

UTILIZAÇÃO DO PÓ DE VIDRO COMO SUBSTITUTO PARCIAL DO CIMENTO: UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL A CERCA DA RESISTÊNCIA MECÂNICA

RAPHAELE MALHEIRO^{1*}, BRUNA MOREIRA¹, KLAUSS PONTES¹, CARLOS JESUS¹, AIRES CAMÕES¹

1: CTAC - Centro de Território, Ambiente e Construção, Universidade do Minho
Campus de Azurém, 4800-058, Guimarães, Portugal
raphamalheiro@gmail.com, a83078@alunos.uminho.pt, pg42612@alunos.uminho.pt, cjesus@civil.uminho.pt,
aires@civil.uminho.pt

Resumo A redução do consumo do cimento através da sua substituição parcial por resíduos industriais com características pozolânicas tem sido uma estratégia com elevada aceitação. O potencial de utilização do pó de vidro (PV) como substituto parcial do cimento tem sido investigado. Sendo um material com elevado teor de sílica, o vidro moído, numa finura adequada, pode apresentar uma atividade pozolânica significativa. Neste sentido, desenvolveu-se um trabalho experimental considerando o impacto de diferentes finuras do PV e diferentes percentagens de substituição, na resistência mecânica de argamassas. Foram moldados provetes de referência e com PV. A relação água/ligante das argamassas foi mantida em 0,5 e foram consideradas 4 percentagens de substituição: 5, 15, 25 e 35%. Para cada percentagem, foram moldados provetes com 2 diferentes finuras de PV. Os provetes foram curados durante 7 e 28 dias e, em seguida, foram ensaiados à compressão. Os resultados obtidos sugerem um desempenho mecânico satisfatório das argamassas com PV (15 e 25%) face às de referência. Para as condições estudadas, quanto mais fino o PV, mais evidente é este comportamento. O que sugere que o PV tem potencial para ser utilizado na produção de betão como substituto parcial do cimento, proporcionando ganhos económicos e ambientais.

Palavras-chave: Pó de vidro, Finura, Argamassa, Resistência mecânica, Economia circular.

Abstract Reducing cement consumption through its partial replacement by industrial waste with pozzolanic characteristics has been a strategy with high acceptance. The use of glass powder (GP) as a partial replacement for cement has been investigated. Since the glass has a high silica content, ground glass, at an appropriate fineness, can have significant pozzolanic activity. Experimental work was developed considering the impact of different GP fineness and different replacement percentages on the mechanical strength of mortars. Reference and GP specimens were molded. The water/binder ratio of the mortars was kept at 0.5 and 4 replacement percentages were considered: 5, 15, 25 and 35%. For each percentage, specimens were molded with 2 different GP fineness. The specimens were cured for 7 and 28 days and then were tested in compression. The results show a satisfactory mechanical performance of mortars with GP (15 and 25%) compared to the reference. For the conditions studied, the thinner the GP, the more evident this behaviour is. Thus, the GP has the potential to be used in the production of cementitious materials as a partial substitute for cement, providing economic and environmental gains.

Keywords: Glass powder, Fineness, Mortar, Mechanical strength, Circular economy.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial tem vindo a impulsionar o crescimento das cidades. De acordo com as Nações Unidas, 55% da população do globo vive, hoje, em áreas urbanas [1]. Este fato tem gerado pressão sem precedentes sobre os recursos disponíveis para a realização das atividades humanas,

desde suprimento de bens essenciais, como água e energia, até a própria forma de utilização do meio urbano. No entanto, o aumento destas atividades acentua e acelera o aumento dos problemas ambientais a nível global. A União Europeia (UE) tem desenvolvido e implementado um conjunto de políticas ambiciosas, tentando posicionar-se na liderança do movimento mundial de luta contra as alterações climáticas, com particular destaque para a definições de metas no sentido da neutralidade carbónica até 2050. O objetivo é que a economia atinja zero emissões líquidas de gases de efeito estufa até esta data [2]. O setor da construção assume um papel fundamental neste contexto tendo, por isso, a responsabilidade de cada vez mais, reinventar a sua atividade por forma a desenvolver e oferecer produtos e serviços ambientalmente sustentáveis, que promovam a redução das alterações climáticas, ao mesmo tempo que se traduzam em soluções economicamente viáveis, passíveis de aplicar em países desenvolvidos, mas, também em geografias em desenvolvimento.

