da argamassa com o molde limpo, montado e untado com desmoldante. A colocação da argamassa no molde foi realizada com o auxílio da espátula, em quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, com cada camada recebendo 30 golpes uniformes e homogeneamente distribuídos com o soquete normal.

Logo após a moldagem, os corpos de prova, ainda nos moldes, foram colocados na câmara úmida do Laboratório de Materiais da Construção, onde permaneceram por 24 horas. Depois desse período, os corpos de prova foram desmoldados, identificados e imersos no tanque durante os próximos 27 dias (restante do período de cura). Vale ressaltar que no momento do desmolde, um dos corpos de prova da composição de 15% de ECT rompeu e foi descartado. A Figura 12 traz as amostras antes da realização do ensaio.

Figura 12 – Corpos de prova antes o ensaio de resistência à compressão



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

De acordo com NBR 7215 (ABNT, 2019), não há definição de idade de cura específica para o rompimento, que pode acontecer aos 3, 7, 14, 28 e 91 dias, respeitando as respectivas

tolerâncias. Assim, realizou-se o rompimento de todos os corpos de prova para o mesmo período de cura; nesse caso, 28 dias, similarmente aos trabalhos de Schiller, Paliga e Torres (2021); Oliveira *et al.* (2019); Kurz, Paliga e Torres (2018); Matos e Guimarães (2017).

Seguindo as recomendações da NBR 13279 – argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à tração na flexão e à compressão – (ABNT, 2005b), os corpos de prova, sem capeamento, foram rompidos na prensa hidráulica da *EMIC* e tiveram seus valores de resistência à compressão computados.

Todos os corpos de prova foram rompidos e os resultados referentes aos valores de resistência à compressão foram coletados para compor a análise. A Figura 13 mostra o momento do rompimento do corpo de prova durante a realização do ensaio.

Figura 13 – Realização do ensaio de resistência à compressão



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

3.4.3 Absorção de Água por Imersão

O ensaio de Absorção de Água (AA) por imersão, seguiu as recomendações da NBR 9778 (ABNT, 2009), de forma análoga aos trabalhos de Schiller, Paliga e Torres (2021); Formigoni *et al.* (2019); Kurz, Paliga e Torres (2018); e Matos e Guimarães (2017). Esta norma prevê que, para realização do ensaio, pelo menos 2 corpos de prova devem ser moldados seguindo as instruções da NBR 7215 (ABNT, 2019).

Para realização do ensaio, foram utilizados os mesmos 5 corpos de prova cilíndricos (50 mm de base e 100 mm de altura) para cada composição, incluindo a de referência, moldados para o ensaio de compressão. Após o período de 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados e encaminhados para o período de cura (28 dias).

Aos 20 dias de cura, os corpos de prova foram colocados para secar durante 72h e, depois disso, foram pesados em balança com precisão de 0,1g e suas massas secas (m_s) foram anotadas. Em seguida, os corpos de prova foram imersos em água, mantidos no recipiente durante 72h e foram pesados novamente para obtenção das massas saturadas (m_{sat}).

A absorção das amostras foi calculada por meio da Equação 1, na qual, AA representa a Absorção de Água por imersão em porcentagem, m_s a massa seca em grama e m_{sat} a massa saturada em grama.

$$AA = \left(\frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

3.4.4 MEV da Superfície de Fratura

Para realização do ensaio, foi selecionado um corpo de prova de cada composição, incluindo-se o de referência. Buscando garantir aleatoriedade, foi o primeiro corpo de prova a realizar o ensaio. Antes do rompimento, os corpos de prova selecionados foram envolvidos com plástico filme com o intuito de auxiliar na preservação da região de fratura antes de seguir para a análise de Microscopia Eletrônica de Varredura.

De modo geral, buscou-se realizar a análise comparativa entre a superfície fraturada do corpo de prova da composição de referência e das experimentais, criando discussões acerca das diferenças encontradas. Outro ponto importante analisado no ensaio foi a interação das Embalagens Cartonadas Trituradas com a argamassa. Vale ressaltar que esta análise surge como diferencial da pesquisa, pois os trabalhos com argamassa que compõem o referencial não realizaram o ensaio para tal finalidade.

De maneira similar à caracterização realizada nas ECT, a superfície de fratura dessa amostra foi analisada no microscópio eletrônico de varredura de modelo INCAx-act, resolução de 5,9 keV – *Oxford Instruments*, no Laboratório de Química do IFAL – *Campus Maceió*, com ampliações na escala de 2 mm, 500 μm e 200 μm .

3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste trabalho, a análise dos resultados foi dividida em duas vertentes: caracterização dos materiais constituintes e ensaios tecnológicos. A partir dos dados coletados na fase de caracterização, foram construídas tabelas, gráficos e figuras, com o intuito de melhorar o entendimento acerca das características dos materiais que compoem a argamassa, em especial, das ECT.

Os resultados dos ensaios tecnológicos foram obtidos por meio de experimentos, necessitando de tratamento estatístico, tanto no que diz respeito à redução dos erros acidentais, quanto para assegurar precisamente as informações apresentados pelos dados coletados. A princípio, foi utilizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, ao nível de 5% de significância, com o auxílio do software *Rbio*, nos dados amostrais, realizando a análise de estatística descritiva e apresentando os valores médios com o erro padrão.

A aplicação do teste de Shapiro-Wilk visa a obtenção do p-valor para cada tratamento com n repetições. No caso desta pesquisa, as quatro composições diferentes são os tratamentos. As medições executadas, ou a quantidade de corpos de prova ensaiada, são as repetições, representadas pela letra n . O p-valor é o parâmetro de referência na análise. Desse modo, para a significância de 5%, se o p-valor calculado no teste de Shapiro-Wilk for maior que 0,05, a amostra apresenta distribuição normal e, como consequência, a média juntamente com o erro padrão representam muito bem a amostra (FERREIRA, 2018).

Buscando investigar se a influência do percentual de adição de ECT em relação as propriedades investigadas da argamassa (IC, RC e AA), realizou-se a análise de correlação, determinando os valores dos coeficientes de correlação (R) e de determinação (R^2) com o auxílio do software *Rbio*, e, em seguida, construindo as retas de regressão linear por meio do uso de planilhas eletrônicas. Análise similar a esta, foi realizada no trabalho de Estolano *et al.* (2017).

É importante lembrar que o coeficiente de determinação (R^2) estabelece o quanto à equação de regressão linear pode explicar o fenômeno ocorrido, enquanto o R mede o grau de correlação entre duas variáveis a partir de escala métrica intervalar que varia de -1 a 1 (ESTOLANO *et al.*, 2017). Quando o coeficiente de correlação apresenta valor em módulo de $R > 0,85$, fica caracterizado que há forte correlação entre as variáveis. Ainda, o sinal de R representa se a reta da regressão será crescente, sinal positivo, ou decrescente, sinal negativo.

Por fim, foram construídas tabelas para a apresentação dos resultados obtidos na análise de estatística experimental e a discussão foi elaborada com base nos dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

4.1.1 Análise Granulométrica do agregado miúdo

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos na análise granulométrica do agregado miúdo. Quando comparados com limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo disposto na NBR 7211 (ABNT, 2005c), o material enquadra-se na zona utilizável.

Tabela 6 – Resultados do ensaio de granulometria do agregado miúdo

Abertura (mm)	Massa retida (%)	Massa retida acumulada (%)	Passante (%)
19,00	0,00	0,00	100,00
9,50	0,00	0,00	100,00
4,75	0,00	0,00	100,00
2,36	1,87	1,87	98,13
1,18	9,42	11,29	88,71
0,60	27,53	38,82	61,18
0,30	32,02	70,84	29,16
0,15	21,91	92,75	7,25
Fundo	7,25	100,00	0,00

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

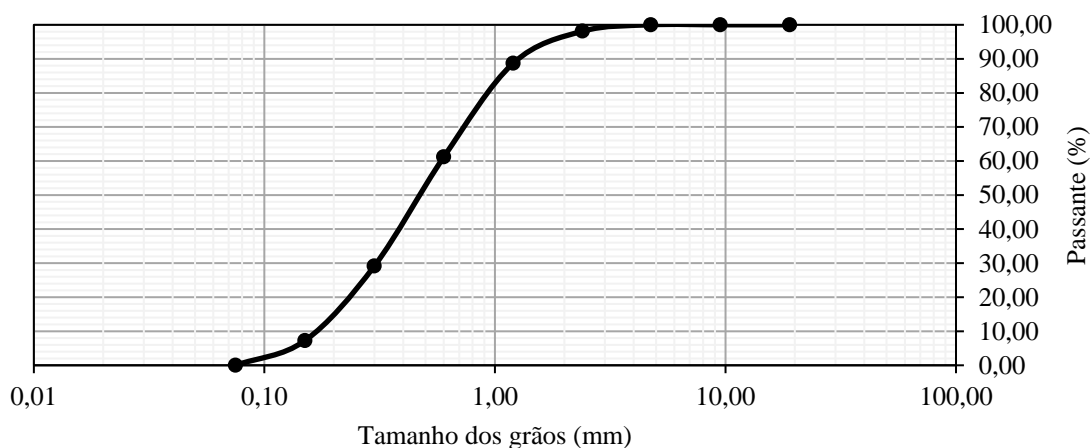
Com base na Tabela 6 e na NBR NM 248 (ABNT, 2003), foi possível determinar a dimensão máxima característica da agregado miúdo, nesse caso, 1,18 mm, uma vez que o material retido acumulado na peneira de 1,18 mm foi superior a 5%. A dimensão máxima de 1,18 mm para o agregado miúdo também foi encontrada na areia utilizada nos estudos de Passos e Carasek (2018).

A análise da Tabela 6 permitiu a realização do cálculo do Módulo de Finura da amostra, $MF = 2,16$, reafirmando que o material pode ser utilizado como agregado miúdo pelo que consta na NBR NM 248 (ABNT, 2003). Esta norma apresenta que zona de limite utilizável inferior apresenta materiais com Módulo de Finura variando de 1,55 a 2,20. Agregado miúdo nessa mesma faixa de utilização foi aplicado para fabricação de argamassa nos estudos de Formigoni *et al.* (2019); e Passos e Carasek (2018).

Destaca-se que apesar de estar na zona utilizável, o valor encontrado para Módulo de Finura está muito próximo da zona considerada ótima pela norma supracitada (indo de 2,20 até 2,90).

A partir dos dados da Tabela 6, construiu-se a curva granulométrica apresentada na Figura 14 a seguir.

Figura 14 – Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A curva granulométrica, Figura 14, auxilia na visualização da distribuição dos grãos da amostra do agregado miúdo, o qual apresenta diferentes tamanhos dos grãos e, por isso, pode ser considerado bem graduado. De acordo com a NBR 6205 – rochas e solo – (ABNT, 1995), o material utilizado como agregado miúdo encontra-se na mesma faixa de tamanho da areia média, uma vez que se observa que cerca de 60% dos grãos apresentaram diâmetros variando de 0,20 mm a 0,60 mm. Areia média como agregado miúdo para argamassa também pode ser encontrado no trabalhos de Formigoni *et al.* (2019); Oliveria *et al.* (2019); Passos e Carasek (2018); e Pimentel *et al.* (2018).

