

Método de tratamento para sacos de cimento e provável reuso: Estudo com argamassa

Ricardo Soares

Doutorando, UFBA, Brazil.
ricardo.soares@ifal.edu.br
ORCID 0000-0002-7028-1042

Poliana Bellei

Doutoranda, IST-Ulisboa, Portugal.
poliana.bellei@ulisboa.tecnico.pt
ORCID 0000-0001-9680-1870

Leonardo Vieira

Professor Doutor, IFAL, Brasil.
leonardo.vieira@ifa.edu.br
ORCID 0000-0003-4660-0231

Submissão: 25/07/2024

Aceite: 12/11/2024

RICARDO, Ricardo; POLIANA, Poliana; VIEIRA, Leonardo. Método de tratamento para sacos de cimento e provável reuso: Estudo com argamassa. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, [S. l.], v. 12, n. 87, 2024.

DOI: [10.17271/23188472128720245134](https://doi.org/10.17271/23188472128720245134)

Disponível em:

https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/5134

Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Método de tratamento para sacos de cimento e provável reuso: Estudo com argamassa

RESUMO

Considerando a possibilidade de esgotamento de recursos naturais, a disposição inadequada de resíduos sólidos na construção e, o mais importante, a busca de estratégias para reduzir a emissão de gases como o CO₂, este estudo tem como objetivo apresentar uma metodologia voltada para minimizar o impacto ambiental causado pelo descarte de sacos de papel kraft contaminados com cimento Portland, assim como o consumo de areia. Isso se alcança por meio do tratamento dos sacos com hidróxido de sódio (NaOH), processamento e transformação em um subproduto de baixa granulometria, substituindo parcialmente a areia na produção de argamassa de revestimento. O subproduto obtido foi caracterizado e introduzido na argamassa em proporções de 2% e 4% em relação à massa de areia. As propriedades das argamassas foram observadas nos estados frescos e endurecidos. Os resultados demonstram que o uso de papel kraft tratado pode reduzir o consumo de recursos naturais, fornecendo uma alternativa sustentável e técnica para a eliminação de sacos contaminados com cimento Portland. Na fase atual do estudo, observou-se uma redução na densidade da argamassa e um aumento na fluidez de 12% e 2%, respectivamente. Além da viabilidade técnica quanto a resistência mecânica, foi estabelecido um método para eliminar sacos contaminados com cimento Portland, reduzindo o consumo de areia. No cenário atual, os sacos de cimento ainda são indispensáveis e este estudo é uma contribuição que pode ser evolutiva sustentavelmente.

PALAVRAS-CHAVE: Argamassa. Resíduos sólidos. Sacos de cimento.

Treatment Method for Cement Bags and Potential Reuse: Study with Mortar

ABSTRACT

Considering the potential depletion of natural resources, the improper disposal of solid waste in construction, and, most importantly, the pursuit of strategies to reduce emissions of gases such as CO₂, this study aims to present a methodology designed to minimise the environmental impact caused by the disposal of kraft paper bags contaminated with Portland cement, as well as the consumption of sand. This is achieved by treating the bags with sodium hydroxide (NaOH), processing, and transforming them into a low-granularity by-product, partially replacing sand in the production of rendering mortar. The obtained by-product was characterised and introduced into the mortar in proportions of 2% and 4% relative to the sand mass. The properties of the mortars were assessed in both fresh and hardened states. The results demonstrate that the use of treated kraft paper can reduce natural resource consumption, providing a sustainable and technical alternative for the disposal of cement-contaminated bags. At the current stage of the study, reductions in mortar density and increases in fluidity by 12% and 2%, respectively, were observed. In addition to its technical feasibility regarding mechanical strength, a method was established to dispose of bags contaminated with Portland cement while reducing sand consumption. Given that cement bags remain indispensable at present, this study offers a contribution that can evolve sustainably.

KEYWORDS: Mortar. Solid waste. Cement bags.

