

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS NATURAIS, HUMANAS E SOCIAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

Marcos Ferreira de Souza

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA POR PÓ DE  
VIDRO NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO**

**SINOP  
MATO GROSSO - BRASIL  
2023**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS NATURAIS, HUMANAS E SOCIAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

Marcos Ferreira de Souza

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA POR PÓ DE  
VIDRO NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO**

Orientador(a): Prof.(a) Dr.(a). Roselene Maria Schneider  
Co-orientador(a): Prof.(a) Dr.(a). Adriana Garcia do Amaral

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus Universitário de Sinop, na área de concentração Biodiversidade e Bioprospecção, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Linha de pesquisa: Recursos Naturais.

**SINOP  
MATO GROSSO - BRASIL  
2023**

## FICHA CATALOGRÁFICA

### Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S729i Souza, Marcos Ferreira de.  
Influência da substituição parcial da areia por pó de vidro na produção de blocos de concreto [recurso eletrônico] : Substituição parcial de areia por pó de vidro / Marcos Ferreira de Souza. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 65 f., il. color., pdf). -- 2023.

Orientador: Roselene Maria Schneider.  
Coorientador: Adriana Garcia do Amaral.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Naturais, Humanas e Sociais, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Sinop, 2023.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://ri.ufmt.br>.  
Inclui bibliografia.

1. Construção Civil. Reciclagem. Resistência. Reutilização. Viabilidade.. I. Schneider, Roselene Maria, *orientador*. II. Amaral, Adriana Garcia do, *coorientador*. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

## FOLHA DE APROVAÇÃO



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**  
**PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**  
**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: "Influência da substituição parcial da areia por pó de vidro na produção de blocos de concreto"**

**AUTOR (A): MESTRANDO (A) Marcos Ferreira de Souza**

Dissertação defendida e aprovada em 27/02/2023.

### COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

Presidente Banca / Orientador Doutor(a) ADRIANA GARCIA DO AMARAL

Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Examinador Interno Doutor(a) EDUARDO ALVES DE ALMEIDA

Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Examinador Externo Doutor(a) JULIO CÉSAR BELTRAME BENATTI

Instituição : UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO - UNEMAT

Examinador Suplente Doutor(a) FLAVIO ALESSANDRO CRISPIM

Instituição : UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO - UNEMAT

Examinador Suplente Doutor(a) EVERTON ANDRE PIMENTEL BATELO

Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

**SINOP, 27/02/2023.**



Documento assinado eletronicamente por **ADRIANA GARCIA DO AMARAL**, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso, em 01/03/2023, às 09:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Julio César Beltrame Benatti**, Usuário Externo, em 01/03/2023, às 09:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **EDUARDO ALVES DE ALMEIDA**, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso, em 01/03/2023, às 14:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufmt.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_organ\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_organ_acesso_externo=0), informando o código verificador 5531571 e o código CRC B6EA8EFA.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho a DEUS, a minha esposa Herlândia, minhas filhas Ana e Mariana, meu pai, João Ferreira e minha mãe, D. Cida que sempre estiveram junto comigo nessa jornada, sempre incentivando e dando o apoio necessário. Enfim, dedico a todos (as) que diretamente e indiretamente estiveram me acompanhando e torcendo por mim.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao nosso bom Deus, por ter me guiado em todas as minhas escolhas e abençoado cada passo desta jornada.

Agradeço a minha família, por sempre me apoiarem e acreditarem no meu potencial. Em especial a minha esposa, minhas filhas e todos meus amigos que me apoiaram e entenderam esse novo desafio.

Ao PPGCAM e à Universidade Federal do Mato Grosso, por cederem os laboratórios para a realização dos ensaios.

Agradeço as empresas que me disponibilizaram as garrafas “long neck” e a empresa Bloco Norte, pela disponibilidade e prontidão para com a fabricação dos blocos.

Agradeço a FAPEMAT pelo apoio financeiro.

Agradeço ao meu colega e auxiliar Fernando, pela ajuda na limpeza e trituração das garrafas e na realização dos ensaios.

E com muito carinho, admiração e alegria a minha querida orientadora Roselene que sempre esteve presente me ajudando em todas as fases da pós-graduação e a coorientadora Adriana, que sempre se prontificaram em me auxiliar no desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim a todos os outros professores das disciplinas lecionadas e demais pessoas que de alguma maneira me auxiliaram nesta pesquisa.