4.1.2 Análise por FRX das ECT

A caracterização da composição das ECT por meio da análise química por Fluorescência de Raios X encontra-se na Tabela 7.

Tabela 7 – Fluorescência de Raios X da amostra de ECT

Óxidos	(%)
CaO	49,79
SiO ₂	22,76
Al ₂ O ₃	21,05
SO ₃	2,21
Fe ₂ O ₃	2,12
K ₂ O	0,81
TiO ₂	0,76
ZnO	0,28
MnO	0,07
SrO	0,07
CuO	0,06
ZrO ₂	0,02

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A partir dos resultados, constatou-se que a amostra era essencialmente composta por óxido de cálcio, em maior proporção, seguido de sílica e alumina. Por sua vez, esses compostos também são predominantes nos demais materiais que constituem a argamassa, cimento e areia.

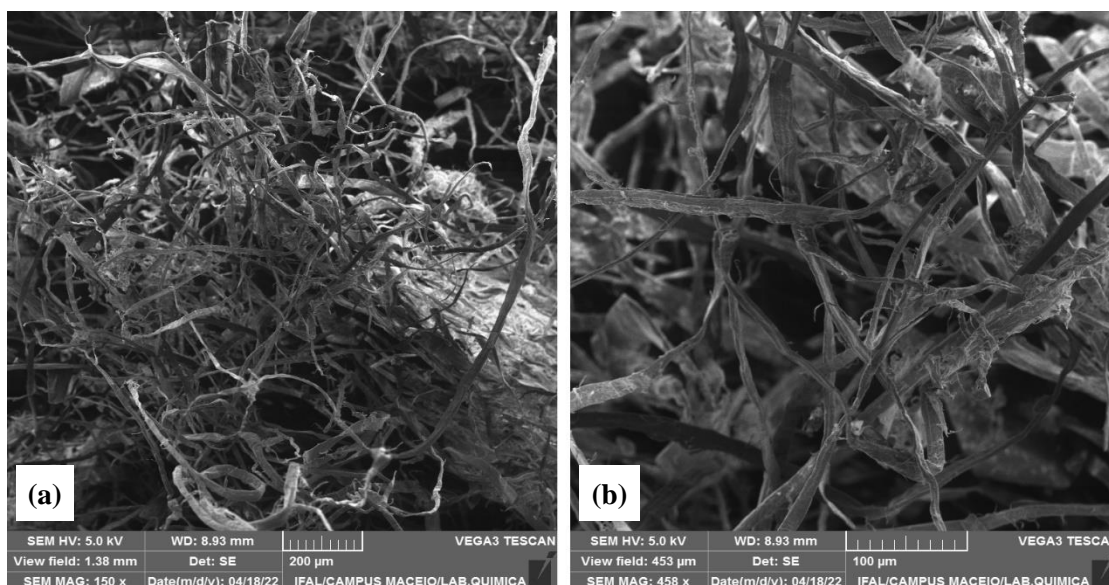
Em estudos similares, os compostos CaO , SiO_2 e Al_2O_3 também aparecem como predominantes nos subprodutos incorporados em argamassa, como por exemplo, a amostra de baquelite que apresentou mais de 90% de CaO nos estudos de Usahanunth e Tuprakay (2017); e a amostra de escória de cobre com 65% de óxido de cálcio, 19% de sílica e 5% de alumina apresentada no trabalho de Pavez *et al.* (2018).

A alta concentração de óxido de cálcio e sílica pode ser considerada como favorável para aplicação da ECT como matéria-prima para confecção de argamassa, uma vez que pode contribuir com o percentual de cálcio proveniente do cimento (MOURA, 2018)

4.1.3 Microscopia Eletrônica de Varredura das ECT

A Figura 15 mostra as imagens obtidas pela Microscopia Eletrônica de Varredura nas amostras de ECT para magnificações de 150x (Figura 15a) e 458x (Figura 15b). Foi possível identificar o aspecto fibroso do material, com distribuição irregular de dimensões e orientação randômica. Além disso, constatou-se que as fibras de ECT encontram-se entrelaçadas, tomando a forma de malha. Esta formação pode ser responsável por impedir a matriz cimentícia da argamassa de ocupar os espaços dentro das malhas de fibras, contribuindo para o aumento de vazios no interior do material e afetando diretamente suas propriedades (RODRIGUES; SOUZA; FUJIYAMA, 2015).

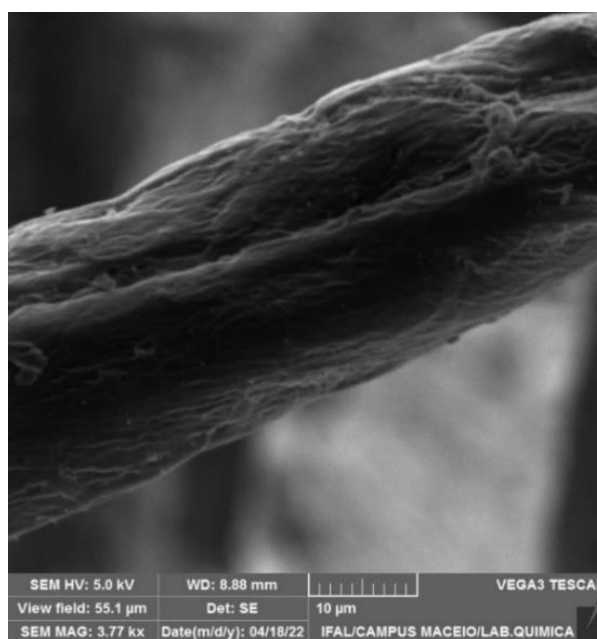
Figura 15 – MEV das ECT para as magnificações de (a) 150x e (b) 458x



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A Figura 16 apresenta a imagem obtida pelo MEV da superfície da fibra de ECT. Assim, levando em consideração as medidas apresentadas nas Figura 15b e Figura 16, a análise de MEV permitiu determinar a ordem de grandeza do diâmetro médio das fibras de ECT da amostra, estimado para a escala de aproximadamente $20\ \mu\text{m}$. Em seus estudos, Passos e Carasek (2018) realizaram a análise de MEV em fibras de lã de rocha e de vidro, determinando diâmetro médio de $7\ \mu\text{m}$.

Figura 16 – MEV da superfície da fibra de ECT para a magnificação de 3770x



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A realização do ensaio de MEV não permitiu que fosse avaliado o comprimento médio das ECT devido a grande variabilidade, porém fica claro que a amostra se apresenta no formato de fibra, uma vez que é possível assegurar pelas imagens que o diâmetro médio é de razão muito menor que o comprimento. Assim, pelo aspecto fibroso, as ECT podem ser consideradas como reforço para argamassa. Passos e Carasek (2018) relatam que o reforço fibroso caracteriza-se por possuir comprimento muito maior em relação a sua dimensão na seção transversal.

4.2 ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Com o intuito de avaliar os resultados obtidos nesta pesquisa em comparação aos apresentados na literatura base, foi construída a Tabela 8 que resume as informações dos trabalhos.

Tabela 8 – Resultados encontrados por autores em trabalhos similares

Autores	Subprodutos	Índice de Consistência IC (mm)*	Resistência à Compressão RC (MPa)*	Absorção de Água por Imersão AA (%) *
Matos e Guimarães (2017)	Cinza da Casca de Coco	222 – 273	25,4 – 32,7	**Aumento de 27% em relação a de referência
Pimentel <i>et al.</i> (2018)	Resíduo da Construção Civil	255 – 265	3,71 – 7,12	**
Passos e Carasek (2018)	Resíduo de Isolante Térmico	140 – 255	0,70 – 4,13	**
Pavez <i>et al.</i> (2018)	Escória de Cobre	205 - 216	11 – 32	**
Kurz, Paliga e Torres (2018)	Borracha	245 – 265	0,34 – 2,19	14,27 – 26,10
Boita e Bellei (2019)	Poliestireno Expandido (EPS)	210 – 310	3,42 – 4,94	**
Oliveira <i>et al.</i> (2019)	Resíduo de Cerâmica Vermelha	256 – 263	29,70 – 37,87	**
Schiller, Paliga e Torres (2021)	Resíduo de Construção Civil	250 – 265	5,09 – 6,25	14,79 – 15,69

*O intervalo representa o menor e o maior apresentado no trabalho;
 **Não realizou o ensaio/ou apresentou os dados de outra forma.

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

4.2.1 Índice de Consistência

Primeiramente, buscou-se assegurar a normalidade das amostras por meio da realização do teste de Shapiro-Wilk em cada composição ao nível de significância de 5%, levando em consideração as três medições ($n = 3$). Todas as composições apresentaram p -valor $> 0,05$, assim os dados apresentam distribuição normal. Os valores médios obtidos no ensaio de IC das argamassas com as composições pesquisadas estão expressos na Tabela 9.

Tabela 9 – Valores médios dos índices de consistência

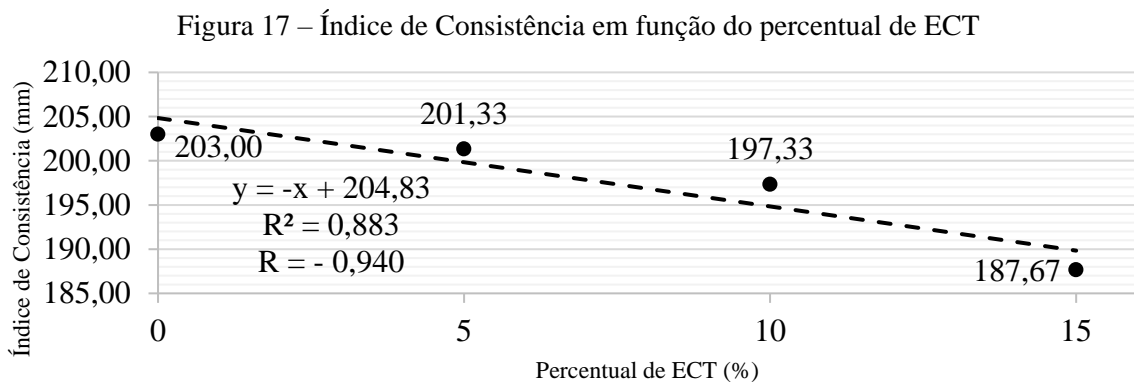
Composição	Índice de Consistência (mm)
CR	203,0 ± 1,5
CE5	201,3 ± 1,2
CE10	197,3 ± 0,9
CE15	187,7 ± 1,7

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Os resultados da Tabela 9, revelam que substituição de areia por ECT provocou diminuição nos valores médios do Índice de Consistência, característica diretamente relacionada com a trabalhabilidade da argamassa. Apesar da redução nos valores médios, em termos percentuais, a composição CE15 apresentou valor médio de índice de consistência 7,6% menor que o valor da composição de referência. Por outro lado, os valores médios de Índice de Consistência encontram-se dentro do intervalo apresentado no trabalho de Passos e Carasek (2018); e próximo aos valores obtidos em Boita e Bellei (2019); Pavez *et al.* (2018); e Matos e Guimarães (2017).

Vale salientar que foi adotado o valor padrão de 0,75 como fator água/cimento para todas as misturas, buscando entender se a substituição de ECT poderia estar relacionada com a consistência das argamassas. Assim, para que as composições experimentais tivessem índice de consistência similar ao da composição de referência seria necessário alterar o fator água/cimento.

