

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE VIDRO EM ARGAMASSAS: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO E AGREGADO MIÚDO

USE OF GLASS WASTE IN MORTARS: A SUSTAINABLE ALTERNATIVE WITH PARTIAL REPLACEMENT OF CEMENT AND FINE AGGREGATE

João Vitor Rodrigues do Vale¹

Pedro Alvim de Oliveira Rahme²

Joana Darc Silva Pinto³

Geraldo Tadeu Rezende Silveira³

Recebido: 04 de Setembro (2026) / Revisado: 19 de Setembro (2026) / Aceito: 22 de Setembro (2026).

RESUMO: Este estudo avalia a viabilidade do uso de resíduo de vidro como substituto parcial de materiais constituintes de argamassas, visando promover a sustentabilidade e reduzir o consumo de recursos naturais na construção civil. Foram produzidas três argamassas: uma de referência, uma com substituição de 25% do cimento por vidro finamente moído e outra com substituição de 50% do agregado miúdo por vidro triturado. O resíduo foi coletado em uma vidraçaria, moído e submetido à adequação granulométrica. Os corpos de prova foram moldados conforme procedimentos normativos e submetidos aos ensaios de resistência à compressão, absorção de água e índice de vazios. A argamassa de referência apresentou resistência à compressão de 20,7 MPa, absorção de água de 10,21% e índice de vazios de 20,60%. A argamassa com 50% de substituição do agregado miúdo apresentou 19,7 MPa, 9,95% e 20,34%, respectivamente. Já a argamassa com 25% de substituição do cimento atingiu 26,7 MPa, 9,35% e 19,46%, representando um aumento de 29,0% na resistência à compressão em relação à referência. O índice de desempenho com cimento Portland foi de 129%, indicando atividade pozzolânica. Os resultados demonstram o potencial do vidro moído como substituto parcial do cimento, contribuindo para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis na construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem de vidro; Descarbonização; Sustentabilidade; Pozzolanicidade; Construção Civil.

ABSTRACT: This study evaluates the feasibility of using glass waste as a partial substitute for mortar constituents, aiming to promote sustainability and reduce the consumption of natural resources in the construction industry. Three mortars were produced: a reference mixture, one with 25% cement replacement by finely ground glass, and another with 50% fine aggregate replacement by crushed glass. The glass waste was collected from a glasswork facility, ground, and subjected to particle-size adjustment. The specimens were molded according to standard procedures and tested for compressive strength, water absorption, and void index. The reference mortar achieved 20.7 MPa of compressive strength, 10.21% water absorption, and 20.60% void index. The mortar with 50% fine aggregate replacement presented 19.7 MPa, 9.95%, and 20.34%, respectively. The mortar with 25% cement replacement achieved 26.7 MPa, 9.35%, and 19.46%, representing a 29.0% increase in compressive strength compared to the reference mortar. The Portland cement performance index was 129%, indicating pozzolanic activity. The results demonstrate the potential of ground glass as a partial cement replacement, contributing to the development of more sustainable practices in the construction industry.

KEYWORDS: Glass Recycling; Decarbonization; Sustainability; Pozzolan Activity; Construction Industry.

¹Bacharel em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

²Aluno de graduação do curso de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

³Docente do Curso de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores que mais consome recursos naturais e gera impactos ambientais significativos, especialmente devido ao elevado consumo de cimento Portland e à extração de agregados naturais. A produção de cimento, em particular, está associada à emissão de grandes quantidades de dióxido de carbono (CO₂), contribuindo para o aumento dos gases de efeito estufa e intensificando as mudanças climáticas. Diante desse cenário, a busca por materiais alternativos e sustentáveis tem se tornado uma necessidade crescente, visando a reduzir os impactos ambientais sem comprometer o desempenho dos materiais empregados (NAGROCKIENĖ; BARKAUSKAS, 2021).

Paralelamente, o aumento da geração de resíduos sólidos urbanos, como o vidro descartado, tem se tornado um problema ambiental relevante, principalmente devido à baixa taxa de reciclagem e à longa durabilidade desse material no meio ambiente. O vidro é composto majoritariamente por sílica, o que possibilita seu reaproveitamento em compósitos cimentícios, seja como substituto parcial do cimento, quando moído finamente, seja como substituto do agregado miúdo, quando utilizado em granulometria adequada (WANG *et al.*, 2020).