**EPIÍGRAFE**

“Nossa maior fraqueza é a desistência. O caminho mais certo para o sucesso é sempre tentar apenas uma vez mais.”

Thomas Edison

## RESUMO

A crescente geração de resíduos nas últimas décadas, mostra que, junto com essa geração tornam-se evidentes os problemas de manejo de resíduos. Categoricamente sobre os resíduos de vidro, tem-se que a maior parte destes é disposto em aterros ou lixões. Por se tratar de material que pode ser reciclado indefinidamente, desde que a separação seja adequada, a simples disposição do vidro é uma prática não sustentável. Para alguns tipos de embalagens de vidro há também a prática do retorno e reuso, porém, compreendendo uma pequena parcela das embalagens. A incorporação de resíduos na fabricação de produtos utilizados na construção civil vem sendo estudada, e a prática de utilizar vidro como constituinte de novos produtos apresenta resultados promissores. Estudos indicam que a incorporação de vidro pode manter ou até mesmo melhorar muitas características de artefatos cimentícios, como blocos, tijolos, *pavers*, entre outros. Assim, o presente trabalho é composto por dois artigos. O primeiro deles, Capítulo I, é uma revisão de literatura sobre a cadeia do vidro pós-uso na produção de artefatos da construção civil com a incorporação do vidro, com o objetivo de apresentar o estado da arte da reutilização do vidro na fabricação de materiais destinados à construção civil. Os trabalhos utilizados na revisão tiveram como fonte de busca as bases de dados *Scielo*, *Science Direct*, Periódicos Capes etc. As principais palavras-chave pesquisadas para a busca de artigos foram “vidro”, “reciclagem”, “reutilização”, “artefatos cimentícios”. É perceptível que a reutilização do vidro apresenta vários cenários, com melhoria ou não das características dos produtos originais sem vidro. Conclui-se que há viabilidade técnica em algumas reutilizações do vidro em substituição aos agregados mais utilizados, como areia, pedra e cimento, em diferentes granulometrias, porcentagens de substituição, associação a outros resíduos, entre outros. No Capítulo II serão apresentados os resultados da substituição parcial da areia por pó de vidro de garrafas tipo *long neck*, em 25, 50 e 75% em massa, com granulometria menor que 600 micrômetros, na fabricação de blocos de concreto tipo seco. Os resultados mostraram que a incorporação de vidro nos blocos aumentou a resistência à simples compressão e reduziu a absorção de água. A substituição de areia por vidro moído é tecnicamente viável para a produção de blocos secos de concreto.

**Palavras Chave:** Construção Civil. Reciclagem. Resistência. Reutilização. Viabilidade.



## ABSTRACT

The growing waste generation in recent decades shows that, along with this generation, waste management problems become evident. Categorically regarding glass waste, most of these are disposed of in landfills or dumps. Because it is a material that can be recycled indefinitely, as long as the separation is adequate, simply disposing of the glass is an unsustainable practice. For some types of glass packaging there is also the practice of return and reuse, however, comprising a small portion of packaging. The incorporation of waste in the manufacture of products used in civil construction has been studied, and the practice of using glass as a constituent of new products shows promising results. Studies indicate that the incorporation of glass can maintain or even improve many characteristics of cement artifacts, such as blocks, bricks, pavers, among others. Thus, the present work consists of two articles. The first of them, Chapter I, is a literature review on the post-use glass chain in the production of civil construction artifacts with the incorporation of glass, with the aim of presenting the state of the art of glass reuse in the manufacture of materials intended for construction. The works used in the review were searched in the Scielo, Science Direct, Periódicos Capes, etc. databases. The main keywords searched for articles were “glass”, “recycling”, “reuse”, “cement artifacts”. It is noticeable that the reuse of glass presents several scenarios, with or without improvement of the characteristics of the original products without glass. It is concluded that there is technical viability in some reuses of glass to replace the most used aggregates, such as sand, stone and cement, in different granulometries, replacement percentages, association with other waste, among others. In Chapter II, the results of the partial replacement of sand by waste glass from long neck bottles will be presented, at 25, 50 and 75% by mass, with granulometry smaller than 600 micrometers, in the manufacture of dry type concrete blocks. The results showed that the incorporation of glass in the blocks increased the resistance to simple compression and reduced the water absorption. Replacing sand with ground glass is technically feasible for the production of dry concrete blocks.