Foi realizada a análise de correlação entre o percentual de substituição de ECT e o Índice de Consistência, seguindo com a construção do gráfico da reta de regressão linear, juntamente com a dispersão dos valores médios, representado na Figura 17.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Obteve-se como resultado para o coeficiente de determinação, $R^2 = 0,883$, e para o coeficiente de correlação, $R = -0,940$, indicando que a correlação entre as variáveis foi negativa e muito forte. Em termos gerais, a análise estatística reafirmou a tendência observada nos valores médios, quanto maior o percentual de substituição de ECT, menor foi a consistência da argamassa para o mesmo fator água/cimento. Esta tendência também foi observada nos estudos de Passos e Carasek (2018); e Matos e Guimarães (2017). Além disso, Oliveira *et al.* (2019); e Pimentel *et al.* (2018) apresentaram situação similar que se justifica na maior adição de água nas composições com subprodutos para melhorar a consistência.

O aspecto fibroso das ECT contribuiu na variação da trabalhabilidade, em virtude de auxiliarem no aumento da coesão da argamassa por meio do mecanismo de ancoragem e, consequentemente, reduzem o índice de consistência, necessitando de maior consumo de água na mistura (PASSOS; CARASEK, 2018). Contudo, a produção de argamassas com substituição de ECT nos percentuais propostos não chegou a ser prejudicada com os dados apresentados, uma vez que apesar das pequenas reduções, o índice de consistência se manteve na margem utilizada em outras pesquisas.

4.2.2 Resistência à Compressão

Apesar do ensaio de Resistência à Compressão ser normatizado, demandando os valores médios das amostras como resultado, verificou-se a normalidade dos resultados obtidos por meio do teste de Shapiro-Wilk ao nível de significância de 5%. Analogamente ao ensaio de IC, todas as composições apresentaram p-valor > 0,05, assegurando que os dados apresentam distribuição normal. A Tabela 10 apresenta os valores médios obtidos no ensaio.

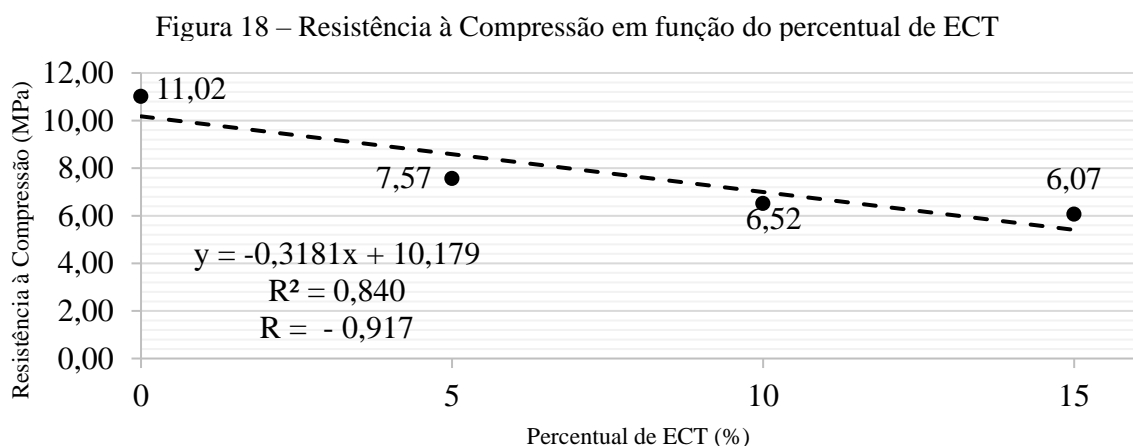
Tabela 10 – Valores médios da Resistência à Compressão

Composição	Resistência à Compressão (MPa)
CR	11,02 ± 0,54
CE5	7,57 ± 0,23
CE10	6,52 ± 0,22
CE15	6,07 ± 0,17

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Analisando a Tabela 10, observou-se que a substituição de areia por ECT afetou a Resistência à Compressão das amostras, causando redução nos valores médios obtidos. Em termos relativos, se comparadas com a composição de referência, CE5, CE10 e CE15 apresentaram redução de 31,31%, 40,82% e 44,95%, respectivamente. Por outro lado, os valores médios obtidos neste ensaio encontram-se ainda em condições semelhantes quando comparados com os encontrados por Schiller, Paliga e Torres (2021) de 5,09 MPa a 6,25 MPa; Boita e Bellei (2019), de 3,42 MPa a 4,94 MPa; e Kurz, Paliga e Torres (2018), de 0,34 MPa a 2,19 MPa.

Foi realizada a análise de correlação entre os resultados da RC e o percentual de substituição de ECT. A partir disso, foi construído o gráfico da Figura 18 que apresenta a reta de regressão linear com a dispersão dos valores médios de RC para cada composição.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Os resultados para o coeficiente de determinação e de correlação foram, respectivamente, $R^2 = 0,840$ e $R = -0,917$. Os valores asseguram que a correlação entre as variáveis observadas é muito forte e o sinal negativo indica a tendência de redução da Resistência à Compressão, em virtude do aumento do percentual de substituição de ECT. É importante destacar que essa tendência de perda de RC, mesmo que sem a reta de regressão, pode ser encontrada nos trabalhos de Schiller, Paliga e Torres (2021); Boita e Bellei (2019); Kurz, Paliga e Torres (2018); Passos e Carasek (2018); Pimentel *et al.* (2018); e Matos e Guimarães (2017).

Apesar da diminuição nos valores médios, todas as composições estão nas classes mais altas de RC de acordo com a classificação (Tabela 1) da NBR 13281 (ABNT, 2005a). Assim, a Composição de Referência se enquadrou na classe P6, com resistência média à compressão maior que 8,0 MPa, enquanto as Composições Experimentais ficaram na classe P5, na qual a resistência média varia entre 5,5 MPa e 9,0 MPa.

As reduções podem ter acontecido em virtude da substituição do agregado miúdo convencional, material mais resistente que as ECT, contribuindo para a propagação de fissuras. Outro ponto, que pode ter afetado negativamente a RC das misturas com substituição, está na própria configuração de arranjo das fibras de ECT, completamente randômica e entrelaçada, impedindo a entrada de material e formando vazios entre a matriz de cimento e os agregados. Assim, a aderência entre a matriz de cimento e os agregados acontece de forma deficiente nas composições com substituição de ECT em comparação com a CR (KURZ; PALIGA; TORRES, 2018; PASSOS; CARASEK, 2018).

Diante dos resultados, quanto ao critério de resistência à compressão, a fabricação de argamassas com substituição de ECT nos percentuais propostos continua sendo viável, uma vez que apesar da diminuição, os valores médios de resistência à compressão permaneceram nas classes mais altas de acordo com o padrão normativo vigente.

4.2.3 Absorção de Água por Imersão

Na Tabela 11, a seguir, estão apresentados os resultados obtidos no ensaio de Absorção de Água por Imersão. Em relação ao teste de Shapiro-Wilk, todas as composições obtiveram p-valor $> 0,05$, assegurando a normalidade na distribuição dos dados.

Tabela 11 – Valores médios da Absorção de Água por Imersão

Composição	Absorção de Água por Imersão (%)
CR	4,29 ± 0,15
CE5	4,84 ± 0,16
CE10	6,07 ± 0,22
CE15	5,74 ± 0,11

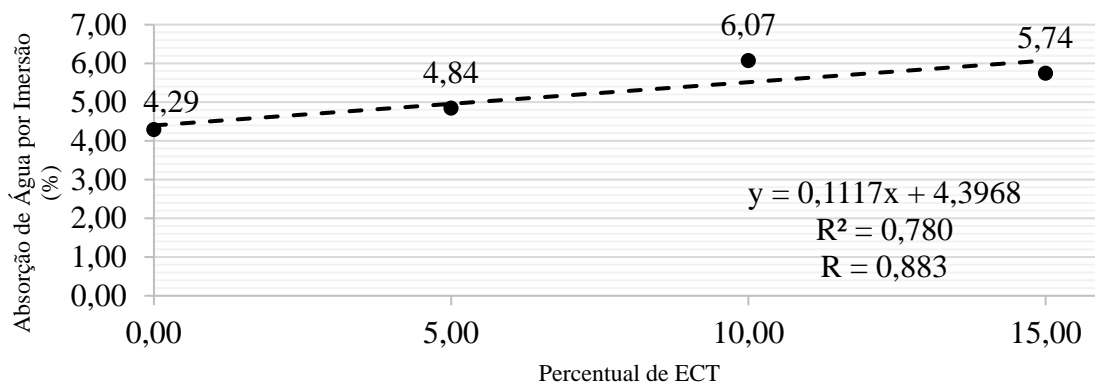
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Verificando a Tabela 11, observou-se que a substituição de areia por ECT pode ter contribuído para o aumento da AA das amostras, causando crescimento nos valores médios obtidos. Ainda que em termos gerais os aumentos sejam pequenos (menos que 2% de diferença nos valores de absorção), CE5, CE10 e CE15 apresentaram aumentos relativos de 12,87%, 41,45% e 33,90%, respectivamente, quando comparados com a CR. De modo similar, os resultados obtidos por Matos e Guimarães (2017) para o ensaio de AA também apresentaram aumento de absorção nas argamassas com maiores teores de substituição, chegando a 27,3% para a composição com 15% de substituição de areia por cinza da casca de coco verde.

Schiller, Paliga e Torres (2021) mostraram, por meio de análise estatística, que não existia padrão na relação entre o índice de absorção por imersão e o percentual de substituição de resíduos da construção civil. Além disso, Kurz, Paliga e Torres (2018) concluíram que todas as argamassas com substituição de areia por borracha obtiveram maior índice de absorção de água por imersão, no entanto, não houve regularidade no acréscimo.

Foi analisada a correlação entre os resultados da AA e o percentual de substituição de ECT. Foi construído o gráfico da Figura 19 que traz a reta de regressão linear com a dispersão dos valores médios de absorção de água por imersão para cada composição.

Figura 19 – Absorção de água por imersão em função do percentual de ECT



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

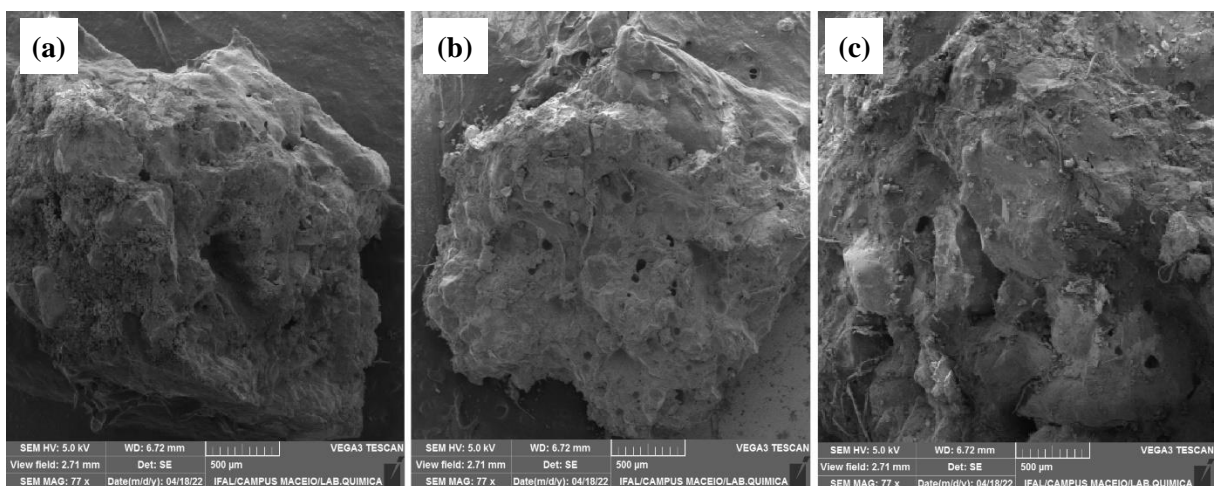
Os resultados para o coeficiente de determinação e de correlação foram, respectivamente, $R^2 = 0,780$ e $R = 0,883$. De fato, os valores asseguram que a correlação entre as variáveis observadas é muito forte e o sinal positivo de R garante a tendência de crescimento do índice de Absorção de Água por Imersão, em virtude do aumento do percentual de substituição de ECT. Como mencionado anteriormente, esta tendência linear de aumento na absorção de água também foi observada no trabalho de Matos e Guimarães (2017).

