Anais do Congresso Brasileiro de Iniciação Científica
(https://periodicos.unisanta.br/COB)

ISSN 2317-1316

INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR VIDRO MOÍDO NAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS

EFFECT OF PARTIAL REPLACEMENT OF FINE AGGREGATE WITH GROUND GLASS ON THE PROPERTIES OF MORTARS

Daniel Cutlac da Rocha, Jefferson Fecharpas Araújo Feitosa dos Santos, Paulo Eduardo de Oliveira Andrade

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Civil
E-mail para contato: danielcutlacr@gmail.com

RESUMO – Avaliou-se a viabilidade técnica da substituição parcial do agregado miúdo por vidro moído em argamassas, visando ao reaproveitamento de resíduos na construção civil. Foram moldados 60 corpos de prova cilíndricos (5 × 10 cm), traço 1:3 (cimento:areia, em massa), com 0% (referência), 15%, 20% e 25% de substituição em massa. Determinaram-se a resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias e a absorção de água, com tratamento estatístico pelo teste de Grubbs. Aos 28 dias, as misturas com vidro atingiram 94% a 99% da resistência da referência, e a absorção de água foi menor com 20% e 25% de vidro. O vidro moído mostrou-se um agregado alternativo promissor, ressalvadas a menor resistência aos 7 dias e a necessidade de avaliar a reação álcali-sílica.

Palavras-chave: Argamassa; Vidro reciclado; Construção civil; Resistência à compressão; Absorção de água.

ABSTRACT – This study evaluated the technical feasibility of partially replacing fine aggregate with ground glass in mortars, aiming at waste reuse in civil construction. Sixty cylindrical specimens (5 × 10 cm) were molded with a 1:3 (cement:sand, by mass) mix, using 0% (reference), 15%, 20% and 25% replacement by mass. Compressive strength at 7, 14 and 28 days and water absorption were determined, with statistical treatment by Grubbs' test. At 28 days, the mixtures with glass reached 94% to 99% of the reference strength, and water absorption was lower with 20% and 25% glass. Ground glass proved to be a promising alternative aggregate, subject to its lower strength at 7 days and the need to assess the alkali-silica reaction.

Keywords: Mortar; Recycled glass; Construction; Compressive strength; Water absorption.

ISSN 2317-1316

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é fundamental para o desenvolvimento urbano, porém está entre os setores que mais geram impactos ambientais, principalmente pelo elevado consumo de recursos naturais e energia, além da geração de resíduos e emissão de poluentes (NASCIMENTO; MORAIS; LOPES, 2022). Em escala global, estima-se que o setor de edificações e construção responda por cerca de 37% das emissões de CO_2, quase 50% da extração de materiais e cerca de 28% do consumo de energia (UNEP; GLOBALABC, 2026).

No Brasil, estima-se que a geração de resíduos de construção e demolição (RCD) tenha alcançado cerca de 100,8 milhões de toneladas em 2024, o equivalente a aproximadamente 474 kg por habitante ao ano, valor superior à massa de resíduos sólidos urbanos (RSU) gerada no país no mesmo período, de 81,6 milhões de toneladas (ABREMA, 2025). Essa estimativa considera, além das pessoas físicas e empresas de demolição, outros geradores, como construtoras, pavimentadoras e órgãos públicos (ABREMA, 2025). Esse cenário reforça a necessidade de desenvolver alternativas que reduzam o consumo de matérias-primas naturais e promovam o reaproveitamento de resíduos.

Entre os materiais com potencial de reutilização destaca-se o vidro. Estima-se que cerca de 130 milhões de toneladas de resíduos de vidro sejam geradas por ano no mundo, das quais apenas cerca de 21% são recicladas (FERDOUS et al., 2021). Amplamente empregado em embalagens, vidros planos e outros setores, o vidro apresenta características, como o grande volume gerado, a composição rica em sílica (70 a 75% de SiO_2), a dureza e a inércia química, que favorecem sua reciclagem e utilização na construção civil (FERDOUS et al., 2021). Por se tratar de um material não biodegradável, seu descarte inadequado representa um problema ambiental.

Nesse sentido, o vidro moído tem sido estudado como substituto parcial do agregado miúdo em argamassas (TAN; DU, 2013) e do cimento em concretos (DU; TAN, 2014). Outros resíduos e subprodutos, como cinza volante e escória de alto-forno, também apresentam potencial para substituir parcialmente componentes dos materiais cimentícios (ISAIA; GASTALDINI, 2004), contribuindo para a redução do consumo de recursos naturais e das emissões de gases de efeito estufa.