**Keywords:** Civil Construction. Recycling. Resistance. Reuse. Viability.

## LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABELPRE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos  
Especiais

ABRIVIDRO – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro

ANCAT - Associação Nacional de Catadores

CV - Cacos de Vidro

CAR - Concreto com Agregado Reciclado

CLE - Cinzas de Lodo de Esgoto

END – Ensaaios Não Destrutivos

FEVE - Federação Europeia dos fabricantes de Embalagens de Vidro

FUNVERDE – Fundação Verde

MEV-EDS - Microscópio Eletrônico de Varredura, com detector de energia dispersiva

MPa – Mega Pascal

NBR – Normas Brasileiras

PVR - Pó de Vidro Residual

PEA - Pó de Escoria de Aço

RAA – Reação Álcali-Agregado

RAS - Reação Álcali-Sílica

TIC3D - Técnicas de impressão 3D de construção

UFMT – Universidade Federal de Mato Grosso

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Garrafas tipo long neck coletadas em bares, restaurantes e ruas. ....                                                                                                                                                | 38 |
| Figura 2 - Obtenção do pó de vidro, com higienização (a), retirada de rótulos (b) e trituração das garrafas (c) .....                                                                                                           | 38 |
| Figura 3 - Preparação do pó de vidro. (Vidro após a trituração, a, b e c.; Ensaio de granulometria, d; Diferentes granulometrias do vidro; Pó de vidro com granulometria menor do que 0,600 mm, f) Pó de vidro armazenado ..... | 39 |
| Figura 4 - Curva granulométrica do agregado brita 0, 1, 2, 3, 4 e a brita 0 utilizada (com as linhas que indicam os limites da faixa máxima e as linhas que indicam os limites da faixa mínima de utilização) .....             | 40 |
| Figura 5 - Curva granulométrica dos agregados areia e pó de vidro (as linhas ZU indicam os limites da zona de utilização da areia/pó de vidro e as linhas ZO indicam os limites da zona ótima da areia/pó de vidro) .....       | 40 |
| Figura 6 - Etapas da produção dos blocos de concreto.....                                                                                                                                                                       | 45 |
| Figura 7 - Ensaio de Absorção de água dos blocos de concreto.....                                                                                                                                                               | 46 |
| Figura 8 - Ensaio de resistência a compressão dos blocos de concreto.....                                                                                                                                                       | 49 |
| Figura 9 – Valores médios de absorção de água dos blocos nas substituições de 0, 25, 50 e 75% de areia por pó de vidro, aos 28 dias. (Valores médios seguidos de mesma letra não diferem entre si a 5% de significância). ....  | 50 |
| Figura 10 – Amplitude dos valores de resistência à simples compressão dos blocos de concreto, em diferentes traços (0, 25, 50 e 75% de substituição de areia por pó de vidro), aos 28 e 56 DAM .....                            | 53 |
| Figura 11 - Valores médios de resistência à compressão (médias seguidas de mesma letra não apresentam diferenças entre si, a 5% de significância) .....                                                                         | 54 |
| Figura 12 – Resistência característica dos blocos, $f_{bk,est}$ , em diferentes traços (0, 25, 50 e 75% de substituição de areia por pó de vidro), aos 28 e 56 DAM .....                                                        | 56 |
| Figura 13 - Ensaio de Ultrassom nos blocos de concreto - Parede longitudinal .....                                                                                                                                              | 57 |