É importante destacar que, apesar do relativo crescimento na absorção de água, todas as composições apresentaram valores médios menores que os encontrados na literatura base desta pesquisa, como, por exemplo, Kurz, Paliga e Torres (2018) que apresentaram valores médios variando de 14% a 26%; e Schiller, Paliga e Torres (2021) cujos valores médios ficaram entre 14,79% e 15,69%. Vale ressaltar que não existe padrão normativo para o índice de absorção de água por imersão, somente para a absorção por capilaridade.

4.2.4 MEV da Superfície de Fratura

A Figura 20 mostra as imagens obtidas pela Microscopia Eletrônica de Varredura com as magnificações na escala de $500 \mu\text{m}$ nas superfícies fraturadas do corpo de prova selecionado para a CR (a), CE5 (b) e CE10 (c), ressaltando que a amostra coletada da CE15 acabou não favorecendo a avaliação dos pontos observados nesta análise. Desse modo, foi possível identificar o aumento perceptivo de poros nas composições com substituição de areia por ECT, notado, principalmente, na composição CE5 (Figura 20b).

Figura 20 – MEV da superfície fraturada para as composições (a) CR, (b) CE5 e (c) CE10

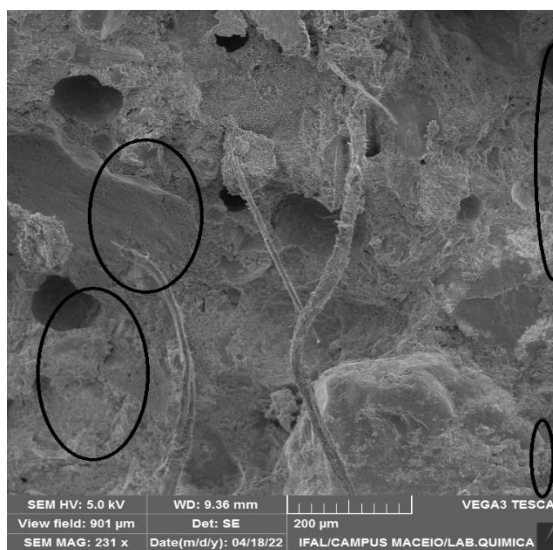


Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Kurz, Paliga e Torres, (2018); e Passos e Carasek (2018) relatam que o surgimento de vazios no interior da argamassa pode reduzir a aderência entre a matriz de cimento e os agregados, resultando na diminuição de resistência mecânica da argamassa. Além disso, o número de vazios está diretamente relacionado com a absorção de água. Desse modo, é razoável associar a redução da resistência à compressão e a maior absorção de água nas composições com substituição de ECT ao aumento na presença de vazios, constatado pela MEV das superfícies observadas.

Com o intuito de melhor verificar a região de vazios, a Figura 21, a seguir, traz a imagem obtida pela Microscopia Eletrônica de Varredura da superfície fraturada da amostra da composição CE5 com ampliação na magnificação (231x). Analisando a Figura 21, foi possível constatar a presença de microfissuras nas regiões próximas aos vazios, reforçando que o aumento de vazios pode ter contribuído para a maior propagação de fissuras, e consequentemente ter reduzido afetado a resistência mecânica das amostras, reafirmando as considerações realizadas por Kurz, Paliga e Torres, (2018); Passos e Carasek (2018).

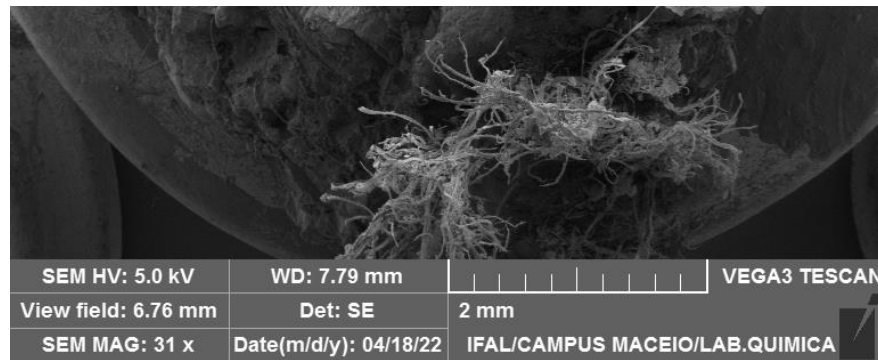
Figura 21 – MEV da superfície fraturada da composição CE5 com a magnificação de 231x



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A Figura 22, a seguir, apresenta a imagem da MEV da superfície fraturada da composição CE10. Observou-se que, em parte da superfície, as fibras de ECT encontraram-se aglomeradas na forma de malha com aproximadamente 3 mm. De fato, esta malha pode ter impedido a matriz cimentícia da argamassa tanto de ocupar os espaços, quanto de envolver completamente os agregados, contribuindo, assim, para o aumento de vazios.

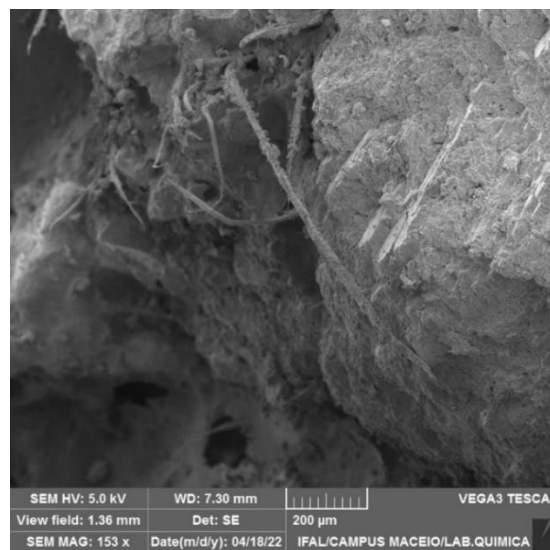
Figura 22 – MEV da superfície fraturada da amostra da composição CE10



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A Figura 23 apresenta a imagem obtida pela MEV da superfície da amostra da composição com 10% de substituição de ECT com a magnificação de 153x. Foi possível verificar o mecanismo de ancoragem mencionado nos estudos de Passos e Carasek (2018). Assim, por meio deste mecanismo, as fibras de ECT podem ter auxiliado no aumento da coesão da argamassa, reduzindo o índice de consistência e aumentando o consumo de água na mistura.

Figura 23 – MEV da superfície fraturada da composição CE10 com a magnificação de 153x



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Além disso, a Figura 23 mostra que, em certo nível, as fibras de ECT também apresentaram o comportamento esperado, ficando totalmente envolvidas pelas matriz cimentícia. Essa aderência total é fundamental para a transmissão solidária de esforços entre a matriz e as fibras. Vale ressaltar que esse comportamento deve acontecer para que as fibras possam atuar como reforço para argamassa, como mencionado nos estudos de Passos e Carasek (2018).

5 CONCLUSÃO

A RSL realizada neste trabalho apresentou o panorama das embalagens cartonadas, os principais conceitos e características das argamassas e o estado da arte sobre argamassas com incorporação de subprodutos.

A caracterização do agregado miúdo utilizado permitiu classificá-lo como areia média com módulo de finura igual a 2,16 e dimensão máxima característica de 1,18 mm. A análise de Fluorescência de Raios X das embalagens cartonadas trituradas mostrou que mais de 90% da amostra era composta por óxido de cálcio (49,79%), de sílica (22,76%) e alumina (21,05%). Foi constatado por meio da microscopia eletrônica de varredura que as ECT apresentaram aspecto de fibras entrelaçadas com comprimentos diferentes e diâmetro na ordem de grandeza de 20 μm .

No que diz respeito ao Índice de Consistência, as composições com substituição de ECT apresentaram leve tendência de redução em relação à composição de referência. No entanto, os valores obtidos nesta pesquisa se mantiveram dentro da faixa de consistência apresentada na literatura.

As argamassas com substituição de areia por ECT nos percentuais de 5%, 10% e 15% apresentaram Resistência Média à Compressão de 7,57 MPa, 6,52 MPa e 6,07 MPa, respectivamente. Embora tenha existido redução se comparada com a composição de referência, os valores médios de Resistência à Compressão permaneceram nas classes mais altas de acordo com o padrão normativo vigente. Assim, a fabricação de argamassa com substituição de ECT é considerada viável para os percentuais propostos nesta pesquisa.

As argamassas com substituição de ECT absorveram mais água do que a de referência. A composição com 10% de ECT apresentou a maior absorção de água média, com índice igual a 6,07%, representando aumento de 41,45% em relação à argamassa de referência. No entanto, os valores obtidos para absorção de água nesta pesquisa se mantiveram abaixo dos valores apresentados em estudos similares.

A microscopia eletrônica de varredura da superfície de fratura dos corpos de prova permitiu constatar o aumento no número de vazios nas composições com maiores teores de substituição de areia por ECT. Foi possível verificar também microfissuras nas proximidades das regiões dos vazios. Além disso, verificou-se que as fibras de ECT apresentaram boa aderência à matriz cimentícia quando não estavam muito aglomeradas entre si.

Por fim, a realização deste estudo demonstrou-se relevante no contexto do desenvolvimento de materiais compósitos de interesse ambiental voltados ao setor da construção civil, apresentando a viabilidade técnica de produção da argamassa com ECT e contribuindo na busca por tecnologias ambientais que visam mitigar os impactos gerados pela disposição final inadequada das embalagens.

6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, a autora sugere as seguintes propostas:

- Como a resistência à compressão obtida foi relativamente alta, avaliar os demais critérios mecânicos previstos pela norma brasileira NBR 13281 (ABNT, 2005), resistência à tração na flexão e resistência potencial de aderência à tração;
- Realização da análise da absorção de água por capilaridade na argamassa proposta, estudando sua correlação com absorção por imersão;
- Verificação do desempenho da aplicação da argamassa de assentamento com ECT proposta em alvenaria de elevação de blocos cerâmicos;
- Elaboração de estudo do impacto ambiental associado a fabricação da argamassa com substituição de ECT para os percentuais propostos nesta pesquisa;
- Aplicação de outro subproduto, aliado às ECT, buscando melhorar as características das argamassas de assentamento proposta;
- A partir da caracterização apresentada para as ECT, desenvolver outro material compósito que proponha a incorporação deste novo material técnico.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. D. B. de. **Aproveitamento de Cascalho de Perfuração de Poços de Petróleo na Produção de Concreto Permeável**. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Campus Marechal Deodoro, Instituto Federal de Alagoas Marechal Deodoro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021**. Minas Gerais, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6205**: rochas e solo. Rio de Janeiro. 1995.