Quando submetido a processos de moagem fina, o resíduo de vidro pode apresentar atividade pozolânica, reagindo com o hidróxido de cálcio proveniente da hidratação do cimento e formando compostos cimentícios adicionais, como o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), responsável pelo ganho de resistência mecânica. Esse comportamento tem sido relatado em estudos, que indicam a viabilidade da substituição parcial do cimento por pó de vidro como forma de reduzir o consumo de clínquer e, conseqüentemente, os impactos ambientais associados à sua produção (TAMANNA *et al.*, 2016; DU *et al.*, 2022).

Além disso, o vidro triturado pode ser empregado como substituto parcial do agregado miúdo em argamassas, contribuindo para a redução da extração de areia natural e para o reaproveitamento de resíduos sólidos. Entretanto, a substituição do agregado pode influenciar propriedades como trabalhabilidade, resistência mecânica e durabilidade, tornando necessária a investigação experimental para determinar proporções adequadas e garantir o desempenho satisfatório do material (CZAPIK *et al.*, 2022).

Estudos recentes têm demonstrado que o desempenho de argamassas contendo resíduo de vidro depende principalmente da granulometria do material e do teor de substituição adotado. Quando utilizado na forma de pó fino, o vidro pode atuar simultaneamente como material de preenchimento e como material cimentício suplementar, contribuindo para o refinamento da microestrutura e para o aumento da resistência mecânica. Entretanto, os resultados reportados

na literatura apresentam variações significativas em função das características do resíduo utilizado, dos procedimentos de moagem e das condições de cura.

Da mesma forma, a substituição parcial do agregado miúdo por vidro triturado tem apresentado resultados distintos entre os estudos disponíveis. Enquanto alguns autores relatam manutenção ou melhoria das propriedades mecânicas e físicas para determinados teores de substituição, outros observam reduções de resistência associadas às características superficiais das partículas de vidro e à interação entre o agregado e a matriz cimentícia. Essas divergências evidenciam a necessidade de novas investigações experimentais considerando diferentes condições de utilização do material.

Embora existam pesquisas sobre a utilização de resíduo de vidro em materiais cimentícios, a maior parte dos estudos avalia de forma isolada sua aplicação como substituto parcial do cimento ou do agregado miúdo. Além disso, a comparação direta entre os resultados disponíveis é dificultada pelas diferenças de dosagem, granulometria, procedimentos de beneficiamento e métodos de ensaio adotados. Dessa forma, ainda é necessária a realização de estudos que comparem, sob condições experimentais semelhantes, o desempenho do resíduo de vidro exercendo diferentes funções dentro da argamassa.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica da utilização do resíduo de vidro em argamassas, considerando duas abordagens distintas: a substituição de 25% do cimento por vidro finamente moído com potencial comportamento pozolânico e a segunda abordagem como substituição parcial de 50% do agregado miúdo por vidro moído. A análise comparativa entre as diferentes argamassas tem como objetivo avaliar os efeitos dessas substituições sobre suas propriedades, contribuindo para o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis na construção civil e para a valorização de resíduos sólidos.

2 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento experimental da pesquisa iniciou-se com a definição do traço de referência da argamassa, que serviu como base para a comparação com os traços modificados com adição de resíduo de vidro. O preparo das argamassas foi realizado conforme os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 5752:2014, garantindo a padronização das misturas e a reprodutibilidade dos resultados. A composição das argamassas utilizadas na pesquisa está apresentada na Tabela 1.

As nomenclaturas adotadas para as argamassas foram definidas de acordo com o tipo de substituição realizada. A argamassa de referência foi denominado AREF, representando a

argamassa convencional sem adição de resíduo de vidro. A argamassa AP25 representa a argamassa com substituição de 25% do cimento por pó de vidro com comportamento pozolânico, em que “A” indica argamassa, “P” refere-se à substituição com material pozolânico (pó de vidro) e “25” ao teor de substituição adotado. Já a argamassa AV50 corresponde à argamassa com substituição parcial de 50% da areia natural por resíduo de vidro, sendo “A” referente à argamassa, “V” ao vidro e “50” ao percentual de substituição. Essas nomenclaturas foram utilizadas para facilitar a identificação e a comparação entre as diferentes argamassas analisadas ao longo da pesquisa.