## Sumário

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUÇÃO GERAL DA DISSERTAÇÃO .....                                                                 | 12 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                      | 13 |
| CAPÍTULO I .....                                                                                      | 15 |
| 1 INTRODUÇÃO .....                                                                                    | 16 |
| 2 DESENVOLVIMENTO .....                                                                               | 17 |
| 2.1 O vidro .....                                                                                     | 17 |
| 2.2 Resíduo de vidro .....                                                                            | 18 |
| 2.3 Reaproveitamento em novos produtos .....                                                          | 19 |
| 2.4 Vidro em blocos de concreto .....                                                                 | 21 |
| 2.5 Os materiais e suas reações .....                                                                 | 22 |
| 4. REFERÊNCIAS .....                                                                                  | 27 |
| CAPÍTULO II .....                                                                                     | 35 |
| UTILIZAÇÃO DO PÓ DE VIDRO EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA NA<br>PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO ..... | 35 |
| 1. Introdução .....                                                                                   | 35 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS .....                                                                           | 37 |
| 2.1 Material .....                                                                                    | 37 |
| 2.2 Caracterização dos agregados .....                                                                | 38 |
| 2.2.1 Granulometria .....                                                                             | 38 |
| 3.2.2 Densidade específica .....                                                                      | 40 |
| 3.2.3 Teor de umidade e absorção de água .....                                                        | 43 |
| 3.3 Fabricação dos Blocos .....                                                                       | 44 |
| 3.4 Ensaio de absorção de água dos blocos .....                                                       | 46 |
| 3.5 Índices de vazios e massa específica .....                                                        | 46 |
| 3.5.1 Índices de Vazios .....                                                                         | 46 |
| 3.5.2 – Massa Específica da amostra seca .....                                                        | 47 |
| 3.5.3 – Massa Específica da amostra saturada .....                                                    | 47 |
| 3.5.4 – Massa Específica real .....                                                                   | 48 |
| 3.6 Ensaio não destrutivo nos blocos de concreto (END) .....                                          | 48 |
| 3.7 Ensaio de resistência à compressão .....                                                          | 49 |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.8 Delineamento experimental e análise estatística .....               | 49 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....                                         | 50 |
| 4.1 Absorção de água.....                                               | 50 |
| 4.2 Índices de vazios e massa específica .....                          | 51 |
| 4.2 Resistência à simples compressão .....                              | 52 |
| 4.3 Ensaio não destrutivo nos blocos de concreto (END) – Ultrassom..... | 56 |
| 5 CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS.....                                   | 58 |
| REFERÊNCIAS .....                                                       | 58 |

## INTRODUÇÃO GERAL DA DISSERTAÇÃO

A geração de resíduos apresenta-se crescente nas últimas décadas e, junto com essa geração, tornam-se mais evidentes os problemas de manejo de resíduos. De acordo com Ouigmane *et al.* (2021), a produção de resíduos sólidos está aumentando devido ao aumento da população e de seu padrão de vida; mudanças nas condições de vida podem incentivar grandes e significativas variações tanto nas características qualitativas quanto quantitativa dos resíduos.

De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Vidro (ABRIVIDRO), o vidro não se perde no processo de reciclagem, podendo ser reaproveitado 100%, sem perda da qualidade. As empresas que produzem o componente, geralmente optam por utilizar 40% do caco de vidro em uma nova embalagem e cerca de 60% de composto virgem (ABRIVIDRO, 2019).

O vidro é um material de alta demanda, consumindo grande quantidade de recursos naturais, incluindo a areia, calcário e carbonato de sódio. Com o aumento da demanda de consumo de vidro para a indústria e residências, aumentou-se também a quantidade de resíduos de vidro. Estima-se que quase 200 milhões de toneladas de resíduos de vidro são produzidas anualmente no mundo. Os altos custos da reciclagem interferem no percentual de vidro reciclado, que é baixo, impactando diretamente na disposição final dos resíduos que acaba acontecendo nos lixões (GOLAFSHANI e KASHANI, 2022).

Como forma de reduzir custos associados à reciclagem e reduzir a simples disposição no solo, tem-se buscado o reaproveitamento de resíduos. Assim, o reaproveitamento deve ser pensado dentro de limites técnicos e geográficos, que maximizem seu reaproveitamento e reduzam custos de transporte, ou seja, que seja sustentável. Para Liang (2021) os lixões e aterros sanitários não apenas ocupam enormes recursos de terra, mas exercem pressão ambiental de longa data sobre o meio ambiente, sendo altamente recomendável reciclar e utilizar o resíduo de vidro de maneira ecologicamente correta e eficiente.

Os maiores volumes de resíduos dispostos em aterros sanitários são matéria orgânica, pneus, plásticos e vidros. Porém, mundialmente buscam-se meios de reduzir desperdícios e formas de utilizar os materiais pelo maior tempo. Conforme Ferdous *et al.* (2021), cerca de 10% dos pneus, 19,5% de plástico e 21% de vidro são reciclados globalmente.

A incorporação de resíduos na fabricação de produtos utilizados na construção civil vem sendo estudada e a prática de utilizar vidro como constituinte de novos produtos apresenta resultados promissores. Estudos indicam que a incorporação de vidro pode manter ou até mesmo melhorar muitas características de artefatos cimentícios, como blocos, tijolos, *pavers*, entre outros. Carvalho (2021), em estudo recente com incorporação de vidro de garrafas tipo *long neck* como substituto de areia em blocos de concreto seco mostrou que pode haver aumento da resistência à compressão após 28 dias de moldagem, para taxas de substituição de até 30%, em massa. Além disso, o estudo sugere a possibilidade de que o aumento da porcentagem de vidro em substituição da areia possa aumentar ou pelo menos manter a resistência à compressão dentro dos limites estabelecidos por norma.