_____. **NBR 7211**: agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro. 2005c.

_____. **NBR 7215**: cimento Portland - determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2019.

_____. **NBR 9778**: argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro. 2005, versão corrigida 2009.

_____. **NBR 13276**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro. 2016a.

_____. **NBR 13279**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro. 2005b.

_____. **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos. Rio de Janeiro. 2005a.

_____. **NBR 16541**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura para realização de ensaios. Rio de Janeiro. 2016b.

_____. **NBR NM 248**: agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. 2003.

BALAPOUR, M.; RAMEZANIANPOUR, A.; HAJIBANDEH, E. An investigation on mechanical and durability properties of mortars containing nano and micro RHA. **Construction and Building Materials**, p. 470-477, 2017.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5e. Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2005.

BOITA, A.; BELLEI, P. Análise da substituição parcial do agregado miúdo por poliestireno expandido (EPS) na argamassa de assentamento. **Revista Tecnológica**, UCEFF, v. 9, n. 1, 2019.

BORGES, D. G. **Aproveitamento de embalagens cartonadas em compósito de Polietileno de baixa densidade**. Dissertação (Mestrado), USP, São Paulo, 2007.

BRASIL. **Lei nº. 12.305**, de 2 de agosto de 2010, Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília-DF, 2 ago. 2010.

BREITENBACH, S. B. *et al.* Adição de resíduo do polimento de porcelanato em argamassas de restauro à base de cal. **Cerâmica**, v. 63, p. 395-401, 2017.

CARASEK, H. Argamassas. *In*: Isaia, G. C. (org.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2017. Cap. 29.

CAVALCANTE, J. P. *et al.* Estudo de viabilidade da aplicação de resíduos de gesso em argamassa de assentamento para alvenaria de bloco cerâmico. **Anais... CONTECC**, 2018.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE. **Taxas de reciclagem**. Disponível em: <https://cempre.org.br/taxas-de-reciclagem/>. Acesso em: 3 abr. 2022.

DEUS, R. M.; BATTISTELLE, R. A. G.; SILVA, G. H. R. Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20 n. 4, p. 685-698, 2015.

EMBRAPA. **Objetivos de desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-ods/o-que-sao-os-ods>. Acesso em: 10 mar. 2022.

ESTOLANO, V.; FUCALE, S.; VIEIRA FILHO, J.; GABRIEL, D.; ALENCAR, Y. Avaliação dos módulos de elasticidade estático e dinâmico de concretos produzidos com agregados reciclados oriundos de resíduos de pré-fabricados de concreto. **Revista Matéria**, v. 23, n. 1, 2018.

FERREIRA, P. V. **Estatística experimental aplicada à agronomia**. Viçosa-MG: Editora UFV, 2018. 588p.

FERREIRA, S. et al. Subprodutos agroindustriais. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Biotecnologia**, 2, pp. 9-11, 2015.

FORMIGONI, M. W. *et al.* Substituição do cimento Portland por resíduo de placa cerâmica em argamassa. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 16, n. 1, p. 62-67, 2019.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiol. Serv. Saúde**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 183-184, mar. 2014.

JONES, K. M.; OLIVEIRA, K. A. S.; LIMA, T. D. Análise Comparativa entre Argamassa de Assentamento Preparada em Obra e Argamassa Industrializada. **Revista Construindo**, vol 7, n 2, dez. 2015.

KURZ, M. N.; PALIGA, C.; TORRES, A. Estudo do teor de substituição de agregado miúdo por resíduo de borracha em argamassa de cimento e cal. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil - REEC**, v. 14, n. 2, 2018.

MARTÍNEZ-BARRERA, G. *et al.* Lamellae of waste beverage packaging (Tetra Pak) and gamma radiation as tools for improvement of concrete. **Case Studies in Construction Materials**, 2020.

MATOS, S. R. C.; GUIMARÃES, C. C. Utilização da cinza da casca do coco verde como substituição parcial do cimento Portland em argamassas. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil - REEC**, v. 13, n. 1, 2017.

MENEZES, R. C.; MARQUES, S. K. J.; SOUZA, R. F. M. de. Development of masonry mortar with discarded sururu shells from the Mundaú-Manguaba lagoon estuary complex, Brazil. **Cleaner Engineering and Technology**, p. 100502, 2022.

MORAIS, C. D.; CRUZ, W. M.; MORAIS, M. V.; LOUZADA, R.; MENDES, P. R. Reforço de argamassas com fibras de papel kraft reaproveitadas de embalagens de cimento. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 27958-27971, 2022.

MOREIRA, G. C. **Efeito da adição de agregados alternativos na fratura em modo-misto de argamassas poliméricas**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal Fluminense, Niterói. Março de 2017.

MOURA, A. A. **Argamassa com substituição parcial do cimento por resíduos industriais**. Dissertação (mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, PR, 2018.

MOURAD, A. L.; GARCIA, E. E. C.; ZUBEN, V. Z.; VILELA, G. B. Influence of recycling rate increase of aseptic carton for longlife milk on GWP reduction. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 52, n. 4, p. 678 689, 2008.

NASCIMENTO, N. M.; VIANA, M. M. M.; SILVA, G. G.; BRASILEIRO, L. B. Embalagem cartonada longa vida: lixo ou luxo? **Química Nova na Escola**. n.25, p.3-7, mai. 2007.

NOGUEIRA, J. N. do P.; TEIXEIRA, W. G.; VASQUES, G. M. Uso de espectrômetro de fluorescência de raios X portátil (pXRF) para avaliação de teores de titânio (Ti) em amostras de solo. **Anais... SEMINÁRIO PIBIC EMBRAPA SOLOS**, 2017.

OLIVEIRA, E. A. **Confiabilidade metrológica na determinação de espécies químicas em materiais siderúrgicos por espectrometria de fluorescência de raios-X**. Dissertação (mestrado) – PUC-RJ, Rio de Janeiro, 2011.

OLIVEIRA, E. M.; OLIVEIRA, E. M.; PETERSON, M. POLISSER, F.; OLIVEIRA, C.; ANTUNES, E. Análise da resistência à compressão e tração de argamassa com adição de resíduo de cerâmica vermelha. **Revista Matéria**, v.24, n. 2, 2019.

PASSOS, P. M.; CARASEK, H. Argamassas com resíduos para revestimento isolante térmico de parede pré-moldada de concreto. **Revista Cerâmica**, v. 64, 2018.

PAVEZ, O.; RIVERA, O.; TOLEDO, I.; NAZER, A. Use of copper slag as fine aggregate and partial replacement of cement. **HOLOS**, p. 31-45, 2018.

PIMENTEL, L. L.; PISSOLATO JR., O.; JACINTHO, A. E. P. G. A.; MARTINS, H. L. S. Argamassa com areia proveniente da britagem de resíduo de construção civil – Avaliação de características físicas e mecânicas. **Revista Matéria**, v. 23, n. 1, 2018.

PRISMA-P. 2015. (Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis Protocols). Disponível em:
<https://systematicreviewsjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/2046-4053-4-1/tables/3>. Acesso em: 5 out. 2020.

RAHMAN, M.; MAHI, M.; CHOWDHURY, T. Utilization of waste PET bottles as aggregate in masonry mortar. **International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)**, p. 1030-1035, 2013.

RODRIGUES, J.; SOUZA, J. A.; FUJIYAMA, R. Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais da Amazônia fabricados por infusão. **Revista Matéria**, v. 20, p. 946-960, 2015.

SANTOS, A. R. DE C. **Avaliação da emissividade de embalagens cartonadas por termografia e modelagem computacional**. Dissertação. Cuiabá-MT, 2019.

SCHILLER, A. P. S.; PALIGA, C. M.; TORRES, A. da S. Estudo da potencialidade da substituição parcial do cimento por resíduos da construção civil em argamassa de revestimento. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, 2021.

SHUBBAR, A. A.; AL-JUMEILY, D.; ALJAAF, A.; ALYAFEI, M.; SADIQUE, M.; MUSTAFINA, J. Investigating the mechanical and durability performance of cement mortar incorporated modified fly ash and ground granulated blast furnace slag as cement replacement materials. **Anais... 12th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)**, p. 434-439, 2019.

SILVA, J.; SOUZA, P.; PRADO, C.; SILVA, M.; FLEMING, R. Estudo das propriedades mecânicas da argamassa de revestimento com adição de fibras de papelão. **Anais... 57º Congresso Brasileiro de Concreto – CBC**, 2015.

SOUZA, F. F. **Proposta metodológica para aplicação de logística reversa de embalagens cartonadas no âmbito municipal**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2011.

TETRA PAK. **Ciclo de Vida da Embalagem**. Disponível em: <https://www.tetrapak.com/pt-br/sustainability/reciclagem-no-brasil>. Acesso em: 4 abr. 2022b.

TETRA PAK. **Nossas embalagens cartonadas**. Disponível em: <https://www.tetrapak.com/solutions/packaging>. Acesso em: 03 abr. 2022a.

TETRA PAK. **Relatório de Sustentabilidade 2020**. Tetra Pak, 2020.

TREVISAN, C. E.; XAVIER, W.; BARBOSA, F.; GONÇALVES, M. Utilização do método do caminho ótimo para roteirizar a coleta seletiva de embalagens cartonadas na cidade de Embu das Artes–SP. **Anais...** International Conference on Network Enterprises & Logistic Management – NETLOG 2018, 2018.

USAHANUNTH, N.; TUPRAKAY, S.; The transformation of waste Bakelite to replace natural fine aggregate in cement mortar. **Case studies in construction materials**, 6, p. 120-133, 2017.

VARŽINSKAS, V.; STANISKIS, J. K.; KNASYTE, M. Decision-making support system based on LCA for aseptic packaging recycling. **Waste management & research**, v. 30, n. 9, p. 931-939, 2012.