A indústria do cimento, por si só, configura-se como o terceiro maior consumidor industrial de energia e o segundo maior emissor industrial de CO₂ no mundo [3]. Sendo o betão o material não natural mais consumido no mundo [4], é fundamental definir estratégias que promovam uma utilização do cimento que seja ambientalmente mais favorável. Um dos caminhos estudados tem sido a redução do seu consumo em betões e argamassas, através da sua substituição parcial por resíduos ou subprodutos industriais [5,6,7]. Neste sentido, resíduos industriais de vidro e o vidro encontrado nos contentores de reciclagem têm sido objeto de estudos científicos [8,9,10].

Os danos ambientais produzidos pelas alterações climáticas tem deixado o problema, cada vez mais, em evidência. Assim, as preocupações ambientais têm assumido um papel preponderante na sociedade moderna, conduzindo a uma maior consciência no que diz respeito, por exemplo, a reciclagem do vidro doméstico. Em Portugal, a reciclagem de vidro tem aumentado nos últimos anos, tendo atingido um valor de 193 798 toneladas de vidro recicladas no ano de 2020 [11], o que ainda representa menos de 60% da quantidade total de vidro proveniente de embalagens consumido no país [12]. Tendo em conta a quantidade de cimento utilizada, é importante que o material que se propõe a substituir, parcialmente, o cimento, possua quantidade suficiente para uma possível produção e utilização em larga escala. Neste sentido, a quantidade de vidro disponível para reciclagem apresenta-se como uma vantagem para sua utilização.

Além da elevada quantidade de vidro potencialmente disponível para reciclagem, a elevada quantidade de sílica encontrada na composição do vidro é um dos impulsionadores dos estudos envolvendo pó de vidro como substituto parcial do cimento. Além disso, parece existir uma tendência para melhores resultados no que diz respeito à resistência mecânica para pós de vidro com tamanho de partículas mais finos. A pesquisa levada a cabo por Aliabdo [13], substituiu 20% de cimento por pó de vidro para produzir argamassas. Foram utilizados pó de vidro com diferentes dimensões de partículas, inferiores a 75 µm e inferiores a 63 µm. Os resultados indicam que 20% de substituição de cimento por pó de vidro com tamanho de partícula inferior a 63 µm, confere uma resistência à compressão comparável com a argamassa de referência (sem pó de vidro) após 90 dias de cura. No caso do pó de vidro com partículas inferiores a 75 µm, apenas a substituição entre 10% e 15% de cimento por pó de vidro satisfazem as mesmas condições. Parghi et al. [14], estudaram argamassas com partículas inferiores a 75 µm fazendo uso de diferentes percentagens de substituição de cimento por pó de vidro (10%, 15%, 20% e 25%). As argamassas foram testadas à compressão aos 7, 28 e 90 dias de idade, levando os autores a concluir que a resistência à compressão das argamassas evolui de forma crescente à medida que a substituição do cimento aumenta, em comparação com a argamassa de referência. De acordo com os autores, a maior resistência à compressão pode ser atribuída à maior dissolução de sílica e alumínio que levou a uma boa reação pozolânica.

Apesar de uma aparente tendência para possibilidade de substituição do cimento por pó de vidro, sem perdas significativas na resistência mecânica, há ainda aspetos que precisam ser melhor explorados. Este trabalho pretende contribuir para o estudo da utilização do pó de vidro como substituto parcial do

cimento considerando o impacto de diferentes finuras do pó de vidro e diferentes percentagens de substituição, na resistência mecânica de argamassas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Obtenção do pó de vidro

Garrafas de vidro na cor âmbar disponibilizadas por parceiros locais, como restaurantes e empresas de vinho, foram utilizadas para a obtenção do pó de vidro utilizado neste estudo. A transformação de garrafas de vidro em pó de vidro com finura compatível com a sua utilização como material pozolânico na composição de argamassas foi realizada através do seguinte processo:

- Pré-tratamento: seleção e limpeza das garrafas, removendo os adesivos e lavando-as
- Secagem das garrafas selecionadas
- Moagem das garrafas
- Segregação do material moído usando a peneira 75 μm para separar a fração utilizável (passado na peneira) do resíduo (retido na peneira)

Sabe-se que expansão induzida pela reação alcali-silica (RAS) é fortemente influenciada pelo tamanho das partículas reativas [15, 16]. Considerando o elevado teor de sílica contido na composição do vidro [15], a fim de evitar este tipo de reação, o vidro foi moído até a obtenção de um pó fino, com uma distribuição granulométrica o mais próxima possível da distribuição granulométrica do cimento utilizado.