As substituições foram realizadas em massa, mantendo-se constante a relação água/aglomerante em aproximadamente 0,48 para todas as composições. No traço AP25, o teor de substituição correspondeu a 25% da massa de cimento Portland substituída por pó de vidro finamente moído, enquanto no traço AV50 a substituição correspondeu a 50% da massa do agregado miúdo natural substituída por resíduo de vidro beneficiado. Os teores adotados foram definidos com o objetivo de avaliar o comportamento do resíduo tanto como material cimentício suplementar quanto como substituto parcial do agregado miúdo.

Tabela 1 – Composição das argamassas

Argamassa	Traço (massa)	Consumo de materiais (g)				a/c
		Cimento	Areia	Vidro	Água	
AREF	1:3	624	1872	0	300	0,48
AP25	1:3	468	1872	156	300	0,48
AV50	1:3	624	936	936	300	0,48

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

O resíduo de vidro utilizado foi obtido em uma vidraçaria localizada na região metropolitana de Belo Horizonte – RMBH, sendo posteriormente transportado ao laboratório de engenharia da PUC Minas, onde passou por um processo de beneficiamento. Inicialmente, o material foi submetido à moagem em moinho de disco, com o objetivo de reduzir sua granulometria.

Após a moagem, o resíduo foi submetido a procedimentos de peneiramento e adequação granulométrica. O beneficiamento teve como objetivo aproximar as características granulométricas do vidro às dos materiais substituídos, minimizando a influência da distribuição de partículas nos resultados e permitindo uma avaliação mais representativa dos efeitos da incorporação do resíduo nas propriedades das argamassas.

Para a primeira argamassa, com substituição do cimento, o vidro moído passou por um processo adicional de beneficiamento através do moinho de bolas. O material foi peneirado na malha de 325 μm , com o objetivo de obter uma granulometria com partículas menores à do cimento Portland, possibilitando sua utilização como material fino com potencial comportamento pozolânico. A Figura 1 apresenta o resíduo de vidro após o processo de moagem.

Figura 1 – Vidro moído em diferentes granulometrias



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A partir disso, foi realizada a substituição de 25% do cimento por vidro moído na produção da argamassa, mantendo-se as demais proporções do traço de referência, a fim de garantir a comparabilidade dos resultados. A avaliação do potencial pozolânico do resíduo de vidro foi conduzida com base nos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 5752:2014, que trata da determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias.

Para a segunda argamassa, com substituição do agregado miúdo, foi necessária a adequação granulométrica do vidro moído. Dessa forma, após a moagem, o resíduo de vidro foi submetido a ensaios granulométricos, realizados conforme os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 17054:2022 – Agregados – Determinação da composição granulométrica, buscando ajustar sua distribuição de partículas para que coincidissem com a granulometria da areia normal empregada na argamassa de referência.

Esse procedimento teve como objetivo garantir a compatibilidade granulométrica entre o material convencional e o resíduo de vidro, minimizando a influência da distribuição de partículas nos resultados e permitindo que as diferenças observadas fossem atribuídas predominantemente à natureza do material. Após a adequação granulométrica, procedeu-se à substituição de 50% da areia normal por resíduo de vidro, originando o traço AV50.

Com as argamassas definidas, foram moldados corpos de prova seguindo os procedimentos normativos descritos na ABNT NBR 7215:2025. Os corpos de prova foram identificados e submetidos ao processo de cura até a idade de ensaio. Para cada composição foram produzidas amostras destinadas à determinação das propriedades físicas e da resistência à compressão, permitindo a avaliação comparativa do desempenho das diferentes argamassas estudadas.

Após o período de cura em condições controladas, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio mecânico de resistência à compressão, visando a avaliar o desempenho das argamassas produzidas.

Além dos ensaios mecânicos, foram realizadas determinações físicas nos corpos de prova, incluindo massa específica, absorção de água e índice de vazios. Esses ensaios foram conduzidos conforme os procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 9778:2005. Esses parâmetros permitiram uma análise complementar do comportamento das argamassas, especialmente no que se refere à porosidade e à durabilidade dos materiais.