APÊNDICE 1 – PRODUTO TÉCNICO/TECNOLÓGICO – DEPÓSITO DE PATENTE08/07/2022 870220060203
10:00

29409161951704370

Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT

Número do Processo: BR 10 2022 013616 5

Dados do Depositante (71)

Depositante 1 de 1

Nome ou Razão Social: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALAGOAS - IFAL**Tipo de Pessoa:** Pessoa Jurídica**CPF/CNPJ:** 10825373000155**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Jurídica:** Instituição de Ensino e Pesquisa**Endereço:** Rua Odilon Vasconcelos, 103, Jatiúca**Cidade:** Maceió**Estado:** AL**CEP:** 57035-660**País:** Brasil**Telefone:** (82) 3194-1178**Fax:****Email:** nit@ifal.edu.br

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 08/07/2022 às 10:00, Petição 870220060203

Dados do Pedido

Natureza Patente: 10 - Patente de Invenção (PI)

Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54): ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR EMBALAGENS CARTONADAS TRITURADAS

Resumo: Patente de invenção para ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR EMBALAGENS CARTONADAS TRITURADAS. A presente invenção consiste na fabricação de argamassa de assentamento, com substituição parcial do agregado miúdo (areia média natural) por Embalagens Cartonadas Trituradas (ECT) nos percentuais de até 15%. A argamassa desenvolvida se apresenta como alternativa para a utilização da argamassa convencional no setor da Construção Civil, possibilitando menor consumo de agregados naturais e, conseqüentemente, preservação das jazidas. Frente a análise de correlação realizada, ficou constatado que o aumento o percentual de substituição de agregado miúdo por ECT na argamassa resulta na leve perda de consistência, na redução da resistência à compressão e no aumento da absorção de água por imersão, em relação a argamassa tradicional. Entretanto, os resultados comprovaram que as argamassas propostas, em todos os percentuais estudados, apresentaram índices de consistências adequados em relação aos apresentados na literatura. A argamassa com ECT apresentou resistência à compressão aos 28 dias dentro dos parâmetros mais altos de acordo com as normas vigentes. Os valores obtidos para absorção de água por imersão apresentaram acréscimo em relação a argamassa de referência, porém se mantiveram abaixo dos valores apresentados em estudos similares. A análise dos resultados comprovou a viabilidade da argamassa de assentamento com substituição parcial do agregado miúdo por Embalagens Cartonadas Trituradas nos percentuais propostos, uma vez que os resultados permaneceram em concordância com as normas vigentes e com os resultados apresentados por estudos análogos.

Figura a publicar: 05

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 08/07/2022 às 10:00, Petição 870220060203

Dados do Inventor (72)

Inventor 1 de 3**Nome:** SHEYLA KAROLINA JUSTINO MARQUES**CPF:** [REDACTED]**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Física:** Professor do ensino superior**Endereço:** avenida Alagoas, 1201, casa 13A, Condomínio Império das
Palmeiras, Palmeira de Fora**Cidade:** Palmeira dos Índios**Estado:** AL**CEP:** 57608-180**País:** BRASIL**Telefone:****Fax:****Email:****Inventor 2 de 3****Nome:** RONNY FRANCISCO MARQUES DE SOUZA**CPF:** [REDACTED]**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Física:** Professor do ensino superior**Endereço:** rua Humberto campos, 840**Cidade:** Delmiro Gouveia**Estado:** AL**CEP:** 57480-000**País:** BRASIL**Telefone:****Fax:****Email:****Inventor 3 de 3****PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 08/07/2022 às
10:00, Petição 870220060203

Nome: JULIANA LIRA BRITO

CPF: [REDACTED]

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Estudante de Pós Graduação

Endereço: palmeira dos índios

Cidade: palmeira dos índios

Estado: AL

CEP: 57608-180

País: BRASIL

Telefone:

Fax:

Email:

Documentos anexados

Tipo Anexo	Nome
Comprovante de pagamento de GRU 200	Comprovante de Pagamento - 29409161951704370.pdf
Reivindicação	Reivindicações da patente - ECT.pdf
Relatório Descritivo	Relatório descritivo - ECT.pdf
Resumo	RESUMO - ECT.pdf
Desenho	FIGURAS - ECT.pdf

Acesso ao Patrimônio Genético

- Declaração Negativa de Acesso - Declaro que o objeto do presente pedido de patente de invenção não foi obtido em decorrência de acesso à amostra de componente do Patrimônio Genético Brasileiro, o acesso foi realizado antes de 30 de junho de 2000, ou não se aplica.

Declaração de veracidade

- Declaro, sob as penas da lei, que todas as informações acima prestadas são completas e verdadeiras.

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 08/07/2022 às 10:00, Petição 870220060203

APÊNDICE 2 – ARTIGO COM OS RESULTADOS DA RSL SUBMETIDO PARA REVISTA ELETRÔNICA DE ENGENHARIA CIVIL - REEC

Espaço restrito aos editores de layout da REEC.

ANALISE DOS AVANÇOS EM ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

ADVANCES IN SETTLEMENT MORTARS WITH INCORPORATION OF SOLID WASTE

Juliana Lira Brito de Carvalho¹, Sheyla Karolina Justino Marques², Áurea Luiza Quixabeira Rosa e Silva Rapôso³, Ronny Francisco Marques de Souza⁴

Espaço restrito aos editores de layout da REEC.

PALAVRAS CHAVE:

Revisão de literatura;
Argamassa;
Resíduos sólidos;
Incorporação de resíduos;
Novos materiais;

KEYWORDS:

Literature review
Mortar;
Solid waste;
Waste incorporation;
New materials;

RESUMO: A destinação final dos resíduos sólidos é um grande problema no Brasil e no mundo. No entanto, muitos materiais alternativos estão surgindo com o propósito de recolocar no ciclo de produção matérias-primas descartadas, no intuito de que estas retornem como parte integrante de novos produtos. O presente estudo tem como objetivo analisar e sintetizar os principais tipos de resíduos que vem sendo incorporados em argamassas de assentamento, bem como os procedimentos de caracterização e os indicadores de viabilidade técnica. Foi elaborado o protocolo de Revisão Sistemática de Literatura (RSL) com o detalhamento das etapas metodológicas. Foram realizadas pesquisas, com strings relacionadas ao tema, nas seguintes bases de busca: Google Acadêmico; Science Direct; IEEE; e Periódicos CAPES. Os trabalhos encontrados passaram por triagem através dos títulos. Posteriormente, foram analisadas as palavras-chave, os resumos e as conclusões dos artigos que foram selecionados por meio dos Critérios de Inclusão e Exclusão. Os estudos aprovados na etapa anterior foram lidos e submetidos a análise de qualidade, sendo considerados aceitos 14 trabalhos no total. A RSL seguiu com a extração dos dados nos trabalhos aceitos. A partir da análise do conteúdo dos estudos selecionados, foi possível concluir que os tipos de resíduos sólidos utilizados como incorporação em argamassa mais estudados pelos autores são as cinzas e resíduos cerâmicos. Além disso, esta análise permitiu revelar quais os principais procedimentos para caracterizar a argamassa com incorporação de resíduo e quais os indicadores de viabilidade técnica mais utilizados.

ABSTRACT: Final destination of solid residues is a big problem in Brazil and in the world. However, many alternative materials are emerging with the purpose of replacing in the production cycle raw materials that were discarded, in order to make they return as part of new products. This study aims to analyze and synthesize the main residue types used that have been incorporated in settlement mortars, as well as the characterization procedures and the indicators of technical feasibility of mortars with residues. The Systematic Literature Review (SLR) protocol was elaborated, detailing the methodological steps. The searches were carried out, with strings related to the theme, in the following search bases: Google Scholar; Science Direct; IEEE; and CAPES Periodicals. The resulting studies were screened through the titles. Subsequently, the keywords, abstracts and conclusions were analyzed for the studies selected through the Inclusion and Exclusion Criteria. The studies approved in the previous stage were read and submitted to quality analysis, being considered accepted 14 papers in total. The SLR proceeded with the data extraction in the accepted studies. From the analysis of the content of the selected studies, it was possible to conclude that the solid residue types used as incorporation in mortars most studied by the authors are ash and ceramic residue. In addition, the analysis allowed to reveal the main procedures to characterize mortar with residue incorporation and the technical feasibility indicators that were most used.

* Contato com os autores:

¹ e-mail: jlb3@aluno.ifal.edu.br (J. L. B. Carvalho)

Engenharia Civil, Mestranda em Tecnologias Ambientais, Instituto Federal de Alagoas, jlb3@aluno.ifal.edu.br (82-9 96662741)

² e-mail: sheyla.marques@ifal.edu.br (S. K. J. Marques)

Engenharia Civil, Doutora, Docente, Instituto Federal de Alagoas, sheyla.marques@ifal.edu.br (82-9 99913749)

³ e-mail: aurea.raposo@ifal.edu.br (A. L. Q. R. S. Raposo)

Arquitetura, Doutora, Docente, Instituto Federal de Alagoas, aurea.raposo@ifal.edu.br (82-9 99766253)

⁴ e-mail: ronny.souza@ifal.edu.br (R. F. M. Souza)

Química, Doutor, Docente, Instituto Federal de Alagoas, ronny.souza@ifal.edu.br (81-9 97109854)

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países no mundo que mais gera resíduos sólidos com destinação inadequada, sem tratamentos com soluções ambientalmente e economicamente viáveis, que acabam, em sua maioria, sendo depositados ou lançados na rede pública de esgotos, em terrenos, e até mesmo queimados (Antenor et al., 2020).

Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos de 2017 da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2018), a destinação adequada dos resíduos sólidos urbanos coletados pelos municípios permaneceu estagnada, com 59,1% do volume coletado encaminhado para aterros sanitários. Por outro lado, a destinação irregular aumentou em 1%, com mais de 29 milhões de toneladas depositadas em lixões e aterros controlados no ano (ABRELPE, 2018).

De acordo com a Lei 12.305/10 (BRASIL, 2010), Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, é importante salientar que os resíduos sólidos devem ter destinação final ambientalmente adequada, que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético.

Nos últimos anos, o setor da construção civil tem, constantemente, atuado para alcançar um equilíbrio entre os aspectos ambientais, tecnológicos e econômicos, visando o desenvolvimento de práticas que os integrem de maneira satisfatória e eficiente. Neste contexto, os materiais alternativos e sustentáveis, como blocos e argamassas com incorporação de resíduos, por exemplo, vêm ganhando espaço no mercado e permitindo que novas pesquisas sejam desenvolvidas e aplicadas.

De acordo com Santos (2014), no Brasil, o sistema de alvenaria constituído por blocos cerâmicos e argamassas de assentamento é o mais utilizado. Devido a volumosa produção e aplicação, as argamassas de assentamento surgem como produto com grande potencial para receber a incorporação de resíduos, viabilizando destinação final que atende ao tripé da Sustentabilidade.

Portanto, levando em consideração os impactos ambientais negativos que surgem do descarte incorreto dos resíduos sólidos e as alternativas sustentáveis para a destinação final ambientalmente adequada, este estudo teve como objetivo analisar e sintetizar quais são os principais tipos de resíduos utilizados, os procedimentos de caracterização e indicadores de viabilidade técnica de argamassas de assentamento com incorporação de resíduos sólidos.

2. METODOLOGIA

A Revisão Sistemática de Literatura (RSL) tem como foco principal reunir estudos primários semelhantes, analisando dados e reunindo-os em estudo secundário para que possa, posteriormente, ser divulgado e, assim, outros pesquisadores possam repetir o procedimento e obter resultados semelhantes (Galvão et al., 2014). Dessa forma, faz-se necessário a elaboração de protocolos que determinam as etapas e os padrões, além de permitirem que a RSL seja reproduzida.

Inicialmente, foi elaborado o Protocolo de RSL, utilizando como base os itens recomendados pela *Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis Protocols* - PRISMA-P (2015). De forma clara, o Protocolo de RSL detalha todas as etapas utilizadas para a seleção, extração e síntese dos estudos.

O Protocolo pode ser encontrado pelo link:
https://drive.google.com/file/d/14Yrnt_XG8qvcl_gPd9Q-0cv_NjExBNEM/view?usp=sharing.

O software free StArt foi utilizado para a seleção, extração, síntese e registro dos dados. A ferramenta foi fundamental para o gerenciamento das referências, permitindo a customização e facilitando a importação e exportação de dados. O ponto de partida para a realização desse estudo foram as perguntas norteadoras, que estão apresentadas no Quadro 1.