Método de tratamiento para sacos de cemento y posible reutilización: Estudio con mortero

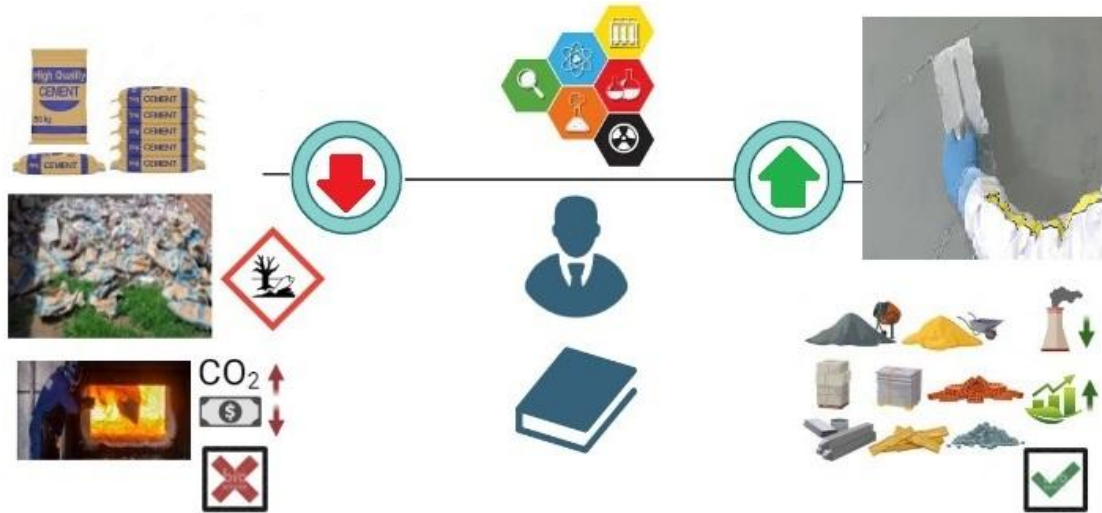
RESUMEN

Considerando la posibilidad de agotamiento de recursos naturales, la disposición inadecuada de residuos sólidos en la construcción y, lo más importante, la búsqueda de estrategias para reducir la emisión de gases como el CO₂, este estudio tiene como objetivo presentar una metodología destinada a minimizar el impacto ambiental causado por la eliminación de sacos de papel kraft contaminados con cemento Portland, así como el consumo de arena. Esto se logra mediante el tratamiento de los sacos con hidróxido de sodio (NaOH), su procesamiento y transformación en un subproducto de baja granularidad, que sustituye parcialmente la arena en la producción de mortero de revestimiento. El subproducto obtenido fue caracterizado e introducido en el mortero en proporciones del 2% y 4% en relación con la masa de arena. Las propiedades de los morteros se observaron en estados frescos y endurecidos. Los resultados demuestran que el uso de papel kraft tratado puede reducir el consumo de recursos naturales, proporcionando una alternativa sostenible y técnica para la eliminación de sacos contaminados con cemento Portland. En la etapa actual del estudio, se observó una reducción en la densidad del mortero y un aumento en su fluidez del 12% y 2%, respectivamente. Además de la viabilidad técnica en cuanto a la resistencia mecánica, se estableció un método para eliminar sacos contaminados con cemento Portland, reduciendo el consumo de arena. En el escenario actual, los

sacos de cemento siguen siendo indispensables, y este estudio es una contribución que puede evolucionar sostenible.

PALABRAS CLAVE: Mortero. Residuos sólidos. Sacos de cemento.

RESUMO GRÁFICO



1 INTRODUÇÃO

A contaminação dos sacos de papel kraft com cimento Portland representa um problema ambiental significativo em termos de quantidade descartada, logística reversa e custos associados ao descarte adequado (Alves, 2021). Ao mesmo tempo, a elevada procura de consumo de recursos naturais pode tornar a areia um material escasso a nível mundial. Segundo o relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, 2019), 50 bilhões de toneladas de areia são extraídas anualmente, tornando-a o segundo recurso mais consumido no mundo. Em Portugal, os Operadores de Gestão de Resíduos (OGR) estabelecem atualmente meios de reutilização de resíduos de construção e demolição, transformando-os em agregados para aplicações menos exigentes. Por outro lado, o Pacto Ecológico Europeu (COM, 2019) incentiva a exploração de novas tecnologias para prevenir a poluição na eliminação de resíduos sólidos de construção.

A quantificação precisa dos resíduos gerados muitas vezes não identifica os tipos descartados sem amplas opções de reaproveitamento, como exemplo, os sacos de papel kraft contaminadas com cimento Portland. A destinação de resíduos sólidos também é um problema em outros países, como o Brasil: Segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC, 2022), o país atingiu uma produção nacional de quase 66 milhões de toneladas de cimento Portland em 2021, sendo quase 66% distribuído em sacos. Considerando sacos padrão de 50 kg, estima-se que a produção de cimento do Brasil descartou aproximadamente 870 milhões de sacos contaminados com cimento Portland em 2021, sendo muitas vezes descartados de forma inadequada ou incinerados, gerando emissões de gases (Ma *et. al.*, 2019).