Sendo assim, a proposta deste estudo é o de verificar o estado da arte sobre a cadeia do vidro pós-uso e realizar testes substituindo a areia por vidro, nos percentuais de 0, 25, 50 e 75% de pó de vidro com granulometria menor que 600 micrômetros, na mistura para a fabricação de blocos seco de concreto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRIVIDRO, 2019 - Vidro: O resíduo infinitamente reciclável. Disponível em <<https://abividro.org.br/2019/02/07/vidro-o-residuo-infinitamente-reciclavel/>>. Acesso em 30 nov. 2022.

CARVALHO, M. N. - Incorporação de Resíduos de Vidro do Tipo “Garrafas Long Neck” em Blocos de Concreto. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus Universitário de Sinop, na área de concentração Biodiversidade e Bioprospecção. Disponível em <<https://cms.ufmt.br/files/galleries/95/Disserta%C3%A7%C3%B5es%202021/Dffbe8d4c635abfe0717da68a8d710b5593f3c35e.pdf>> Acesso em 07 jan. 2023.

FERDOUS, W., MANALO, A., SIDDIQUE R., MENDIS, P, ZHUGE, Y. WONG, H. S., LOKUGE, W, ARAVINTHAN, T., SCHUBEL, P. - Recycling of landfill wastes (tyres, plastics and glass) in construction – A review on global waste generation, performance, application and future opportunities. – Magazine Resources, Conservation & Recycling- Volume 173, outubro de 2021, 105745. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105745>

GOLAFSHANI, E. M. KASHANI, A. - Modeling the compressive strength of concrete containing waste glass using multi-objective automatic regression. Neural Computing and Applications. volume 34, pages17107–17127 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00521-022-07360-9>

LIANG G. LI, H. ZHU, H. TIEJUN LIU, T. CHEN, Q. GUO, H. - Reuse of waste glass powder in alkali-activated metakaolin/fly ash pastes: physical properties, reaction kinetics and microstructure. *Resources, Conservation and Recycling* Volume 173, October 2021, 105721. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105721>

OUIGMANE, A. BOUDOUCHE, O. HASIB, A. OUHSINE, O. LAYATI, E. ISAIKAN, R. J. ALAATCHANE, E. MOTTASSADIK, A. BERKANI, M.- Effect of COVID-19 on the Generation of Waste in Marrakech, Morocco. *J Health Pollut.* 2021 Jun; 11(30): 210606. doi:10.5696/2156-9614-11.30.210606.



## CAPÍTULO I

### **RESÍDUO DE VIDRO COMO AGREGADO OU AGLOMERANTE ALTERNATIVO NA PRODUÇÃO DE ARTEFATOS CIMENTÍCIOS**

---

O presente manuscrito seguirá as padronizações adotadas pelo periódico *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, no qual o presente trabalho será submetido.

## RESUMO

Este artigo busca descrever o estado da arte da utilização do vidro na produção de artefatos para a construção civil. Especificamente para o resíduo de vidro, a literatura aborda muitos estudos que indicam a viabilidade técnica da utilização do vidro em produtos empregados na área de construção civil, conforme exposto no desenvolvimento deste material. Este estudo constituiu-se de uma revisão de literatura a fim de relatar o estado da arte da cadeia do vidro pós-uso, englobando principalmente a reutilização e incorporação em artefatos da construção civil, indicando os prós e contras desse processo. Os trabalhos utilizados na revisão utilizaram como fonte de busca as bases de dados Scielo, Science Direct, Periódicos Capes etc. A utilização de resíduos de vidro na produção de artefatos para a construção civil, vem sendo considerado promissora, onde esse tipo de resíduo pode substituir uma parcela de agregados tanto miúdos como graúdos. Dessa forma a incorporação do vidro contribui em vários aspectos como um dos destaques na redução dos passivos ambientais. Os principais fatores observados que influenciam nas características físicas e químicas são a granulometria do vidro, as quantidades de vidro empregadas e a umidade da mistura. A utilização de resíduo de vidro em diferentes granulometrias demonstra que a atividade pozolânica aumenta conforme a redução do tamanho das partículas, sendo as propriedades físicas dos produtos mais afetadas pelo tamanho das partículas do que pela quantidade de resíduo utilizado no concreto ou argamassa.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vidro. Reutilização. Artefatos cimentícios.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo a Federação Europeia dos fabricantes de embalagens de vidro (FEVE), o vidro além de ser um material reciclável, pode também ser reaproveitado sem perder a qualidade. As garrafas retornáveis, por exemplo, podem ser utilizadas até 50 vezes antes de serem derretidas e recicladas em novos recipientes recarregáveis (FEVE, 2022). Conforme dados divulgados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABELPRE), a quantidade de vidro coletado chegou a cerca de 104.204 toneladas em 2019, e os montantes reciclados e recuperados chegaram a 52 mil toneladas no país (ABELPRE, 2021).