QUADRO 1: Perguntas norteadoras da RSL	
P1	Quais são os principais tipos de resíduos sólidos utilizados como incorporação em argamassas de assentamento?
P2	Quais os procedimentos utilizados na caracterização de argamassas de assentamento com incorporação de resíduos sólidos?
P3	Qual são os indicadores de viabilidade técnica de argamassas de assentamento com incorporação de resíduos sólidos?

A princípio, pensou-se em utilizar string de busca para cada pergunta, porém a busca teste revelou que os resultados não seriam satisfatórios. Assim, optou-se pela utilização de strings específicas para cada fonte de busca, de modo a refinar os resultados com trabalhos que respondam a todas as perguntas. As bases de busca foram: Google Acadêmico; Science Direct; IEEE; e Periódicos CAPES. O Quadro 2 apresenta as strings utilizadas nas buscas.

QUADRO 2: Strings utilizadas nas buscas	
Google Acadêmico	"argamassa de assentamento" AND "resíduo sólido" AND (procedimento OR experimento) AND (indicadores OR "viabilidade técnica")
Science Direct	mortar AND "solid residue" AND (procedure OR test) AND (Indicators OR "technical feasibility")
IEEE	mortar AND (residue OR waste) AND (procedure OR test)
Periódicos da CAPES	1. "argamassa de assentamento" AND "resíduo sólido" 2. argamassa AND resíduo

Os estudos resultantes da aplicação das strings nas bases de dados passaram por triagem através dos títulos, onde se descartou aqueles que, claramente, não estavam relacionados à estratégia de busca.

Em seguida, foram analisados palavras-chave, resumos e conclusões, a fim de verificar os critérios de inclusão e critérios de exclusão. O Quadro 3 apresenta os critérios de inclusão e os critérios de exclusão.

QUADRO 3: Critérios de Inclusão (I) e Critérios de Exclusão (E)

Inclusão (I)	Os estudos podem fazer parte de jornais, revistas, conferências e congressos.
	Os estudos deverão estar apresentados somente no formato de artigo.
	O estudo deverá ser dos últimos 5 anos.
	Os estudos devem tratar diretamente de incorporação de resíduos sólidos em argamassas.
	O estudo deverá apresentar metodologia embasada em procedimentos experimentais.
Exclusão (E)	Estudos repetidos.
	Estudos que não tratem de resíduos sólidos.
	Estudos com resultados incompletos.

A lista de trabalhos aceitos na etapa anterior foi submetida ao critério de qualidade. Os estudos foram lidos para a avaliação da qualidade, que foi realizada através do somatório da pontuação obtida no Quadro 4, onde cada item recebeu pontuação de 0 a 5.

QUADRO 4: Critérios de qualidade dos estudos

Item	Critérios de qualidade	Pont.
Introdução	O estudo possui contextualização adequada sobre argamassa de assentamento com incorporação de resíduo sólido?	
Objetivos	Os objetivos estão apresentados de maneira clara e são pautados em aspectos relacionados a argamassa de assentamento com incorporação de resíduos sólidos?	
Justificativa	A justificativa apresenta um contexto coerente para a aplicação do resíduo sólido em argamassa de assentamento?	
Revisão teórica	A revisão teórica traz os autores e estudos mais relevantes sobre argamassa de assentamento com incorporação de resíduos?	
Metodologia	A metodologia apresenta, de forma detalhada, quais os procedimentos experimentais foram utilizados para a caracterização da argamassa de assentamento e seus constituintes?	
Resultados	Os resultados apresentam discussões relevantes acerca da viabilidade técnica da argamassa de assentamento com incorporação de resíduo?	
Conclusão	A conclusão prevê de forma clara se os objetivos foram alcançados e revela os pontos importantes da argamassa de assentamento com incorporação de resíduo estudada?	
TOTAL		

Foram considerados aprovados os estudos que obtiveram a soma igual ou maior que 20, como mostra o Quadro 5.

QUADRO 5: Avaliação final dos estudos	
Pontuação	Situação
0-19	Reprovado
20-35	Aprovado

A extração das informações mais relevantes foi iniciada depois que os estudos finais foram aceitos e classificados de acordo com os critérios de qualidade. Os critérios estabelecidos para a extração estão expressos no Quadro 6.

Por fim, foram construídos gráficos e tabelas com os principais resultados obtidos por meio da análise dos dados extraídos.

QUADRO 6: Critérios de extração do estudo	
Campo	Conteúdo
A argamassa proposta poderia ser utilizada para assentamento	{Sim, Não}
Resíduo sólido incorporado à argamassa	Inserir os Resíduo Sólido utilizado
O resíduo sólido foi utilizado como substituição de algum material da argamassa tradicional	{Sim, Não}
Tipo de substituição	[Não, Total, Parcial]
Material substituído	[Não, Cimento, Areia]
Procedimentos realizados para a caracterização da argamassa	Inserir os procedimentos utilizados na caracterização
Indicadores de Viabilidade Técnica	Inserir os Indicadores de Viabilidade Técnica
Como o estudo comprovou a viabilidade técnica da argamassa	[Comparação, Apresentação dos Dados, Normas/Referências]

Na Figura 1, a seguir, está a representação da metodologia em formato de fluxograma, que tem como intuito facilitar a compreensão e interpretação do sistema utilizado.

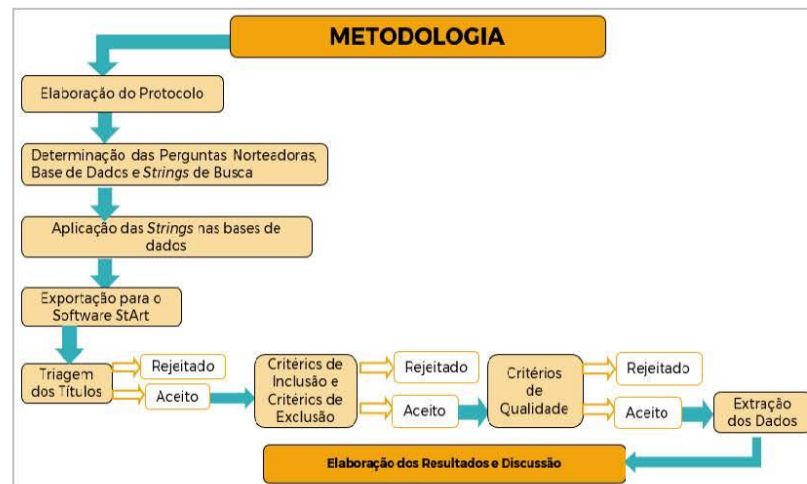


FIGURA 1. Fluxograma da metodologia

3. RESULTADOS

A busca realizada com as strings (Quadro 2) resultou no total de 89 estudos. Os percentuais de contribuição dos resultados obtidos em cada uma das bases de busca estão expressos na Figura 2.

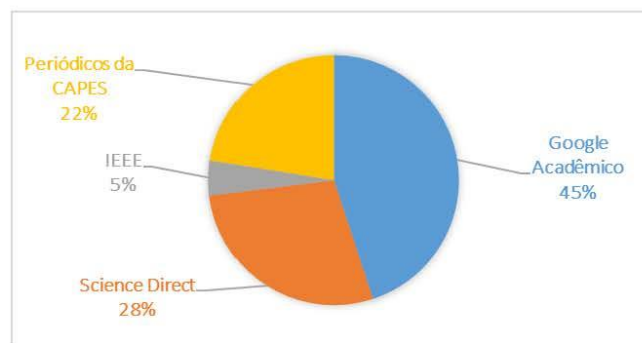


FIGURA 2. Contribuição das fontes de busca

Após as buscas, foram selecionados 14 trabalhos que atenderam aos Critérios de Inclusão e aos Critérios de Exclusão. A Figura 3 apresenta o percentual de artigos aceitos.

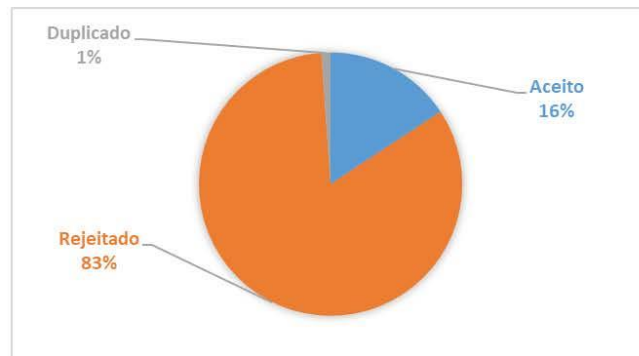


FIGURA 3. Resultado da seleção de trabalhos

O principal motivo das exclusões foi que grande parte dos estudos coletados não tratavam diretamente do estudo da incorporação de resíduos em argamassas. Vale ressaltar que existem diversos estudos que apresentavam alto potencial para a extração de informações, porém se encontravam no formato de monografias, dissertações e teses, não fazendo, assim, parte dos Critérios de Inclusão e foram rejeitados na seleção.

A Figura 4 traz a taxa de ocorrência dos Critérios de Inclusão e dos Critérios de Exclusão nos estudos rejeitados.

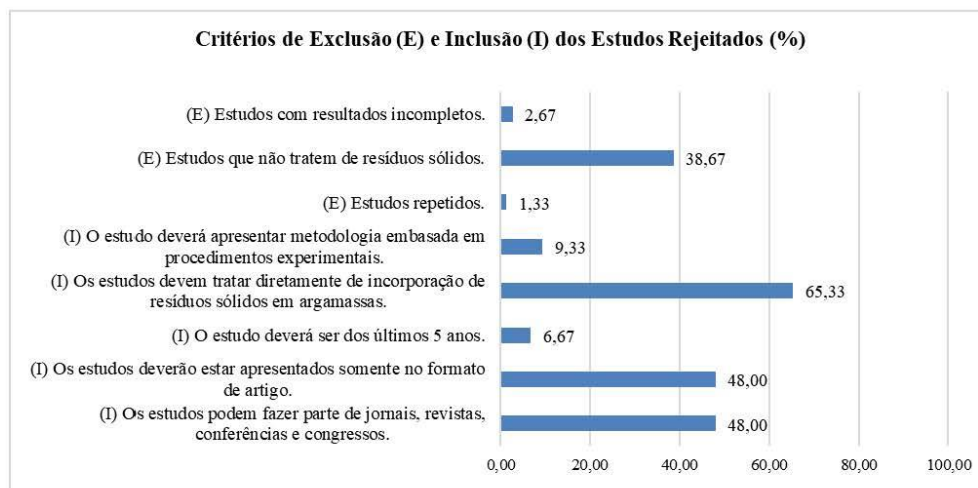


FIGURA 4. Taxa de ocorrência de Critérios de Exclusão (E) e de Inclusão (I) nos estudos rejeitados

Os estudos selecionados foram submetidos à análise de qualidade, onde todos obtiveram pontuação acima de 20 e seguiram para extração de dados. Os resultados da análise de qualidade foram computados em intervalos de pontuação e estão expressos na Figura 5.