Com o objetivo de reduzir o consumo de energia durante a obtenção do pó de vidro, foram estudados dois tipos de pó obtidos através de dois processos de moagem. Neste sentido, a etapa da moagem (c) foi realizada em duas fases. Na primeira fase utilizou-se o equipamento Los Angeles (Figura 1 (a)), conforme descrito na NP EN 1097-2 [17], com 20 esferas de ferro fundido (massa igual a 8,74 kg) durante dez horas. O resíduo passado pela peneira de 75 μm foi coletado e denominado pó de vidro 1 (PV1). Durante a segunda fase todo o material fornecido pelo Los Angeles (após dez horas) foi colocado em um moinho de bolas (Figuras 1 (b) e (c)) com 10 bolas de cerâmica (massa igual a 0,110 kg) durante 30 minutos. O resíduo passado pela peneira de 75 μm foi coletado e denominado pó de vidro 2 (PV2).

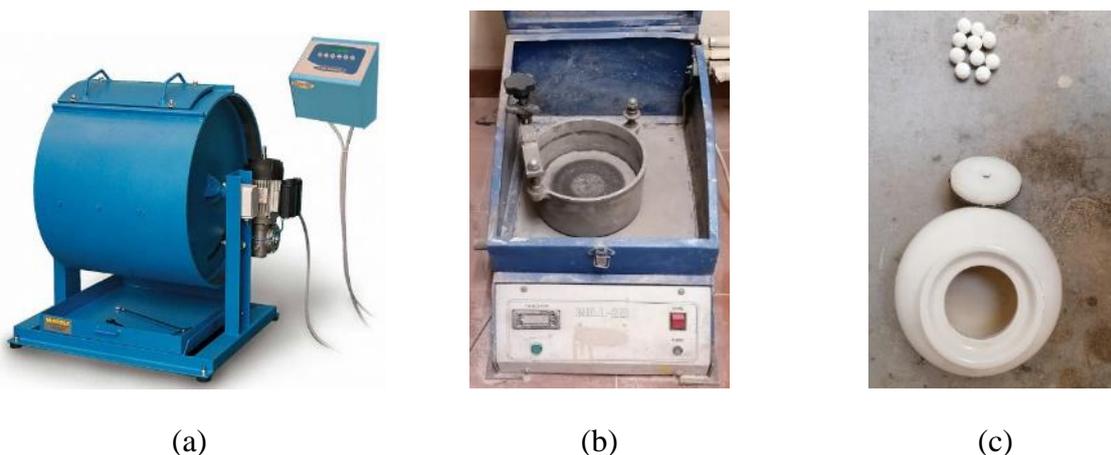


Figura 1. Equipamentos de moagem utilizados durante a pesquisa.

De acordo com [16, 18], o vidro moído com partículas inferiores a 75 μm pode suprimir a RAS devido às suas propriedades pozolânicas, tendo sido esta a abertura da peneira utilizada na etapa (d) do processo para obtenção do pó de vidro.

2.2. Argamassas

Considerando a morosidade do processo de obtenção do pó de vidro, optou-se por otimizar as dimensões dos provetes de maneira a reduzir o volume de argamassa produzido. Assim, foram moldados provetes cúbicos de argamassa com aresta de 20 mm. Para tal, além do pó de vidro, utilizou-se o cimento Portland CEM I 42,5, sendo possível observar as respectivas composições químicas na Tabela 1. Utilizou-se também uma areia natural síliciosa com diâmetro máximo de 500 μm e densidade de 2620 kg/m^3 . A relação água/ligante foi fixada em 0,50 para todas as argamassas estudadas.