Melhorar o desempenho da argamassa através da utilização de resíduos gerados na sua própria produção pode gerar valor económico, reduzir o consumo dos recursos naturais existentes, diminuir a poluição e contribuir para a sustentabilidade da indústria da construção. Para argamassa confeccionada com cimento Portland, esta pesquisa apresenta o método de produção e aplicação de um subproduto, apresentando resultados em comparação com uma argamassa de referência.

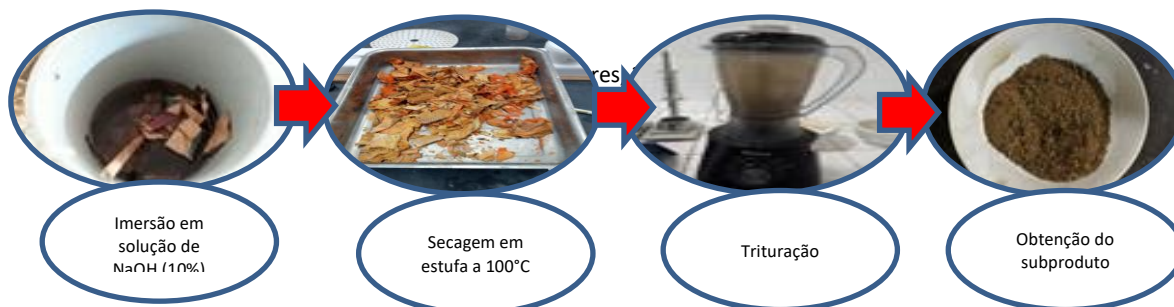
2 METODOLOGIA

2.1 Obtenção do subproduto

Os sacos de cimento foram adquiridos no Laboratório de Construção (LC) do Instituto Superior Técnico (IST) da Universidade de Lisboa entre julho e agosto de 2022. Foram reservados cerca de 20 sacos comuns de cimento Portland (25kg) feitos de papel kraft para transformação no subproduto. O subproduto foi obtido através do seguinte processo: os sacos de cimento foram cortados em pedaços quadrados com lados de aproximadamente 8 cm e imersos por um período de duas horas em solução de água com concentração de hidróxido de sódio (NaOH) a 10 %. Posteriormente, os sacos foram deixados em repouso e depois secos numa estufa Icamo por 6 horas a 100 °C. Por fim, os sacos, com a celulose do papel dilatada (pelo efeito do NaOH) e endurecidos (pelo efeito do resíduo de cimento), foram triturados com um liquidificador

Moulimex com 4 lâminas e 300 W de potência. A Figura 1 mostra as etapas do processo utilizado para obtenção do subproduto:

Figura 1 - Imersão em NaOH (a), Secagem (b), Trituração (c) e obtenção (d)



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2022.

O subproduto foi caracterizado quanto à distribuição granulométrica utilizando cinco peneiras com aberturas variando de 0,125 a 1,6 mm (Fig.2). A densidade da distribuição granulométrica predominante foi determinada utilizando um recipiente com capacidade de 100 cm³. Adicionalmente, o subproduto foi analisado em laboratório por espectroscopia de infravermelho, empregando um espectrofotômetro infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) modelo IRAffinity-1 Shimadzu.

Figura 2 – Verificação da granulometria



Fonte: Autores, 2022.

2.2 Experimentos com argamassa

Foram definidos três tipos diferentes de argamassas de reboco com base em experiências realizadas por Soares *et al.* (2020), Alves *et al.* (2021), Touahri *et al.* (2021), Morais *et al.* (2022) e Soares *et al.* (2024). A argamassa de Referência ("R") foi produzida com dosagem

padrão na proporção de 1:4 (cimento:areia). Para as demais argamassas, as proporções de 2% e 4% de areia na dosagem padrão foram substituídas pelas quantidades de massa do subproduto. Essas argamassas foram denominadas C2 e C4, respectivamente. Para todas as misturas produzidas foram utilizados cimento Portland SECIL CEM I 42.5, areia calibrada e fator água/cimento de 0,55.