Quando finamente moído, o vidro pode apresentar comportamento pozolânico, reagindo com o hidróxido de cálcio e contribuindo para a formação de silicato de cálcio hidratado (C-S-

ISSN 2317-1316

H), composto associado ao desenvolvimento da resistência mecânica (DU; TAN, 2014; MEHTA; MONTEIRO, 2014). O vidro empregado neste estudo, porém, é predominantemente grosso, de modo que se espera um efeito de agregado, e não de adição pozolânica. Além disso, sua utilização requer atenção à possibilidade de ocorrência da reação álcali-sílica (RAS), que pode provocar expansão e fissuração em argamassas e concretos (NEVILLE, 2016) e que não foi avaliada neste trabalho.

Assim, avaliar o comportamento de argamassas com substituição parcial do agregado miúdo por vidro moído é fundamental para determinar sua viabilidade técnica e seu potencial como alternativa sustentável na construção civil. Persiste, contudo, a necessidade de dados sobre argamassas produzidas com vidro de descarte comum, moído manualmente e de granulometria predominantemente grossa, em substituição parcial da areia. Parte-se da hipótese de que, atuando principalmente como agregado, o vidro moído permita manter a resistência à compressão em níveis próximos aos de uma argamassa de referência nos teores estudados.

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica da utilização de vidro moído como substituto parcial do agregado miúdo em argamassas, considerando diferentes teores de substituição e analisando seus efeitos sobre a resistência à compressão e a absorção de água.

Os objetivos específicos são: (i) moldar corpos de prova cilíndricos de argamassa com 0% (referência), 15%, 20% e 25% de substituição, em massa, do agregado miúdo por vidro moído; (ii) determinar a resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias, com base na NBR 7215 (ABNT, 2019); (iii) determinar a absorção de água por imersão, com base na NBR 9778 (ABNT, 2009); e (iv) tratar estatisticamente os dados, por meio do teste de Grubbs (GRUBBS, 1969) e da análise de variância (ANOVA).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Foram utilizados Cimento Portland CP II-F-32, areia lavada genérica adquirida no comércio, água potável e vidro moído. O vidro foi obtido a partir de resíduos urbanos de descarte comum que, após a coleta, foram higienizados, moídos manualmente com pilão e almofariz e peneirados. Para a execução dos procedimentos experimentais, foram empregados balança de precisão, misturador mecânico de argamassas, conjunto de peneiras com aberturas de 4,75; 2,36; 1,18; 0,60; 0,30 e 0,15 mm, pilão, almofariz, prensa hidráulica, estufa de

ISSN 2317-1316

secagem, tanque de cura e moldes cilíndricos metálicos com dimensões de 5 × 10 cm (Figura 1).

Figura 1: Moldes para corpos de prova.



2.2 Caracterização granulométrica

O peneiramento da areia e do vidro moído foi realizado em amostras de 100 g, com peneiras normalizadas da série normal (4,75; 2,36; 1,18; 0,60; 0,30 e 0,15 mm, além do fundo), conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003) (Figuras 2 e 3). O módulo de finura foi calculado como a soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da série normal (4,75; 2,36; 1,18; 0,60; 0,30 e 0,15 mm) dividida por 100. A moagem e o peneiramento tiveram como objetivo obter partículas de vidro com dimensões compatíveis com o uso como substituto parcial do agregado miúdo.

Figura 2: Peneiras utilizadas.



Figura 3: Vidro peneirado.



2.3 Dosagem e moldagem

Foram estabelecidos quatro traços experimentais: um de referência, sem vidro (0%), e três com substituição parcial do agregado miúdo por vidro moído, nos teores de 15%, 20% e 25%, em massa. Os teores foram definidos de forma exploratória, a fim de analisar progressivamente a influência do vidro sobre as propriedades da argamassa e de avaliar o aproveitamento de resíduos urbanos de vidro. Todos os traços foram produzidos na proporção

ISSN 2317-1316

de 1:3 (cimento:agregado miúdo, em massa), usual em argamassas e adotada na NBR 7215 (ABNT, 2019), o que permitiu manter constante a matriz cimentícia e isolar a influência do material alternativo. Adotou-se relação água/cimento de 0,5, com a quantidade de água ajustada em cada traço em função da proporção areia:cimento, sem considerar o vidro no cálculo.