Tabela 1. Composição química do pó de vidro e do cimento.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Mg O	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	RI	PF
Pó de vidro	66,0	2,0	5,6	13,6	-	-	0,8	12,0	-	-
Cimento	20,74	5,12	3,16	61,28	2,06	3,24	0,85	0,77	3,38	2,97

Após o preenchimento dos moldes com as misturas, estes foram cobertos com filme de plástico e armazenados em câmara húmida ($18 \pm 2^\circ\text{C}$, $93 \pm 2\%$ HR) durante 48 horas. Em seguida, os provetes de argamassa foram retirados dos moldes e colocados em um tanque com água da torneira saturada com cal. Após os diferentes períodos de cura, 7 e 28 dias, o ensaio de resistência à compressão foi realizado de acordo com a NP EN 196-1 [19]. A composição das argamassas estudadas pode ser vista na Tabela 2.

Tabela 2. Identificação e composição das argamassas.

ID	P V (%))	PV (kg/m^3)	Cimento (kg/m^3)	Areia (kg/m^3)	Água (kg/m^3)
Referência	0	-	719,3	1078,6	359,3
PV1-5	5	28,7	683,3	1078,6	359,3
PV1-15	15	86,2	611,4	1078,6	359,3
PV1-25	25	143,7	539,5	1078,6	359,3
PV2-25	25	146,6	539,5	1078,6	359,3
PV1-35	35	201,2	467,5	1078,6	359,3

Para determinar a massa de PV indicada na Tabela 2 a utilizar na amassadura respetiva, primeiro calculou-se o volume de cimento a substituir por PV ($V_{\Delta C}$) e, depois, foi determinada a massa de PV correspondente, que ocupava esse mesmo volume $V_{\Delta C}$.

2.3. Caracterização dos ligantes

Admitindo a importância da finura do material para o objetivo do estudo, a superfície específica (NP EN

196-6 [20]) e a massa volúmica (EN 1097-6 [21]) do cimento e do pó de vidro foram determinadas de acordo com as normas vigentes.

Devido ao reduzido tamanho das partículas, a distribuição granulométrica foi determinada a laser com recurso ao equipamento MasterSizer. Este equipamento mede o tamanho das partículas e a sua distribuição por tamanhos através de uma difração a laser, após a colocação de determinada quantidade de amostra na água destilada presente no equipamento.

2.4. Resistência mecânica das argamassas

Passado o período de cura dos provetes de argamassa, 7 e 28 dias, realizou-se o ensaio de resistência à compressão. Para cada tipo de argamassa em estudo foram ensaiados sete provetes. O ensaio foi realizado com base na NP EN 196-1 [19] utilizando uma prensa hidráulica Loyd disponível no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Minho.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS LIGANTES

Com o objetivo de substituir, parcialmente, o cimento por pó de vidro, as amostras de vidro foram moídas a fim de alcançar características físicas o mais próximas possível das características do cimento. As curvas granulométricas resultantes dos dois tipos de pó de vidro estudados, PV1 e PV2, bem como a curva do cimento, são apresentadas na Figura 2 e seus respetivos diâmetros característicos são apresentados na Tabela 3. Outras características físicas relevantes para o estudo em causa são apresentadas na Tabela 4.

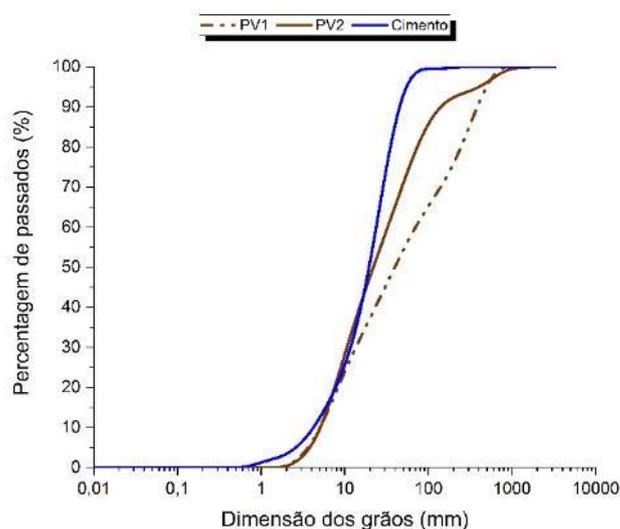


Figura 2. Curva granulométrica dos ligantes em estudo.

Tabela 3. Diâmetros característicos dos materiais em estudo.