Os processos de produção e testes das argamassas foram realizados de acordo com as normas técnicas da União Europeia (Quadro 1).

Quadro 1 - Principais padrões de referência da UE para argamassa

Padrão	Título	Ano
EN 1015-2	<i>Methods of test for mortar for masonry - Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars</i>	1998
EN 1015-3	<i>Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)</i>	1999
EN 1015-6	<i>Methods of test for mortar for masonry - Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar</i>	1998
EN 1015-11	<i>Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar</i>	2019

Fonte: Elaborada pelos Autores, 2022.

No estado fresco, foram verificados os resultados de cada argamassa quanto à massa volumétrica (na balança e em recipiente com capacidade de 140 cm³) e abatimento que foi avaliado por meio de mesa de consistência com altura de queda de 12,5 mm e paquímetro digital (6 pol. - Digimess-100.174BL). Os testes no estado endurecido foram realizados após 28 dias de cura.

Após o período de cura, foram realizados os seguintes testes:

- a) Massa volúmica;
- b) Resistência à tração por flexão;
- c) Resistência à compressão;
- d) Absorção de água capilar.

As massas das amostras foram verificadas em balança com precisão de 0,1 g. Foram realizados ensaios de resistência mecânica em prensa hidráulica - tração e compressão - Perta - Form Test.

No teste de absorção capilar, após secagem por 7 dias a 50°C em forno lcamo de 11 litros, as amostras dos testes anteriores foram imersas em lâmina de água com 1 cm de profundidade. Eles foram pesados em intervalos de 3, 6, 24, 48 e 72 horas. A porcentagem de absorção em relação à massa inicial foi calculada através da seguinte equação:

$$AA = \frac{(m_{sat} - m_s)}{m_s} \times 100$$

Legenda:

AA é a Absorção de Água (%);
 m_s é a massa da amostra seca em estufa (g);
 m_{sat} é a massa da amostra saturada em cada intervalo (g).

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização do subproduto

3.1.1 Distribuição e densidade do tamanho das partículas do subproduto

Quanto à distribuição granulométrica, avaliando uma amostra de aproximadamente 730 g do subproduto, um total de 457 g ficou retido nas malhas entre 0,250 mm e 0,50 mm. A Tabela 1 apresenta os resultados da análise da distribuição granulométrica.

Tabela 1 - Análise de Distribuição de Tamanho de Partículas Compostas

Malhas (mm)	Massa (g)	Correspondência (%)	Acumulado (%)
1,60	0	0	0
1	101,8	14,13	14,13
0,50	267,9	37,20	51,33
0,25	189,5	26,31	77,64
0,125	142,9	19,84	97,48

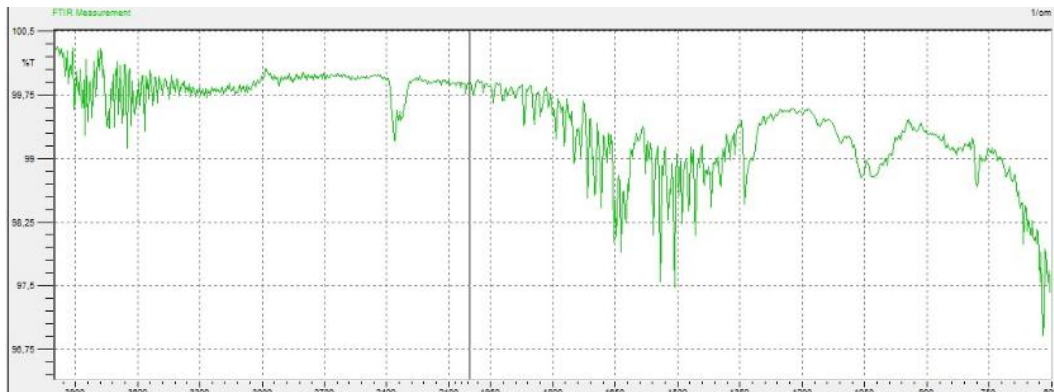
Fonte: Autores, 2022.

A porção com distribuição granulométrica entre 0,25 mm e 0,5 mm representou mais de 62% da amostra, apresentou densidade de 0,45 g/cm³ e foi selecionada para os experimentos de argamassa por ser a parte mais abundante do subproduto.