O preparo das argamassas seguiu as etapas: (a) pesagem individual dos materiais em balança de precisão; (b) mistura a seco do cimento, da areia e do vidro moído em misturador mecânico durante 1 minuto; (c) adição integral da água de amassamento; (d) mistura por mais 1 minuto, até a obtenção da argamassa no estado fresco; e (e) moldagem imediata dos corpos de prova, sem período de repouso. A moldagem dos corpos de prova de 5 × 10 cm foi realizada em quatro camadas, com 20 golpes em cada uma, em procedimento adaptado da NBR 7215 (ABNT, 2019), pois a areia empregada não é normalizada. Após cerca de 24 h, os corpos de prova foram desmoldados e submetidos a cura submersa em água potável (Figura 4), permanecendo no tanque até as idades de ensaio de 7, 14 e 28 dias.

Para a resistência à compressão, foram moldados quatro corpos de prova por traço e por idade (4 traços × 3 idades × 4 corpos de prova = 48). Para a absorção de água, foi moldado um corpo de prova por traço e por idade (4 × 3 = 12), totalizando 60 corpos de prova. Assim, a absorção de água tem n = 1 por condição, sem tratamento estatístico.

Figura 4: Corpos de prova em tanque para cura submersa.



2.4 Ensaios

Após os períodos de cura estabelecidos, foram realizados os ensaios de absorção de água e de resistência à compressão. A absorção de água foi determinada com base na NBR 9778 (ABNT, 2009), com adaptações: os corpos de prova foram secos em estufa a 100 °C por 24 h e pesados para a obtenção da massa seca; em seguida, foram imersos em água potável por 24 h e pesados novamente, obtendo-se a massa saturada. Esse procedimento é uma adaptação da

ISSN 2317-1316

norma, e não seu cumprimento integral. A absorção de água (A, em %) foi calculada pela Equação (1), em que m_{sat} é a massa saturada e m_{seca} é a massa seca do corpo de prova.

$$A\ (\%) = (m_{sat} - m_{seca}) / m_{seca} \times 100 \quad (1)$$

A resistência à compressão foi determinada em procedimento adaptado da NBR 7215 (ABNT, 2019), nas idades de 7, 14 e 28 dias. Em cada idade, os corpos de prova foram retirados da cura, submetidos à secagem superficial e posicionados na prensa hidráulica, com aplicação contínua e uniforme da carga até a ruptura. A resistência foi obtida pela Equação (2), em que F é a carga máxima suportada e A é a área da seção transversal do corpo de prova, resultando em f_c em MPa. Além dos valores de resistência, foram observados visualmente os modos de ruptura dos corpos de prova.

$$f_c = F / A \quad (2)$$

2.5 Tratamento estatístico

Os resultados de resistência foram tratados por média, desvio padrão amostral e coeficiente de variação (CV). Para a identificação de valores discrepantes (*outliers*), aplicou-se o teste de Grubbs (GRUBBS, 1969), bilateral, com nível de significância de 5% ($\alpha = 0{,}05$), separadamente para cada conjunto (traço × idade), com n = 4 e valor crítico de G igual a 1,481. Os *outliers* identificados foram excluídos do cálculo das médias, procedimento comum em estudos experimentais para evitar que erros de moldagem ou de ensaio distorçam a análise (MONTGOMERY; RUNGER, 2012). Para comparar os traços em cada idade, empregou-se a análise de variância (ANOVA) de um fator, seguida do teste de Tukey ($\alpha = 0{,}05$), sobre os dados remanescentes (MONTGOMERY; RUNGER, 2012). Não se aplicou tratamento estatístico à absorção de água, em razão de n = 1.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Granulometria

As composições granulométricas do vidro moído e da areia são apresentadas nas Tabelas 1 e 2 e na Figura 5.

ISSN 2317-1316

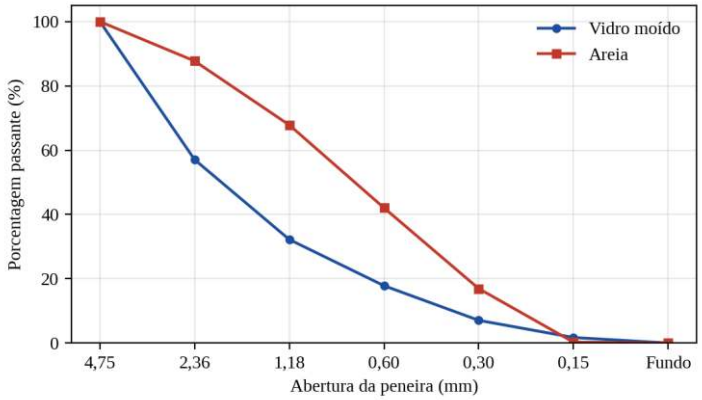
Tabela 1: Granulometria do vidro moído para 100 g de amostra