ID	D10 (μm)	D50 (μm)	D90 (μm)
PV1	5,3	40,0	390
PV2	5,3	11,3	140
Cimento	4,1	10,9	45

Tabela 4. Densidade e superfície específica (Blaine) dos materiais em estudo.

ID	Densidade (kg/m^3)	Superfície específica (m^2/kg)
PV1	2510	398,4
PV2	2560	448,4
Cimento	3140	431,2

Observando a Figura 2, pode-se dizer que o processo de moagem do vidro, que utiliza equipamentos de uso corrente na maioria dos laboratórios de materiais de construção, mostra-se eficaz a medida que produz pó de vidro com uma granulometria semelhante à granulometria do cimento. Os diâmetros característicos apresentados na Tabela 3 mostram valores de D10 e D50 na mesma ordem de grandeza para o cimento e o pó de vidro, independentemente do tipo. É na zona relativa aos grãos de maior dimensão, representada pelo D90, que se encontra a maior diferença granulométrica entre os três materiais apresentados. O PV1, claramente, apresenta a maior quantidade de grãos de maior dimensão entre os materiais estudados. Este fato está relacionado com o processo de moagem mais simplificado (sem recurso ao moinho de bolas) que foi utilizado para sua obtenção.

Os valores de densidade e superfície específica apresentados, tanto para o cimento quanto para o pó de vidro, vão ao encontro da maioria dos resultados encontrados na literatura [22,23]. Como esperado, o cimento apresenta densidade superior a densidade do pó de vidro, independentemente do tipo. No que diz respeito à superfície específica, os materiais mais finos (de acordo com as curvas granulométricas), o cimento e o PV2, apresentam valores na mesma ordem de grandeza e ambos superiores ao valor apresentado para PV1.

3.2. RESISTÊNCIA MECÂNICA DAS ARGAMASSAS

No que diz respeito à resistência à compressão, as Figuras 3 e 4 apresentam os resultados alcançados para os provetes de referência (sem pó de vidro) e para os provetes com substituição de cimento por 5, 15, 25 e 35% de pó de vidro (PV1), para 7 e 28 dias, respectivamente. No caso dos 25% de substituição, para posterior avaliação da atividade pozolânica, também são apresentados os resultados para o PV2. As figuras apresentam valores médios relativos ao ensaio de 7 provetes e o respectivo desvio padrão.

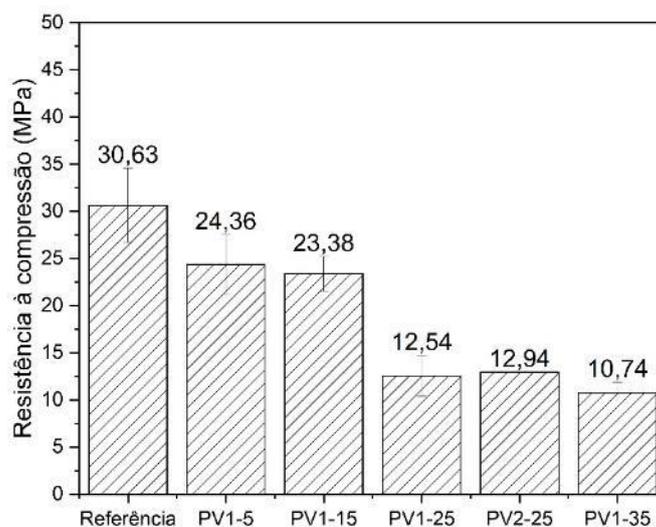


Figura 3. Resistência à compressão dos provetes de argamassa ensaiados aos 7 dias de idade.

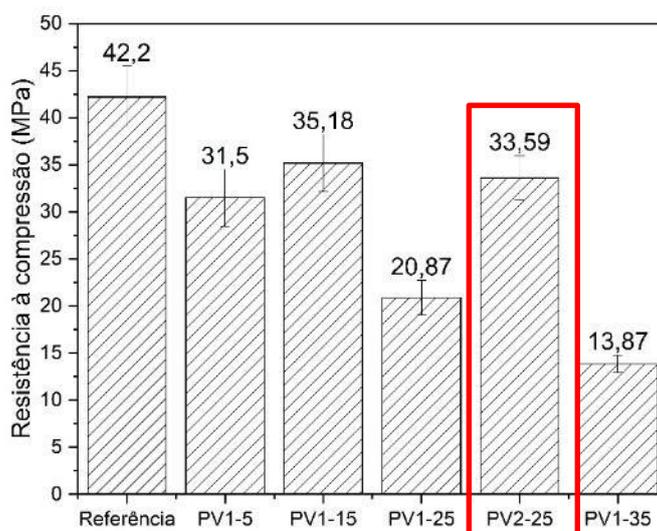


Figura 4. Resistência à compressão dos provetes de argamassa ensaiados aos 28 dias.