Dessa forma, essa investigação possibilitou a avaliação dos efeitos da substituição parcial do cimento e do agregado miúdo por resíduo de vidro, tanto sob o ponto de vista mecânico quanto físico, contribuindo para a análise da viabilidade técnica do uso desse resíduo na produção de argamassas. Os resultados obtidos foram organizados em tabelas e gráficos, sendo analisados por meio de valores médios e da comparação entre as composições estudadas. Para os ensaios de resistência à compressão também foi considerada a dispersão dos resultados entre os corpos de prova, permitindo avaliar a uniformidade do comportamento apresentado por cada argamassa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

São apresentados a seguir os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais realizados com as diferentes formulações de argamassa.

3.1 Propriedades Físicas das Argamassas

Os resultados obtidos para absorção de água, massa específica e índice de vazios das argamassas analisadas estão apresentados na Tabelas 2, bem como nos Gráficos 1 e 2. Foram avaliadas três composições: argamassa de referência (AREF), argamassa com substituição de

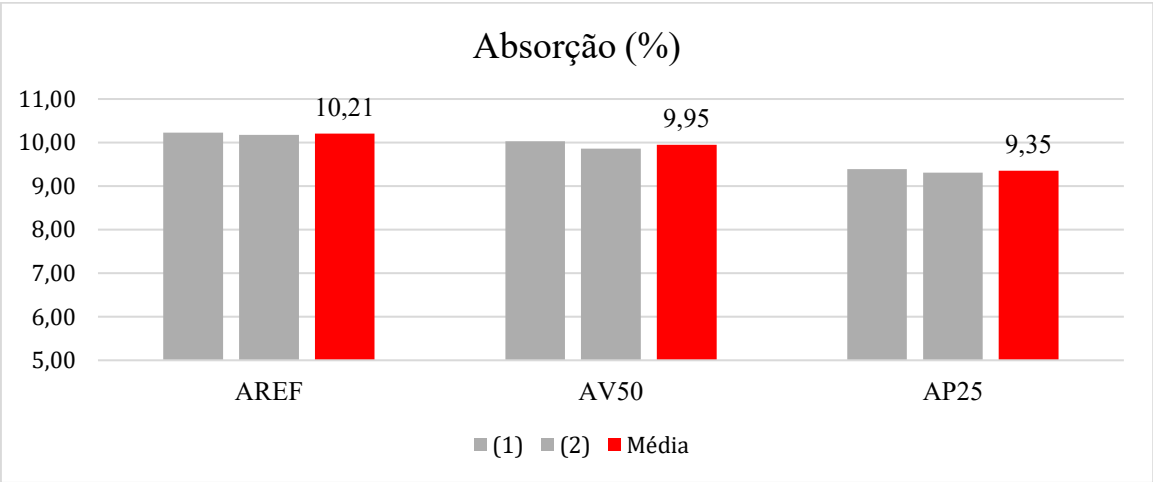
50% do agregado miúdo por resíduo de vidro moído (AV50) e argamassa com substituição de 25% do cimento por vidro finamente moído com potencial pozolânico (AP25).

Tabela 2 – Propriedades físicas das argamassas

Argamassa	Massa seca (M1)	Massa úmida (M2)	Massa imersão (M3)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica (Kg/dm³)
AREF (1)	390,0	429,9	237,3	10,23	20,72	2,55
AREF (2)	392,9	432,9	237,6	10,18	20,48	2,53
AV50 (1)	420,6	462,8	238,7	10,03	18,83	2,31
AV50(2)	394,6	433,5	255,5	9,86	21,85	2,84
AP25 (1)	409,9	448,4	251	9,39	19,50	2,58
AP25 (2)	411,9	450,2	252,7	9,31	19,41	2,59