Peneira (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Acum. retida	% Passante
4,75	0	0	0	100,00%
2,36	42,95	42,95%	42,95%	57,05%
1,18	24,85	24,85%	67,80%	32,20%
0,60	14,37	14,37%	82,17%	17,83%
0,30	10,77	10,77%	92,94%	7,06%
0,15	5,34	5,34%	98,28%	1,72%
Fundo	1,72	1,72%	100,00%	0,00%

Tabela 2: Granulometria da areia para 100 g de amostra

Peneira (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Acum. retida	% Passante
4,75	0	0	0	100,00%
2,36	12,27	12,27%	12,27%	87,73%
1,18	19,91	19,91%	32,18%	67,82%
0,60	25,78	25,78%	57,96%	42,04%
0,30	25,11	25,11%	83,07%	16,93%
0,15	16,65	16,65%	99,72%	0,28%
Fundo	0,28	0,28%	100,00%	0,00%

Figura 5: Curvas granulométricas da areia e do vidro moído.



O vidro moído apresentou módulo de finura de 3,84, superior ao da areia (2,85), o que indica que é mais grosso. No vidro, 67,8% do material ficou retido (acumulado) até a peneira de 1,18 mm e 92,9% até a de 0,30 mm, contra 32,2% e 83,1%, respectivamente, na areia. A areia apresentou distribuição mais contínua ao longo das aberturas, com maior presença de partículas nas frações média e fina, o que favorece o preenchimento dos vazios entre os grãos. A distribuição do vidro, menos contínua e concentrada nas frações mais grossas, possivelmente está associada ao processo de moagem manual, e a geometria mais irregular das partículas também pode ter influenciado o empacotamento. Como o vidro é predominantemente grosso, seu efeito esperado é o de agregado, e não o de adição pozolânica.

ISSN 2317-1316

3.2 Resistência à compressão

A aplicação do teste de Grubbs (n = 4; α = 0,05; *G* crítico bilateral = 1,481) identificou dois *outliers* aos 7 dias: 24,40 MPa (25%; *G* = 1,485) e 21,65 MPa (20%; *G* = 1,486), ambos marginalmente acima do valor crítico, e eles foram eliminados. O valor de 17,42 MPa da referência aos 7 dias (*G* = 1,41) não foi considerado discrepante e foi mantido. O teste tem baixo poder com n = 4, e a causa dos *outliers* não foi investigada. Os valores individuais constam na Tabela 3, e as médias, na Tabela 4 e na Figura 6. Sem a exclusão, as médias aos 7 dias seriam de 21,28 MPa (referência), 18,92 MPa (15%), 19,63 MPa (20%) e 18,98 MPa (25%).

Tabela 3: Resistência à compressão individual dos corpos de prova

Idade (dias)	Repetição	Ref. (MPa)	15% (MPa)	20% (MPa)	25% (MPa)
7	1 (CP11)	21,34	19,56	21,65*	17,52
7	2 (CP12)	17,42	19,10	18,95	17,57
7	3 (CP13)	22,77	18,18	18,74	24,40*
7	4 (CP14)	23,58	18,84	19,20	16,45
14	1 (CP06)	23,63	25,97	28,47	24,60
14	2 (CP07)	25,36	21,75	25,62	27,45
14	3 (CP08)	20,68	21,54	23,58	25,72
14	4 (CP09)	27,65	23,17	22,82	21,85
28	1 (CP01)	26,13	28,67	29,13	29,64
28	2 (CP02)	26,99	27,30	25,57	25,97
28	3 (CP03)	30,91	29,44	27,71	27,20
28	4 (CP04)	30,61	28,27	25,26	25,62

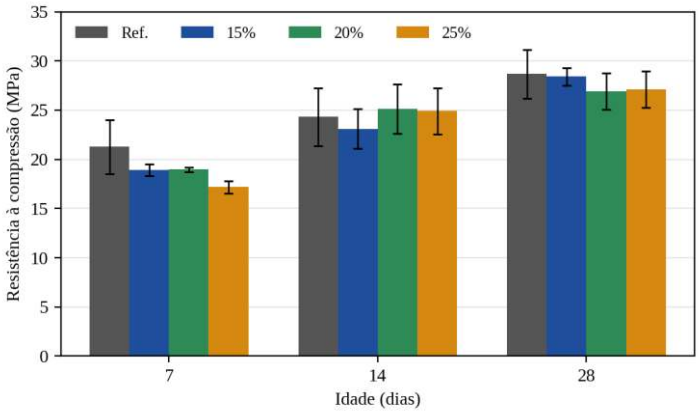
* eliminado pelo teste de Grubbs (α = 0,05).