A Figura 3 mostra que aos 7 dias, as resistências à compressão das argamassas com pó de vidro são inferiores à resistência da argamassa de referência (sem pó de vidro), para todas as percentagens de substituição. Observa-se, também, uma tendência para a redução da resistência à compressão das argamassas com o aumento da percentagem de substituição. Esta queda é mais acentuada para os maiores teores de substituição (25 e 35%), independentemente do tipo de pó de vidro.

Aos 28 dias, ao abrigo das reações de hidratação e do desenvolvimento das reações pozolânicas, há um aumento nos valores de resistência à compressão tanto para a argamassa de referência quanto para as argamassas com pó de vidro. Para a argamassa de referência o aumento é próximo aos 40%, enquanto para as argamassas com pó de vidro este aumento varia entre 2 e 20%, para PV1-35 e PV2-25, respetivamente. Destaca-se o aumento de 20% verificado para a argamassa PV2-25 (pó de vidro

com finura igual a 448,4 m²/kg) que contrasta com o aumento de 9% verificado para a argamassa PV1-25 (pó de vidro com finura igual a 398,4 m²/kg), ambas com a mesma percentagem de substituição, porém com diferentes finuras de pó de vidro. Este comportamento, associado às semelhanças entre as características físicas do cimento e do PV2, discutidas no item 3.1, apontam para uma tendência de atividade pozolânica satisfatória para o pó de vidro obtido através da moagem no Los Angeles e no moinho de bolas (PV2). Além disso, estes resultados vão ao encontro daquele apresentado por Aliabdo [13], que observou maiores resistências mecânicas para as argamassas compostas por pó de vidro com maior finura.

Assim como para os 7 dias, a Figura 4 mostra que aos 28 dias, as resistências à compressão das argamassas com pó de vidro são inferiores à resistência da argamassa de referência, para todas as percentagens de substituição estudadas. Este comportamento vai de encontro ao comportamento verificado por Parghi et al. [14], onde foi observado um aumento na resistência à compressão, quando comparada a argamassa de referência, para todas as argamassas com substituição de cimento por pó de vidro para diferentes percentagens de substituição (5, 10, 15, 20 e 25%). Este comportamento pode estar relacionado com a elevada quantidade de alumina presente no vidro estudado por Parghi et al. [14], 8%, quando comparado com o cimento, cerca de 5% [24], e com outros tipos de vidro, cerca de 2% [25,13].

Dentro dos valores apresentados, as argamassas PV1-15 e PV2-25 destacam-se por apresentarem menor perda na resistência mecânica quando comparadas à argamassa de referência. No caso da argamassa PV1-15 a redução é de 19,95%, enquanto para a argamassa PV2-25 este valor é de 25,63%. Importa destacar que 25% de substituição de cimento por pó de vidro, quando comparado a uma substituição de 15%, tem maior impacto no que diz respeito a redução de emissões de CO₂ e consumo de energia (através da redução do consumo de cimento e, conseqüentemente, na sua produção), além de ter um impacto mais significativo no que diz respeito a economia circular (através do aumento da utilização de vidro).

3.3. ATIVIDADE POZOLÂNICA DO PÓ DE VIDRO

Tendo em conta os resultados de resistência à compressão aos 28 dias apresentados para os provetes com substituição de 25% de cimento por pó de vidro, foram calculados os índices de atividade pozolânica para PV1 e PV2, tendo como base a NP 450-1 [26]. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Índice de atividade do pó de vidro em estudo.

ID	IA (%) 28 dias
PV1	50,7
PV2	74,3

A NP 450-1 [26] estabelece que o índice de atividade aos 28 dias não deve ser inferior aos 75%. Estabelece, ainda, um limite inferior de 70%. Nestas condições, pode-se dizer que o pó de vidro resultante do processo de moagem mais complexo (utilizando o Los Angeles e o moinho de bolas), PV2, possui índice de atividade compatível com o recomendado pela norma em causa. O PV1, por outro lado, apresenta um resultado bastante aquém dos 75% recomendados.