De acordo com Ferdous et al. (2021) estima-se que cerca de 130 milhões de toneladas de resíduos de vidros são produzidos a cada ano no mundo. As taxas de reciclagem estimadas indicam valores próximos a 20%, com o restante do vidro sendo disposto em aterros, lixões e outros (EPA, 2020, FERDOUS et al., 2021; LUI et al., 2022). Segundo a Fundação Verde, o vidro é um dos materiais com maior tempo de decomposição estimado, algo em torno de 5 mil anos (FUNVERDE, 2022). Por outro lado, apresenta a possibilidade de ser indefinidamente e 100% reciclado (FERDOUS et al., 2021).

Considerando apenas essas duas características, a simples disposição do vidro deveria ser evitada. Para além, as principais características do vidro como transparência, dureza, propriedades térmicas, entre outros (BERNESCHI, RIGHINI, PELLI, 2021), fazem do vidro um material especial, que deveria ter sua cadeia atrelada à economia circular. A incorporação do vidro pós-uso na cadeia de novos produtos, seja por reutilização ou reciclagem, contribui em muitos aspectos, como redução de passivos ambientais, economia de energia e redução da extração de matérias primas (LUI et al., 2022; OGUNDAIRO et al., 2019; VETTORATO et al., 2021).

A utilização de resíduos sólidos na cadeia de artefatos para a construção civil é promissora, uma vez que esses podem substituir uma parcela dos agregados (PHUTTHIMETHAKUL; KUMPUENG; SUPAKATA, 2020; JÚNIOR; SILVA; RIBEIRO, 2018).

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 O vidro

O vidro é um material sólido, composto principalmente por sílica ou dióxido de silício, sendo obtido após o resfriamento de substâncias inorgânicas fundidas, como areia (sílica), barrilha (carbonato de sódio) e calcário (carbonato de cálcio), além de óxidos metálicos (ferro, cobalto, manganês, níquel, alumínio, cromo, arsênio, bário e outros). É considerado uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, inerte e biologicamente inativo. Entre as principais características do vidro estão a transparência, a dureza, a resistência e propriedades térmicas, ópticas e acústicas, entre outras características que tornam o vidro um material versátil e muito empregado em diferentes aplicações em vários tipos de indústria (ABRIVIDRO, 2019; VETTORATO et al., 2021; CARRARETO et al., 2011).

O vidro é utilizado em formatos distintos, como embalagens (garrafas, potes, frascos), vidros planos (para janelas, automóveis, fogões, geladeiras), vidros domésticos (copos, pratos, tigelas), fibras de vidro (tecidos e mantas aplicados em isolamento e reforço), e outros (lâmpadas, embalagens de medicamentos, vidros oftálmicos etc. (BERNESCHI; RIGHINI; PELLI, 2021; CARRARETO et al., 2011)).

Além dos usos comuns do vidro, há outras aplicações e desenvolvimentos que se destacam, mantendo e ampliando características físicas e químicas que tornam o vidro útil em aplicações nas áreas de saúde, comunicação, ótica, energia entre outros (BERNESCHI, RIGHINI, PELLI, 2021).

Além de ser versátil para a utilização, o vidro é um elemento que pode ser reciclado ou reutilizado. No caso da reciclagem do vidro, este entra novamente na cadeia de produção de novos produtos, incluindo o vidro, reduzindo a utilização de matérias primas e de energia no processo de produção, principalmente na cadeia do vidro (QI et al., 2019). A reutilização pode ser de embalagens inteiras sem retorno ao fabricante (COELHO et al., 2020), ou com retorno ao fabricante para reenvase do mesmo tipo de produto (BOUTROS, SABA; MANNEH, 2021), como refrigerantes e cervejas, ou a reutilização para a produção de outros produtos (ZHAN et al., 2022; SOUZA-DAL BÓ; DAL-BÓ; BERNARDIN, 2021; SHISHKIN et al., 2021), com o vidro quebrado ou triturado entrando na composição, substituindo ou não alguma matéria prima.