3.1.2 Espectroscopia

O subproduto é composto principalmente por celulose triturada (Brown *et. al.*, 2007), resíduo de cimento Portland (principalmente CaO e SiO₂) (Myers, 1984) e resíduo de NaOH, apresentando uma mistura de odores característicos desses componentes. Os resultados do ensaio de Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) mostraram frequências principalmente entre 1510 cm⁻¹ e 1540 cm⁻¹ (Fig.5), indicando características mais próximas dos grupos Nitro e Alcenos, que são compostos menos reativos (grupos funcionais NO₂ e C=C), de acordo com o esquema de interpretação de espectros para substâncias orgânicas na região do infravermelho (Donald *et. al.*, 2008).

Figure 5 – Resultados de espectroscopia



Fonte: Autores, 2023

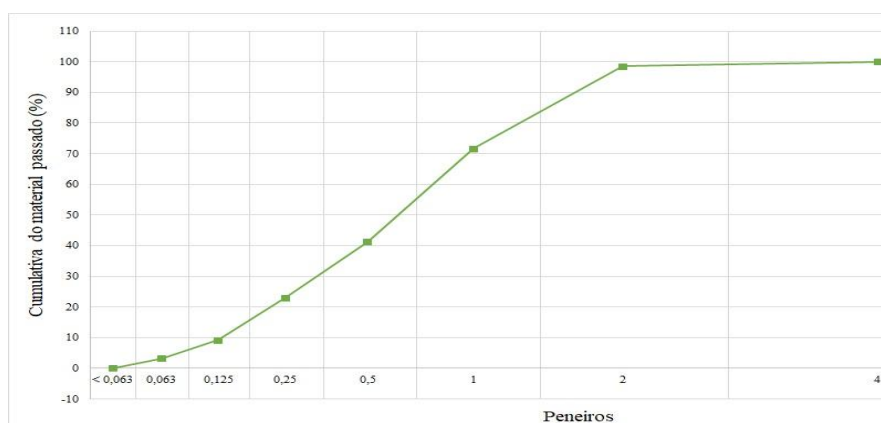
Isso significa que o subproduto, que possui composição heterogênea em escala macroscópica, também contém hidrocarbonetos, que possuem características próprias como composto químico. Os compostos presentes no subproduto podem ser responsáveis por potenciais efeitos na argamassa, tanto no estado fresco como no estado endurecido.

3.2. Argamassa

3.2.1. Características do Agregado (Areia)

A curva de distribuição granulométrica apresentou predominância entre 0,25 e 2 mm (Fig.6), e o peso específico (ou densidade aparente) foi calculado em 1467 kg/m³. A massa volumétrica das partículas saturadas e secas em estufa apresentou resultados de 2.593,37 kg/dm³ e 2.580,21 kg/dm³, respectivamente, permitindo o cálculo de uma taxa de absorção de 0,5%.

Figure 6 – Resultados de granulometria da areia



Fonte: Autores, 2022

Considerou-se que a areia utilizada apresentava granulometria e características físicas de acordo com os requisitos da NP EN 13139:2010 – Agregados para argamassa, garantindo o tipo de areia proposto no dimensionamento da mistura de argamassa.

3.2.2 Caracterização da Argamassa no Estado Fresco

O abatimento dos três tipos de argamassas apresentou comportamento semelhante no ensaio de mesa de consistência (Fig.7), sendo observada boa trabalhabilidade na moldagem dos corpos de prova. Os resultados de densidade e abatimento são apresentados na Tabela 3.

Figure 7 - Ensaio de consistência C2



Fonte: Autores, 2022.

Tabela 2 - Resultados de densidade aparente e consistência

Tipo	Densidade (g/cm ³)	Consistência (mm)
R	2,23	180
C2	2,11	195
C4	1,95	214

Fonte: Autores, 2022.

Observou-se que as argamassas com o subproduto apresentaram menores massas volumétricas. A redução mais significativa foi na argamassa C4, que apresentou queda de 14% em relação à argamassa R. Os resultados seguem o parâmetro que a norma EN 1015-2 (1998) recomenda para argamassas frescas (massa volúmica aparente > 1200 kg/m³ ou 1,2 kg/m³).

Apenas as argamassas R e C2 cumpriram os requisitos de consistência segundo a norma EN 1015-3 (1999), que é 175mm +10mm. Porém, notou-se que a substituição parcial da areia pelo subproduto levou à fluidez progressiva de acordo com a proporção do subproduto. Isto pode ser justificado pelos compostos e quantidades de materiais finos presentes no subproduto (resíduos de cimento e NaOH).