Considerando a importância dos resultados de resistência à compressão aos 90 dias para a definição do índice de atividade pozolânica dos materiais estudados, pode-se dizer que os resultados apresentados até agora demonstram uma tendência de comportamento que se espera que se mantenha para os 90 dias.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos sugerem que, para as condições estudadas, a utilização do pó de vidro, proveniente de garrafas de vidro na cor âmbar, pode apresentar-se como alternativa para substituição parcial do cimento na composição de argamassas comuns, promovendo a economia circular e proporcionando ganhos económicos e ambientais. De maneira mais específica, conclui-se que:

- A finura do pó de vidro utilizado na composição da argamassa deve ser vista com atenção pois exerce influência significativa na sua resistência à compressão. O pó de vidro com finura 448,4 m²/kg (PV2) mostra-se mais eficiente do que o pó de vidro com finura igual a 398,4 m²/kg (PV1).

- No que diz respeito à percentagem de substituição, há uma menor perda de resistência mecânica para argamassas com 15% de substituição de cimento por pó de vidro. Contudo, importa, também, avaliar o ganho ambiental proporcionado por substituições maiores que apresentem perdas de resistência mecânica semelhante.

- As substituições com percentagens superiores a 25% precisam ser melhor estudadas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado por Fundos Nacionais através da FCT/MCTES – Fundação para a Ciência e Tecnologia/Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior, no âmbito do CTAC – Centro de Território, Ambiente e Construção – UIDB/0407/2020 e UIDP/04047/2020, e no âmbito do projeto com a referência 2000.03197.PTDC, GlassCON.

REFERÊNCIAS

- [1] United Nations, <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>, acesso em 20/06/2022.
- [2] European Commission, 2050 long-term strategy (europa.eu), acesso em 20/06/2022.
- [3] International Energy Agency, <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/cement>, acesso em 20/06/2022.
- [4] Colin R. Gagg, 2014. “Cement and concrete as an engineering material: An historic appraisal and case study analysis”, *Engineering Failure Analysis*, 40, 114-140, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.02.004>
- [5] Raphaelae Malheiro, Aires Camõesa, Gibson Meirab, João Pinto, 2020. “Durability of Fly Ash Eco-friendly Cement Mortars in Severe Environment”, *Procedia Manufacturing*, 46, 122–130, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.03.019>
- [6] Zaidatul Syahida, Adnana Nur, Farhayu Sharifah, Maszura Syed, Mohsina Nor, Hasanah Abdul, Shukor Limb, 2022. “Review paper: Performance of rice husk ash as a material for partial cement replacement in concrete”, *Materials Today: Proceedings*, 48, 4, 842-848, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.400>
- [7] P. Sangeetha, M. Shanmugapriya, K. Saravanan, P. Prabhakaran, V. Shashankar, 2022, “Mechanical properties of concrete with seashell waste as partial replacement of cement and aggregate”, *Materials Today: Proceedings*, 61, 2, 320-326, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.501>
- [8] Akhil S. Raju, K. B. Anand, P. Rakesh, 2021, “Partial replacement of Ordinary Portland cement