Tabela 4: Resistência à compressão (MPa): média ± desvio padrão (n) e razão em relação à referência (%)

Idade (dias)	Grandeza	Ref.	15%	20%	25%
7	Média ± DP (n)	21,28 ± 2,73 (4)	18,92 ± 0,58 (4)	18,96 ± 0,23 (3)	17,18 ± 0,63 (3)
	Razão (%)	100,0	88,9	89,1	80,7
14	Média ± DP (n)	24,33 ± 2,94 (4)	23,11 ± 2,04 (4)	25,12 ± 2,53 (4)	24,91 ± 2,35 (4)
	Razão (%)	100,0	95,0	103,3	102,4
28	Média ± DP (n)	28,66 ± 2,45 (4)	28,42 ± 0,89 (4)	26,92 ± 1,83 (4)	27,11 ± 1,82 (4)
	Razão (%)	100,0	99,2	93,9	94,6

ISSN 2317-1316

Figura 6: Resistência à compressão em função da idade (média ± desvio padrão).



Aos 28 dias, nenhuma mistura com vidro superou a referência (28,66 MPa): as misturas atingiram de 94% a 99% de sua resistência (Tabela 4). Aos 14 dias, as misturas com 20% e 25% ficaram ligeiramente acima da referência (103% e 102%), diferenças dentro da dispersão dos resultados (CV de cerca de 10%). Aos 7 dias, todas as misturas ficaram abaixo da referência (81% a 89%). Possivelmente, esse menor desempenho inicial se relaciona à ligação entre o vidro e a pasta, à granulometria mais grossa do vidro e à menor reatividade inicial, hipóteses que não foram testadas neste trabalho.

A ANOVA indicou diferença significativa entre os traços apenas aos 7 dias ($F = 4{,}11$; $p = 0{,}039$), atribuída pelo teste de Tukey à comparação entre a referência e 25% ($p = 0{,}027$); as demais comparações não foram significativas ($p > 0{,}2$). Esse resultado é sensível à exclusão dos *outliers*: sem ela, a ANOVA aos 7 dias não indicou diferença significativa ($p = 0{,}498$). Aos 14 e 28 dias, não houve diferença significativa ($p = 0{,}671$ e $p = 0{,}451$, respectivamente), o que, com n = 4, não comprova equivalência entre os traços. Assim, os dados não permitem afirmar a superioridade de nenhum teor nem indicar um teor ótimo.

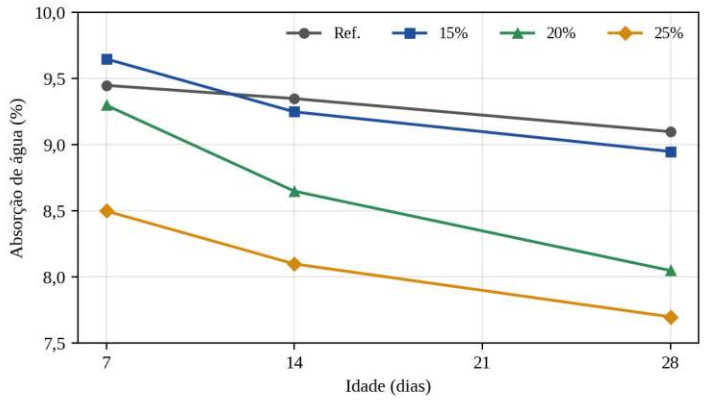
Foram observados padrões de ruptura cônica, por cisalhamento e mista nos corpos de prova. A análise visual das fraturas complementou, de forma qualitativa, os resultados quantitativos obtidos nos ensaios de compressão.

3.3 Absorção de água

A Figura 7 apresenta a evolução da absorção de água com a idade. Os valores são aproximados e cada ponto corresponde a um único corpo de prova (n = 1), de modo que não foi feito tratamento estatístico e as diferenças entre os traços não podem ser separadas da variabilidade entre corpos de prova.

ISSN 2317-1316

Figura 7: Absorção de água em função da idade (valores aproximados, n = 1).