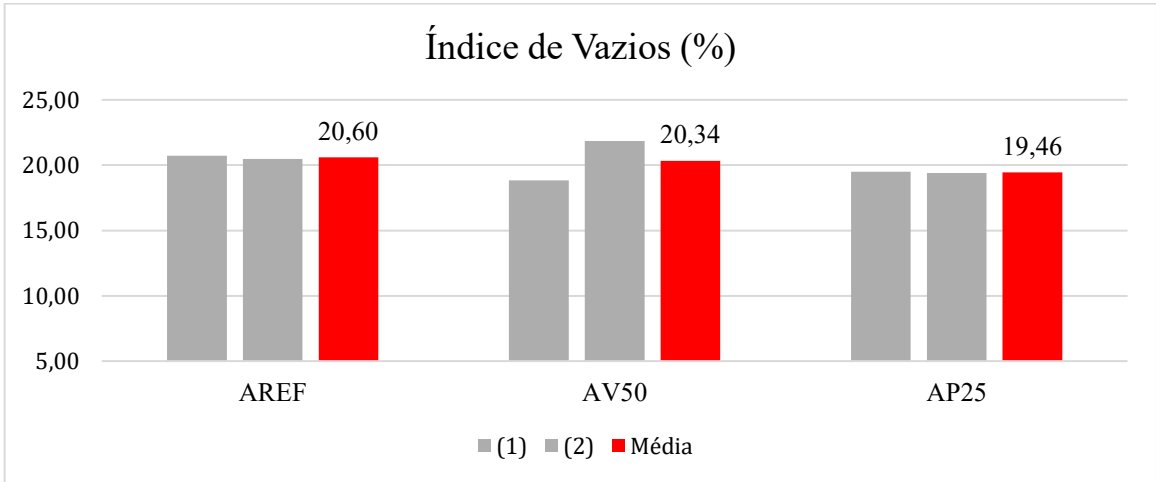
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Gráfico 1 – Comparativo da absorção de água (%)



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Gráfico 2 – Comparativo do índice de vazios (%)



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Observa-se que a massa específica apresentou valores semelhantes para todas as argamassas analisadas, indicando que a incorporação do resíduo de vidro não provocou alterações significativas na densidade das argamassas. Esse comportamento pode ser atribuído à similaridade entre as densidades dos materiais utilizados e à manutenção do empacotamento granular das partículas.

Em relação à absorção de água e ao índice de vazios, os resultados também foram bastante próximos entre as argamassas. Entretanto, a argamassa com substituição de 25% do cimento por vidro moído apresentou valores ligeiramente menores. Esse comportamento pode estar associado ao efeito filler das partículas finas do vidro moído, que contribuem para o preenchimento dos vazios e para o refinamento da microestrutura da matriz cimentícia.

3.2 Resistência à compressão

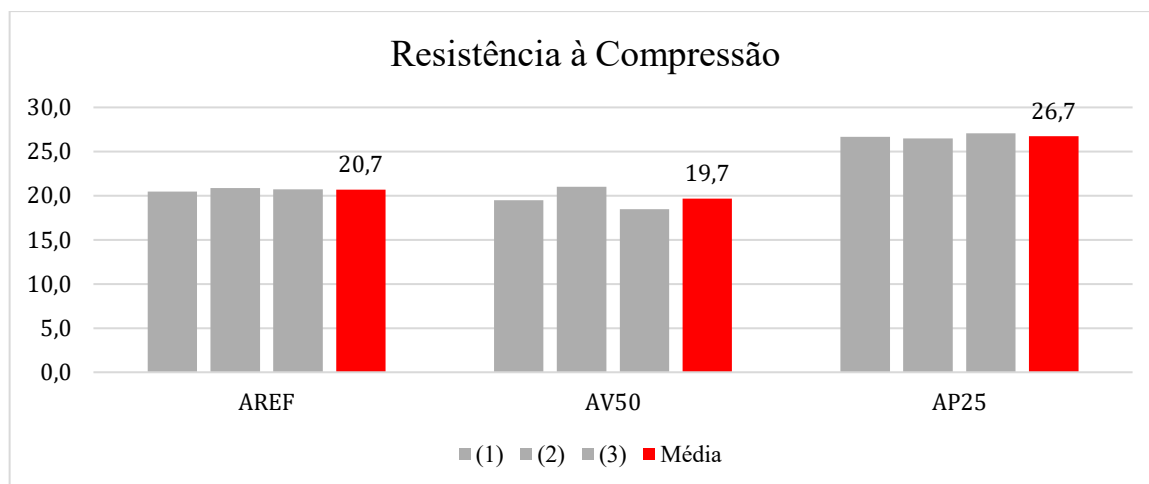
Os resultados de resistência à compressão das argamassas estão apresentados na Tabela 3 e no Gráfico 3.