3.2.3 Caracterização da Argamassa no Estado Endurecido

3.2.3.1 Massa volúmica

As argamassas com o subproduto mostraram-se mais leves em relação à argamassa de referência (Tabela 3) para os corpos de prova de 4x4x16cm.

Tabela 3 - Resultados de massa no estado endurecido

Tipo	Massa (g/cm ³)	Desvio Padrão
0	2,19	3,54
C2	2,10	4,10
C4	1,93	6,30

Fonte: Autores, 2022.

A redução de massa era um resultado esperado proporcional ao aumento do teor de subproduto, considerando que a areia substituída era mais densa. A redução média de massa em relação à argamassa padrão apresentou melhora variando de 4% (C2) a 12% (C4).

3.2.3.2 Resistência à tração na flexão e resistência à compressão

Nos resultados da avaliação da resistência à flexão, obtidos através de ensaios mecânicos, observou-se que as amostras C2 e C4 apresentaram redução média de 10% e 21%, respectivamente, em relação à argamassa de Referência (R), e os desvios padrão não foram considerados significativo (Tabela 4).

Tabela 5 - Resultados dos testes de resistência à tração por flexão

Tipo	Média (MPa)	Desvio Padrão
R	2,25	0,04
C2	2,02	0,06
C4	1,77	0,08

Fonte: Autores, 2023.

O tipo de cimento aumentou a resistência à compressão da argamassa R; entretanto, nas amostras que utilizaram o subproduto, as resistências diminuíram significativamente. Observou-se que quanto maior o teor do subproduto menor a resistência à compressão. Comparando com R, as amostras C2 e C4 apresentaram redução média na resistência à compressão de 77% e 78%, respectivamente (Tabela 5).

Tabela 5 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão

Tipo	Média (MPa)	Desvio Padrão
R	24,04	2,46
C2	6,44	1,49
C4	4,89	0,20

Fonte: Autores, 2023.

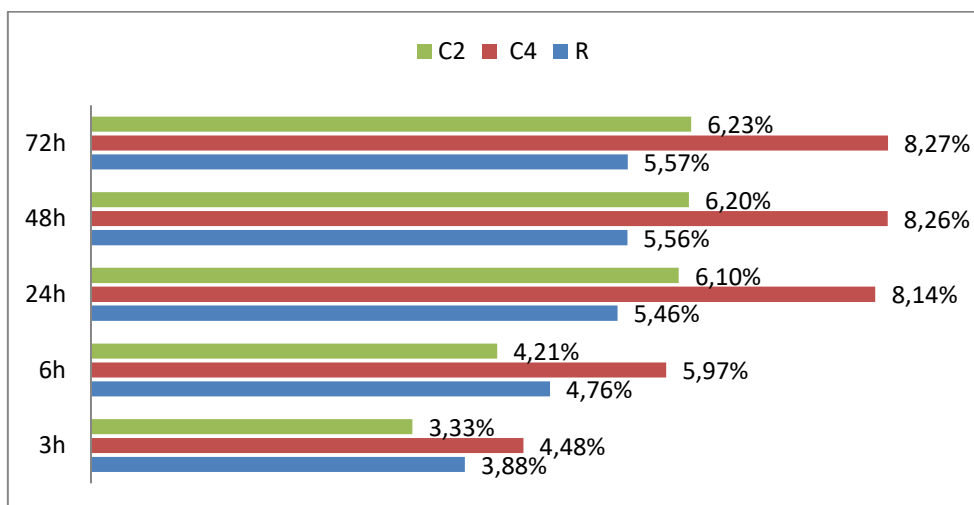
Para argamassas contendo subproduto, a resistência à compressão apresentou resultados mais díspares em relação ao ensaio de resistência à tração. Sugere-se uma análise entre as características do subproduto e o tipo de cimento Portland utilizado, que foi SECIL CEM I 42.5. No entanto, cumpriram o mínimo exigido pela norma EN 998-1:2013 Argamassas de Reboco e Reboco, que exige um mínimo de 0,4 MPa.

Quanto a incerteza das verificações, os Desvios Padrões calculados nas Tabelas 3, 4 e 5 não foram considerados significativos dentro do contexto verificado.