- by LCD glass powder in concrete”, *Materials Today: Proceedings*, 46, 10, 5131-5137, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.661>
- [9] Roz-Ud-Din Nassar, Parviz Soroushian, Muhammad Sufyan-Ud-Din, 2021, “Long-term field performance of concrete produced with powder waste glass as partial replacement of cement”, *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00745, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00745>
- [10] P. G.M. Sadiqullslam, M. H. Rahman, Nayem Kazi, 2017, “Waste glass powder as partial replacement of cement for sustainable concrete practice”, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6, 1, 37-44, <https://doi.org/10.1016/j.ijjsbe.2016.10.005>
- [11] Reciclagem de Resíduos de Embalagens, <https://rea.apambiente.pt/content/reciclagem-de-res%C3%ADduos-de-embalagens?language=pt-pt>, acesso em 06/01/2022.
- [12] APA, Recycling rate of packaging waste by type of packaging, <https://rea.apambiente.pt/content/recycling-packaging-waste?language=en>, acesso em 06/01/2022.
- [13] Ali Aliabdo, A. E. Elmoaty, Abd & Aboshama, A.Y., 2016, “Utilization of waste glass powder in the production of cement and concrete”, *Construction and Building Materials*, 124, 866–877, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.016>
- [14] Anant Parghi, M. Shahria Alam, 2016, “Physical and mechanical properties of cementitious composites containing recycled glass powder (RGP) and styrene butadiene rubber (SBR)”, *Construction and Building Materials*, 104, 34–43, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.006>
- [15] M. Bignozzi, A. Sacconi, L. Barbieri, I. Lancellotti, 2015, “Glass waste as supplementary cementing materials: The effects of glass chemical composition”, *Cement and Concrete Composites*, 55, 45–52, <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.07.020>
- [16] Y. Jani, W. Hogland, W., 2014, “Waste glass in the production of cement and concrete - A review”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2, 3, 1767–1775, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.03.016>
- [17] NP EN 1097-2, 2002, Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados, Parte 2: métodos para a determinação da resistência à fragmentação, Lisboa: Instituto Português da Qualidade.
- [18] D. Serpa, A. Santos Silva, J. de Brito, J. Pontes, D. Soares, D., 2013, “ASR of mortars containing glass”, *Construction and Building Materials*, 47, 489–495, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.058>
- [19] NP EN 196-1, 2017, Métodos de ensaio de cimentos - Parte 1: determinação das resistências mecânicas, Lisboa: Instituto Português da Qualidade.
- [20] NP EN 196-6, 2019, Métodos de ensaio de cimentos - Parte 6: determinação da finura, Lisboa: Instituto Português da Qualidade.
- [21] NP EN 1097-6, 2004, Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados – Parte 6: determinação da massa volúmica e da absorção de água, Lisboa: Instituto Português da Qualidade.
- [22] Bashar Taha, Ghassan Nounu, 2008, “Using lithium nitrate and pozzolanic glass powder in

-
- concrete as ASR suppressors”, *Cement & Concrete Composites*, 30, 497–505, <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.08.010>
- [23] Ana Mafalda Matos, 2010, Estudo de argamassas com substituição parcial de cimento por resíduos de vidro moídos, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- [24] Raphaelle Malheiro, 2018, Durabilidade do betão à ação combinada da carbonatação e dos iões cloreto considerando a presença de cinzas volantes, Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.
- [25] A. Sacconi, M. Bignozzi, 2010, “ASR expansion behavior of recycled glass fine aggregates in concrete”, *Cement and Concrete Research*, 40, 4, 531–536, <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2009.09.003>
- [26] NP EN 450-1, 2006, cinzas volantes para betão - Parte 1: definição, especificações e critérios de conformidade, Lisboa: Instituto Português da Qualidade.

Salvador, Brasil

9 a 11 de novembro de 2022

4º CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS

Anais do Evento

ISBN: 978-65-00-55912-5



Editores

Paulo Roberto Lopes Lima

Cintia Maria Ariani Fontes

Geraldo José Belmonte dos Santos

Daniel Veras Ribeiro

.: FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de
Construção Sustentáveis (4. : 2022 : Salvador,
BA)
Anais do evento 4º Congresso Luso-Brasileiro de
Materiais de Construção Sustentáveis [livro
eletrônico] / editores Paulo Roberto Lopes Lima...
[et al.]. -- 1. ed. -- Feira de Santana, BA :
Ed. dos Autores, 2022.
PDF.

Vários autores.

Outros editores: Cintia Maria Ariani Fontes,
Geraldo José Belmonte dos Santos, Daniel Veras
Ribeiro.

Bibliografia.

ISBN 978-65-00-55912-5

1. Engenharia civil 2. Construção - Planejamento
e controle 3. Construção - Projetos 4. Inovação
tecnológica 5. Materiais de construção
6. Sustentabilidade I. Lima, Paulo Roberto Lopes.
II. Fontes, Cintia Maria Ariani. III. Santos,
Geraldo José Belmonte dos. IV. Ribeiro, Daniel
Veras.

22-134518

CDD-624

Índices para catálogo sistemático:

1. Construção civil : Engenharia 624

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129



Código de barras dos Anais