Tabela 3 - Resistência à compressão das argamassas

Argamassa	Carga de Ruptura (kgf)	Resistência à Compressão (MPa)		Desvio (%)	
		Individual	Média	Máximo	Relativo Máximo
AREF (1)	4100	20,5	20,3	0,9	4,3
AREF (2)	4180	20,9			
AREF (3)	3880	19,4			
AV50 (1)	3900	19,5	19,5	1,0	5,1
AV50 (2)	4100	20,5			
AV50 (3)	3700	18,5			
AP25 (1)	5340	26,7	26,7	0,3	1,3
AP25 (2)	5300	26,5			
AP25 (3)	5420	27,1			

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Gráfico 3 – Comparativo da resistência à compressão média das argamassas



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

A argamassa de referência apresentou resistência média à compressão de 20,3 MPa. A argamassa com substituição de 50% do agregado miúdo por vidro moído apresentou resistência média de 19,5 MPa, representando uma redução aproximada de 3,8% em relação ao traço de referência. Observa-se que esse traço apresentou comportamento muito próximo ao da argamassa de referência.

Já a argamassa com substituição de 25% do cimento por vidro finamente moído apresentou resistência média de 26,7 MPa, correspondendo a um aumento aproximado de 32,1% em relação à argamassa de referência. O índice de desempenho com cimento Portland, calculado pela relação entre a resistência da argamassa com substituição e a resistência da argamassa de referência, foi de 132,1%, indicando relevante comportamento pozolânico do resíduo de vidro utilizado. Esse traço também apresentou menor variabilidade entre os resultados, indicando maior uniformidade da mistura.

O ganho de resistência observado pode ser atribuído ao efeito filler e à possível atividade pozolânica do vidro finamente moído, que possivelmente contribuíram para a formação adicional de compostos cimentícios e para o refinamento da microestrutura.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral, os resultados indicam que a incorporação do resíduo de vidro influenciou positivamente as propriedades mecânicas das argamassas. O traço com substituição parcial do cimento por resíduo de vidro apresentou aumento da resistência à compressão e menor dispersão dos resultados, evidenciando um desempenho superior ao da argamassa de

referência. Por outro lado, o traço com 50% de substituição do agregado miúdo por vidro apresentou uma pequena redução na resistência à compressão quando comparado ao traço de referência, embora tenha mantido valores próximos aos observados para a mistura convencional.

Em relação às propriedades físicas, verificou-se que a incorporação do resíduo de vidro não comprometeu o desempenho das argamassas, uma vez que os valores de massa específica, absorção de água e índice de vazios permaneceram semelhantes entre as diferentes argamassas analisadas.

Esses resultados demonstram o potencial do resíduo de vidro como material alternativo em argamassas, especialmente quando utilizado como substituto parcial do cimento, devido ao seu possível comportamento pozolânico. Dessa forma, sua utilização pode contribuir para o desenvolvimento de compósitos cimentícios mais sustentáveis, reduzindo o consumo de matérias-primas convencionais e promovendo o reaproveitamento de resíduos. A diminuição do uso do cimento convencional contribui para a descarbonização e, portanto, redução da emissão de gases efeitos estufa na fabricação desse material.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5752:2014: Materiais pozolânicos - Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 17054: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

CZAPIK, P.; KONIORCZYK, M.; ŚLUSARCZYK, G. Influence of the waste glass uses on the cement mortar properties. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*, v. 31, n. 1, p. 69-79, 2022.

DU, H.; TAN, K. H. Performance of waste glass powder as a pozzolanic material in blended cement mortar. *Construction and Building Materials*, v. 318, 2022.

NAGROCKIENĖ, D.; BARKAUSKAS, K. Utilization of waste glass powder in cement mortar. *Environmental Sciences Proceedings*, v. 9, n. 1, p. 25, 2021.

TAMANNA, N.; SUTAN, N. M.; TULADHAR, R.; LEE, D. T. C.; YAKUB, I. Pozzolan properties of glass powder in cement paste. *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*, v. 7, n. 1, p. 1-7, 2016.

WANG, Y.; CAO, Y.; ZHANG, P.; MA, Y. Effective utilization of waste glass as cementitious powder and construction sand in mortar. *Materials*, v. 13, n. 3, p. 1-16, 2020.