3.2.3.3 Teste de Absorção Capilar

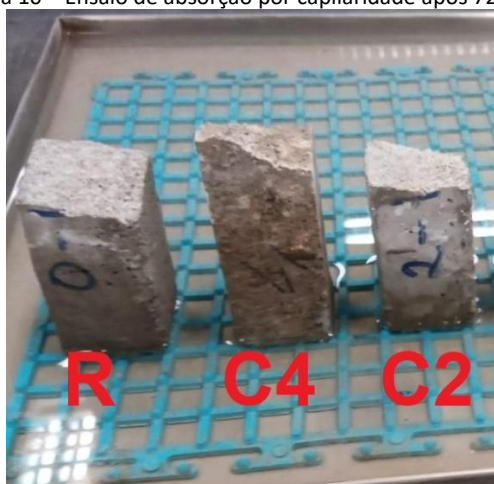
Inicialmente, nas primeiras 3 horas, a argamassa C2 apresentou o melhor resultado de taxa de absorção por capilaridade. Por fim, os resultados dos ensaios demonstraram que a argamassa de Referência (R) apresentou melhor desempenho, com 5,57% às 72 horas. A amostra C2 obteve resultado mais próximo da argamassa R, atingindo 6,23%, enquanto a amostra C4 apresentou resultado de 8,27% (Fig.9 e 10). Isso quer dizer que se confirma maior absorção por conta dos vazios ocupados pela celulose do subproduto.

Figura 9 - Gráfico representação do teste de absorção do amostras



Fonte: Autores, 2023

Figura 10 – Ensaio de absorção por capilaridade após 72 horas



Fonte: Autores, 2023

4 DISCUSSÕES

Foi apresentado um método de reaproveitamento de sacos de papel kraft contaminados com cimento Portland, demonstrando sua substituição parcial na proporção de areia na

argamassa. O subproduto obtido caracterizou-se por apresentar tamanho de partícula entre 0,25 e 0,50 mm e densidade de 0,45 g/cm³. No teste de espectroscopia observou-se que o material apresentou a presença dos grupos Nitro e Alcenos, além de ser composto por resíduo de NaOH, cimento Portland e celulose. Nesta fase do estudo considerou-se que o subproduto apresentou características de impureza que resultaram na redução da resistência à compressão da argamassa, uma vez que a areia foi considerada adequada segundo a NP EN 13139:2010. Trabalhos futuros poderão caracterizar o subproduto com mais precisão e avaliar os seus potenciais efeitos na argamassa, bem como os custos desta inovação.

Em relação à resistência à tração por flexão, todos os três tipos de argamassa demonstraram equilíbrio. Houve redução significativa da resistência à compressão em relação à argamassa R. Observou-se que quanto maior o teor do subproduto menor a resistência à compressão. Sugere-se mais testes com menor teor do subproduto para coletar mais dados.

Concordou-se que o tipo ideal de argamassa deste estudo foi C2, pois apresentou melhorias na maioria dos testes em comparação com as outras duas argamassas, e a resistência média à compressão de 6,44 MPa poderia ser um requisito válido porque o máximo exigido para o revestimento é 6 MPa (EN 998-1:2013). Além disso, esse tipo de argamassa consumiu parte dos sacos contaminados com cimento Portland e teve potencial para reduzir o consumo de agregados naturais. No ensaio de absorção por capilaridade observou-se maior absorção nas argamassas C2 e C4, o que pode ser justificado pela celulose presente e pode ser analisado com mais critérios em estudos futuros.

Em estudos futuros, a influência do teor de NaOH residual no subproduto e seu impacto na alcalinidade da argamassa também podem ser avaliados. Em relação ao subproduto (Fig. 11), criou-se uma expectativa para a evolução de um possível componente derivado de embalagens contaminadas com cimento, que esteja próximo de uma validação efetiva para uso em argamassas. Ainda pode ser estudado para aplicações em outros materiais como aglomerante álcali-ativado (devido ao resíduo líquido da solução de NaOH) e substituindo o cimento por um aglomerante mais sustentável, assim como o uso do subproduto em concreto, preenchimento de vazios e placas de cimento.