A absorção diminuiu com a idade em todas as misturas. Aos 28 dias, a referência apresentou absorção de aproximadamente 9,1%, enquanto as misturas com 15%, 20% e 25% apresentaram cerca de 8,9%, 8,1% e 7,7%, respectivamente. Em relação à referência, a redução foi pequena com 15% (cerca de 1% a 2%) e maior com 20% (cerca de 11%) e 25% (cerca de 15%). Possivelmente, a menor absorção das misturas com 20% e 25% de vidro se relaciona à baixa porosidade do vidro, e a redução com a idade, à continuidade da hidratação do cimento, mas esses mecanismos não foram investigados. Além disso, como a secagem e a imersão se desviaram do procedimento da NBR 9778 (ABNT, 2009), os valores não são diretamente comparáveis aos de ensaios normalizados.

Como limitações do estudo, destacam-se o número reduzido de corpos de prova (n = 4 na compressão e n = 1 na absorção) e as adaptações dos procedimentos da NBR 7215 (ABNT, 2019) e da NBR 9778 (ABNT, 2009). A consistência das argamassas não foi quantificada, tendo havido apenas a observação qualitativa de que não houve dificuldade de mistura, inclusive nos maiores teores de vidro. Além disso, a reação álcali-sílica não foi avaliada, e o fato de o vidro ser predominantemente grosso, sem efeito pozolânico esperado, mantém o risco de sua ocorrência.

4 CONCLUSÃO

Este estudo avaliou a viabilidade técnica da substituição parcial do agregado miúdo por vidro moído (0%, 15%, 20% e 25%, em massa) em argamassas de traço 1:3, por meio da resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias e da absorção de água, com tratamento estatístico pelo teste de Grubbs e pela ANOVA. Aos 28 dias, nenhuma mistura superou a referência, mas as misturas com vidro atingiram 94% a 99% de sua resistência; aos 14 dias, de 95% a 103%; e,

ISSN 2317-1316

aos 7 dias, de 81% a 89%, com diferença significativa apenas entre a referência e 25% (p = 0,027), sensível à exclusão de outliers. A absorção de água, estimada de forma aproximada, foi menor com 20% e 25% de vidro (cerca de 11% e 15% menor aos 28 dias). Os dados não indicam um teor ótimo de substituição. Ressaltam-se como limitações o n = 4 (n = 1 na absorção), a consistência não quantificada, as adaptações das normas e o risco de reação álcali-sílica, não avaliada, em um vidro predominantemente grosso. Sugere-se, como trabalhos futuros, a avaliação da reação álcali-sílica por ensaio acelerado em barras de argamassa, da durabilidade, de outras granulometrias de vidro e da consistência, além da caracterização química do vidro. Os autores agradecem ao orientador, às suas famílias e à namorada de um dos autores pelo apoio durante a realização deste trabalho.

5 DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Durante a elaboração deste trabalho, utilizou-se a ferramenta Claude (Anthropic) para revisão ortográfica, gramatical e de clareza do texto e para conferência de cálculos estatísticos. O conteúdo gerado foi revisado, editado e validado pelos autores, que assumem total responsabilidade pelo texto final.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2025. São Paulo: ABREMA, 2025.

DU, H.; TAN, K. H. Waste glass powder as cement replacement in concrete. Journal of Advanced Concrete Technology, v. 12, n. 11, p. 468-477, 2014.

FERDOUS, W. et al. Recycling of landfill wastes (tyres, plastics and glass) in construction – A review on global waste generation, performance, application and future opportunities. Resources, Conservation and Recycling, v. 173, art. 105745, 2021. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.105745.

ISSN 2317-1316

GRUBBS, F. E. Procedures for detecting outlying observations in samples. Technometrics, v. 11, n. 1, p. 1-21, 1969.

ISAIA, G. C.; GASTALDINI, A. L. G. Perspectivas ambientais e econômicas do concreto com altos teores de adições minerais: um estudo de caso. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 19-30, 2004.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concrete: microstructure, properties, and materials. 4. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

NASCIMENTO, E. R.; MORAIS, D. P. F.; LOPES, S. C. Sustentabilidade na construção civil no Brasil: uma revisão da literatura. Research, Society and Development, v. 11, n. 14, e524111436611, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i14.36611.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 5. ed. São Paulo: Bookman, 2016.

TAN, K. H.; DU, H. Use of waste glass as sand in mortar: Part I – Fresh, mechanical and durability properties. Cement and Concrete Composites, v. 35, n. 1, p. 109-117, 2013.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME; GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION. Global Status Report for Buildings and Construction 2025–2026. Nairobi: UNEP, 2026.