A produção global em volume de garrafas e recipientes de vidro chegou a quase 690 bilhões de unidades no ano de 2020, e estima-se que essa produção aumente ainda mais até 2026, podendo chegar a 922 bilhões de unidades. No ano de 2018 os recipientes de vidro representaram aproximadamente 45% do total do vidro que foi produzido mundialmente (GARSIDE, 2022).

Mundialmente, os maiores produtores de vidros são Japão, Estados Unidos, China, Alemanha, França, Itália, Espanha, Bélgica e Portugal. Um dos países que tem se mostrado com maior crescimento nesse mercado é a China, pela alta demanda no setor automotivo e a construção civil (PORTAL VIRTUHAB, 2022).

A quantidade de vidro produzido no Brasil em 2021 foi de 7.530 toneladas por dia, sendo 59% de vidro temperado, 23,7% espelho, 12,9% laminado, 3,8% tampo e 0,5% insulado (ABRIVIDRO, 2022). De acordo com a Associação Nacional de Catadores (ANCAT), o montante de vidro reciclado no mesmo ano foi aproximadamente de 55 mil toneladas, valor que corresponde a aproximadamente 17% do total do vidro que foi gerado (ANCAT, 2021).

## 2.2 Resíduo de vidro

No mundo, cerca de 130 milhões de toneladas de resíduos de vidros são produzidos a cada ano, sendo apenas 21% reciclados, representando um número ainda baixo, levando em consideração que o vidro pode ser 100% reciclável (FERDOUS et al., 2021), desde que haja a correta separação (PS VIDROS, 2022).

O problema do baixo índice de reciclagem de resíduos de vidro não está direcionado apenas aos países subdesenvolvidos. Nos Estados Unidos, mais de dez milhões de toneladas de resíduos de vidro são produzidos ao longo do ano, com cerca de 60% desses resíduos depositados em aterros e menos de 20% reciclados (LIU et al., 2022; EPA, 2020). Considerando a baixa taxa de reciclagem, entende-se que o vidro acaba sendo disposto em aterros e lixões, o que evidencia a necessidade de buscar soluções consideradas ambientalmente amigáveis e corretas (CORDEIRO; MONTEL, 2015).

A fabricação de produtos armazenados em embalagens de vidro (sucos, extratos etc.) ou produtos que usam o vidro na composição (equipamentos eletroeletrônicos, lâmpadas etc.), tem como resultado a grande geração de resíduos de vidro, que por ser não biodegradável, é inadequado à disposição em aterros ou no meio ambiente, pois causa poluição ambiental (LIU et al., 2022). Aumentar as taxas de reciclagem seria uma forma de redução da quantidade de resíduos descartados indevidamente. Além disso, reduz a necessidade de extração de novos produtos da natureza (OGUNDAIRO et al., 2019).

Além de melhorar os índices de reciclagem, a cadeia de reaproveitamento do vidro deve ser mais explorada. O reaproveitamento local por exemplo, diferentemente da reciclagem que envolve o retorno do vidro a locais específicos para processamento, facilita e reduz custos de logística. Porém, há ainda outros gargalos na correta gestão dos vidros, que incluem a segregação na origem e a coleta diferenciada desses materiais. Além disso, vidros contaminados com elementos tóxicos demandam de manejo e tratamento, aumentando os custos de reciclagem e reutilização. Apesar dos gargalos citados na cadeia do resíduo, o reaproveitamento do vidro vem sendo muito estudado (BRUSATIN et al., 2005; CHEN; ZHANG; ZHU 2009; MINGFEI et al., 2016; CALABRESE et al., 2020; IDIR, CYR, PAVOINE, 2020), apresentando resultados promissores.

De acordo com Lu e Poon (2019), os resíduos de vidro em Hong Kong tornaram-se um componente muito importante no fluxo de resíduos sólidos urbanos. Apesar da maior quantidade ainda ser descartada, aproximadamente 10% do resíduo de vidro é reutilizado como agregados na construção civil. Os autores citam que não há mais reutilização devido à falta de pontos de coleta, que é justificada pelo baixo valor pago ao material.