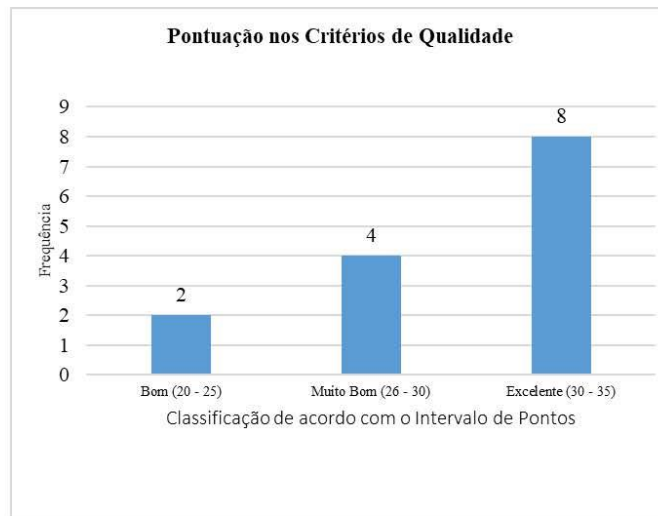


FIGURA 5. Resultado da análise de qualidade

Desse modo, todos os estudos aceitos na seleção inicial apresentaram qualidade satisfatória e foram selecionados como a base para extração dos dados para responder as perguntas norteadoras (Quadro 1).

Para obter buscas satisfatórias algumas strings acabaram tendo o termo “argamassa de assentamento” generalizado para “argamassa”, porém os critérios de qualidade foram específicos para excluir qualquer estudo que não fosse proveitoso. Além disso, o primeiro item da extração (Quadro 6) foi escolhido para reforçar este interesse em estudos que tratem, exclusivamente, de argamassas que possam ser utilizadas para assentamento de blocos ou tijolos em alvenaria.

Assim, a leitura dos trabalhos permitiu analisar a composição da argamassa estudada e, assim, concluir se esta poderia ser utilizada na finalidade esperada. O resultado está expresso no Quadro 7 e evidencia que os 14 estudos selecionados tratam de argamassa que pode ser aplicada para o assentamento.

QUADRO 7: Critérios de extração dos estudos		
A argamassa Proposta Poderia Ser Utilizada para Assentamento?	Quantidade	Porcentagem (%)
Sim	14	100,00
Não	0	0,00

Foram extraídos os dados sobre os resíduos sólidos utilizados como incorporação em argamassa, visando responder à pergunta P1 (Quadro 1) cujo foco era descobrir os principais tipos de resíduos.

QUADRO 8: Resíduo sólido incorporado em argamassa

Resíduo Sólido Incorporado em Argamassa	Quant.	Grupos	Quant.
Cinza da Casca de Arroz	3	Resíduos de Cinzas	6
Cinza da Casca do Coco Verde	1		
Cinza do Resíduo de Madeira	1		
Cinza Volante Modificada	1		
Resíduo de Cerâmica Vermelha	1	Resíduos Cerâmicos	5
Resíduo de Construção e Demolição	2		
Resíduo de Placa Cerâmica	1		
Resíduo do Polimento de Porcelanato	1		
Baquelite	1	Resíduos Poliméricos	4
Resíduo de Borracha	1		
Resíduo de Placas termoacústicas (Lã de Vidro, Lã de Rocha e Vermiculita)	1		
Resíduo de Poliestireno Expandido - EPS	1		
Escória de Alto-Forno Granular	1	Resíduos da Indústria de Minério	2
Escória de Cobre	1		

Vale ressaltar que 3 artigos estudaram a incorporação de 2 resíduos diferentes; por isso, os 14 trabalhos resultam em total de 17 resíduos sólidos. Os resíduos foram organizados em 4 grupos de acordo com a origem do resíduo e classe do material. O Quadro 8 apresenta os resultados desta extração, bem como o total de resíduos de cada grupo.

Analisando, individualmente, é possível observar que a Cinza da Casca de Arroz é o resíduo mais estudado, seguido do Resíduo de Construção e Demolição (RCD). De modo geral, as cinzas e os resíduos cerâmicos são os que mais foram utilizados nas pesquisas. A Figura 6 apresenta, graficamente, os principais tipos de resíduos sólidos utilizados.



FIGURA 6. Tipos de Resíduos Sólidos

A partir dos dados extraídos, buscou-se também entender a maneira que o resíduo foi inserido na composição, sem ou com substituição, parcial ou total, de algum dos materiais da mistura tradicional da argamassa. Os resultados desta análise estão expressos na Figura 7, Quadro 9 e Quadro 10.



FIGURA 7. Resultado do tipo de incorporação de resíduo

Os resultados da Figura 7 e Quadro 9 mostram que os autores, em quase todos os estudos, optaram por incorporar os resíduos como substituição, em sua maioria, somente parcial, ao invés de somente proceder com a adição.

QUADRO 9: Tipo de substituição		
Tipo de Substituição	Quant.	Porcentagem (%)
Somente Parcial	11	78,57
Somente Total	0	0,00
Parcial e Total	2	14,29
Nenhuma	1	7,14

A análise do Quadro 10 revela que ambos o cimento e o agregado miúdo foram substituídos na mesma quantidade de trabalhos. Outro detalhe importante é que somente 1 autor buscou analisar a substituição simultânea de cimento e areia na composição da argamassa estudada.

QUADRO 10: Material substituído		
Material Substituído	Quant.	Porcentagem (%)
Somente Areia	6	42,86
Somente Cimento	6	42,86
Ambos	1	7,14
Nenhum	1	7,14

Os resultados mostram que os autores, em quase todos os estudos, optaram por incorporar os resíduos como substituição, por vezes até total, ao invés de somente proceder com a adição destes. Isso fortalece a ideia de que os autores não estão simplesmente preocupados em dar destino final adequado aos resíduos estudados, como também de preservar as jazidas e reduzir os impactos ambientais causados com a produção do cimento, quando o substituem, por exemplo. De fato, esses dados servem para reforçar o caráter socioambiental dos trabalhos. O Quadro 11 apresenta os resultados da extração dos procedimentos de caracterização das argamassas dos trabalhos, respondendo à pergunta P2 (Quadro 1).

QUADRO 11: Procedimentos realizados para a caracterização da argamassa		
Procedimentos Realizados para a Caracterização da Argamassa	Quant.	Porcentagem (%)
Ensaio de Resistência à Compressão	14	100,00
Ensaio de Absorção de Água	10	71,43
Densidade dos Materiais	10	71,43
Ensaio de Consistência	9	64,29
Ensaio de Resistência à Tração	9	64,29
Granulometria dos Materiais	7	50,00
Análise Química dos Materiais	6	42,86
Análise de Fluorescência de Raio-X	4	28,57
Teor de Ar Incorporado	4	28,57
Difratometria de Raios X	3	21,43
Ensaio de Aderência	3	21,43
Microscopia Eletrônica de Varredura	3	21,43
Permeabilidade ao Cloreto	2	14,29
Ensaio de Resistividade Elétrica	2	14,29
Condutividade Térmica	1	7,14
Índice de Vazios	1	7,14
Ensaio de Tempo de Pega	1	7,14

O ensaio de resistência à compressão da argamassa foi o único apresentado em todos os estudos. Os ensaios de absorção de água, consistência e resistência à tração foram, também, realizados em parcela significativa dos estudos. A determinação das densidades e granulometria dos materiais também aparecem nos resultados de mais de 50% dos trabalhos. Outro procedimento que apareceu em parcela significativa dos trabalhos foi a avaliação da composição química dos materiais.

Com o intuito de responder à pergunta, P3 (Quadro 1), buscou-se levantar quais os principais indicadores de viabilidade técnica. A Figura 8 apresenta os resultados referentes a essa análise.

A Resistência Mecânica da argamassa foi o indicador de viabilidade técnica unânime entre os autores. Além disso, outros estudos se preocuparam em atestar a viabilidade da argamassa, e trazer dados sobre seus Índices Físicos e sua Trabalhabilidade.

A preocupação com a Composição Química da argamassa também pode ser colocada como um dos indicadores mais explorados pelos autores, aparecendo em quase metade dos trabalhos selecionados. Outros indicadores levantados, em escala menor, foram a Durabilidade, em 3 estudos, e o Desempenho Térmico da argamassa em apenas 1 trabalho.



FIGURA 8. Indicadores de viabilidade técnica

O último tópico da extração visa entender como os autores comprovaram a viabilidade técnica da argamassa com resíduos sólidos em estudo. O Quadro 12 traz o resultado dessa extração.

QUADRO 12: Forma de comprovação da viabilidade técnica		
Como o Estudo Comprovou a Viabilidade Técnica da Argamassa	Frequência	Porcentagem
Comparação	11	78,57
Normas/Referência	3	21,43
Apresentar Dados	0	0,00

Os dados do Quadro 12 mostram que cerca de 80% dos estudos realizaram comparações entre a composição tradicional da argamassa e as composições com incorporação de resíduo, estabelecendo relações entre os indicadores de viabilidade técnica abordados no trabalho. Os restantes dos estudos

classificaram os resultados com os padrões estabelecidos por normas técnicas. Além disso, nenhum artigo simplesmente apresentou os resultados.

Vale ressaltar que dentre os estudos selecionados, foi possível notar que existia por parte dos autores a preocupação de atestar também a viabilidade econômica da argamassa com incorporação de resíduos sólidos, bem como o viés sustentável da prática. No entanto, esse trabalho teve análise focada apenas nos indicadores de viabilidade técnica.

4. CONCLUSÕES

A pesquisa realizada nesse trabalho buscou apresentar informações relevantes acerca dos estudos recentes sobre argamassas de assentamento com incorporação de resíduos sólidos.

A extração de dados dos estudos selecionados permitiu verificar que os resíduos mais utilizados como incorporação em argamassas são os resíduos de cinzas e resíduos cerâmicos. Além disso, os estudos, quase que na totalidade, buscaram incorporar o resíduo em substituição de algum material presente na argamassa tradicional, fortalecendo o caráter ambiental da prática.

Este estudo revelou, ainda, que o procedimento para caracterizar argamassa com incorporação de resíduo mais utilizado foi o ensaio de resistência à compressão (100,00%), seguido do ensaio de absorção de água (71,43%), ensaio de consistência (64,29%) e ensaio de resistência à tração (64,29%). Além desses, a determinação das densidades, granulometria e análise da composição química dos materiais também aparecem em quantidades significativas.

Outro ponto importante dessa análise foi o levantamento dos principais indicadores de viabilidade técnica da argamassa com incorporação de resíduo sólido. Dentre eles estão: Resistência Mecânica, Índices Físicos, Trabalhabilidade e Análise Química. Vale lembrar que a Durabilidade e o Desempenho Térmico também aparecem na lista, porém em menores proporções.

Por fim, o presente trabalho apresentou relevante papel na síntese e organização do conhecimento acerca das características básicas relativas aos avanços nos estudos sobre argamassas de assentamento com incorporação de resíduos sólidos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Alagoas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTENOR, S. SZIGETHY, L. Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. Lançamento do panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017. Minas Gerais, 2018.

BRASIL. Lei nº. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília-DF, 2 ago. 2010.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. Epidemiol. Serv. Saúde, Brasília, v. 23, n. 1, p. 183-184, mar. 2014.

PRISMA-P. 2015. (Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis Protocols). Disponível em: <https://systematicreviewsjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/2046-4053-4-1/tables/3>. Acesso em: 5 out. 2020.