Figure 11 - Subproduto estabelecido



Fonte: Autores, 2023

Se cada processo que consome areia conseguisse economizar pelo menos os 2% considerados ótimos neste estudo, o consumo anual indicado pelo relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, 2019) poderia ver uma redução de cerca de 1 bilhão de toneladas de areia por ano. Isso representaria um volume de mais de 680 milhões de metros cúbicos do tipo de areia utilizado neste estudo. A proposta também apresenta tecnologia que pode contribuir para planos de reaproveitamento de resíduos sólidos, como o Acordo de Paris (COM, 2019). Finalmente, o método pode minimizar as emissões de gases causadas pelo descarte de sacos de papel contaminados com cimento, cada um emitindo cerca de 0,022 g de CO₂ em seu ciclo de vida (Ma *et. al.*, 2019).

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento desta pesquisa possibilitou a análise e adaptação do papel kraft contaminado e proveniente de sacos de cimento para produção de argamassa, realizando diversos ensaios técnicos. Os resultados foram analisados e foram observadas viabilidades quanto ao reaproveitamento de papel em argamassa e redução do consumo de areia. Resíduos de cimento e tempo de decomposição são questões ambientais para este trabalho, mas podem ser uma solução técnica e econômica para argamassas com resistência à compressão limitada. A metodologia deste estudo poderá ser refinada nos próximos ciclos de pesquisa.

Agradecimentos

Pelo apoio técnico e recursos disponibilizados, gostaríamos de agradecer ao CERIS e CERENA, que são unidades de investigação do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa – www.ist.pt), à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - www.capes.gov.br), ao IFAL (Instituto Federal de Alagoas - www.ifal.edu.br) e a UFBA (Universidade Federal da Bahia – www.ufba.br).

Referências

ALVES, LS. Estudo da interferência da adição de fibras kraft em argamassas. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, 7, 26259-26272, 2021.

BROWN, C. Jr., MALCOLM, R.; ALBERSHEIM, D T. Celulose: Biologia Molecular e Estrutural. Springer, 2007.

COM/2019/640final, Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões - Pacto Ecológico Europeu. Comissão Europeia (2019).

DONALD, L. P.; GARY, M.; LAMPMAN, G.; JAMES, A. V. **Introdução à espectroscopia**. Cengage Learning, 5ª edição, 2014.

EN 1015-2:1998 - Test methods for masonry mortars - Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars, Brussels: CEN (1998).

EN 1015-3:1999 - Test methods for masonry mortar - Part 3: Determination of the consistency of fresh mortar (by flow table), Brussels: CEN (1999).

EN 1015-6:1998 - Test methods for masonry mortar - Part 6: Determination of the apparent density of fresh mortar, Brussels: CEN (1998).

EN 1015-11:2019 - Test methods for masonry mortar - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar, Brussels: CEN (1999).

MA X.; LI C.; LEE B Carbon emissions from cement packaging in China: Life Cycle Assessment. **Sustainability**, 11(20), 5554, 2019.

MORAIS, C.D.N.; CRUZ, W.M.; MORAIS, M.V.A.; LOUZADA, P.R.; MENDES, P.R.L. Reforço de argamassas com fibras de papel kraft reaproveitamento de embalagens de cimento. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, 8(3), 21566–21582, 2022.

MYERS, C. F. Cimento Portland: Composição, Produção e Propriedades. Pérgamo, 1984.

NP EN 933-1:2014. Ensaios das geometrias geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração . Instituto Português da Qualidade , 2014.

NP EN 13139. Agregados para argamassas . Instituto Português da Qualidade , 2010.

PNUMA - ONU. A ONU alerta que são extraídas entre 40 e 50 bilhões de toneladas de areia por ano. On line em: <https://news.un.org/pt/story/2019/05/1671251>. Acesso: 25 de julho de 2023.

SNIC. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. RELATÓRIO ANUAL, 2022.

SOARES, R.C.; FIALHO, R.L.; GONÇALVES, J.P.; SOUSA, A.N. Low carbon in the reuse of portland cement bags: a ten-year review. **Environmental Engineering and Management Journal**, v. 23, n. 4, p. 891-901, 2024.

SOARES, R.C.; FIALHO, R.L.; BARBOSA, A.S.; GONÇALVES, J.P. Portland cement packaging reuse in the production of pre-castbeams for non-structural masonry. **The Journal of Solid Waste Technology and Management**, v. 46, n. 4, p. 563-571, 2020.

TOUAHRI, A.; BRANCI, T.; YAHIA, A.; EZZIANE, K. Effect of recycled polypropylene fiber on high strength concrete and normal strength concrete properties. **Advances in Materials Research**, v. 10, n. 4, p. 267-281, 2021.