Conforme o exposto, as pesquisas sobre as novas perspectivas referente a reciclagem de resíduos de vidro na fabricação de concreto para infraestrutura civil sustentável trazem um novo conceito de reutilização desses resíduos, pois o tamanho das partículas e a porcentagem de substituição do vidro demonstraram influências substanciais na resistência à compressão do concreto. O vidro está sendo muito utilizado para substituir parcialmente até mesmo o cimento, onde pesquisas mostram que o uso de resíduo pode aumentar a resistência à compressão, como também, estudos que utilizaram o resíduo de vidro como substituição total ou parcial de agregados miúdos ou graúdos verificaram redução da resistência a compressão, onde isso tende a estar intimamente ligado com o tamanho das partículas de vidro e a porcentagem de substituição (GUO; MENG; NASSIFI, 2020).

### 2.3 Reaproveitamento em novos produtos

A busca de práticas ecologicamente corretas evidencia a crescente procura por materiais considerados sustentáveis e de alto desempenho na indústria da construção civil (OLUWAROTIMI et al., 2019). Assim, muitos resíduos têm sido estudados como matérias primas, sendo o vidro um desses resíduos empregados na produção de diversos artefatos para uso na construção.

Estudos sobre o uso do vidro em formulações cerâmicas, por exemplo, são conduzidas com o objetivo de reduzir a temperatura de queima e manter ou melhorar as propriedades do produto final. De acordo com Gol et al. (2021), o reaproveitamento de resíduos de vidro na fabricação de esmaltes de louças cerâmicas diminuiu os valores de absorção de água para esmaltes transparentes e foscos e aumentou a resistência destes ao calor, quando do uso de 3% e 5% de resíduos de vidro na mistura.

Souza-Dal Bó et al. (2021) observaram também efeitos positivos na preparação de um composto cerâmico fundido, chamado de fritas cerâmica e nas diversas misturas de cerâmicas para esmaltes, como maior resistência ao ataque químico e na capacidade da superfície do esmalte cerâmico permanecer inalterada quando em contato com o hipoclorito de sódio e do ácido clorídrico, utilizando de 8-15% em massa de resíduos de vidro laminado.

Na produção de agregado sintético de argila, Oliveira et al. (2019) reaproveitaram o vidro triturado (diâmetro inferior a 0,044 mm), a 20% da massa total. Os autores verificaram o aumento da resistência mecânica e da massa específica e redução da absorção de água (2,8%), até a temperatura de 1.000 °C. Em temperatura superior a 1.000 °C, a absorção de água aumentou (4,8%) devido a água preencher os vazios gerados pela expansão dos gases causada pelo maior aquecimento.

Trentin et al. (2020) estudaram a utilização do resíduo de vidro na argamassa, com substituição parcial do agregado miúdo em 10, 15, 25 e 50% nos tempos de 7, 28, 63 e 91 dias. A substituição de 50% de vidro moído levou ao aumento na resistência à compressão de 27,38% em comparação ao traço de referência. Por outro lado, todos os traços de vidro nas argamassas testados apresentaram elevado coeficiente de absorção de água, não sendo recomendável, segundo os autores, a utilização dessas argamassas em revestimentos.

Para Maier e Durham (2012), a utilização de agregado de cimento reciclado e vidro moído na substituição de agregados graúdos e miúdos, respectivamente, teve resultados positivos, pois a utilização desses materiais trouxe benefícios em relação à resistência e durabilidade com adição de até 50% de resíduo quando comparado com um concreto convencional feito de materiais virgens. Como pontos negativos, os autores relatam a diminuição na trabalhabilidade, permeabilidade e resistência do concreto com a adição de vidro acima de 50%.

Conforme Letelier et al. (2019), o uso combinado de resíduos de concreto e vidro em substituição ao cimento Portland tradicional em argamassa apresentou atividade pozzolânica mais lenta, ou seja, o endurecimento lento do cimento. Por outro lado, a atividade pozzolânica aumentou com a redução do tamanho das partículas. No caso do pó de vidro com tamanho máximo de 38 µm, na substituição de 10 e 20% de pó de vidro em relação ao cimento, manteve-se a resistência à compressão em relação ao concreto tradicional. Os autores indicaram, então, que as propriedades físicas são mais afetadas pelo tamanho das partículas do que pela quantidade de resíduo.

O resíduo de vidro de lâmpadas fluorescentes triturado e usado como substituto de agregado miúdo em argamassa de cimento alcançou resultados importantes. A substituição da areia em 10, 20,

30 e 40% em relação a massa do agregado miúdo melhorou a trabalhabilidade e reduziu a retração por secagem, como também a absorção de água, que ficou próxima a zero. Por outro lado, as resistências à flexão e à compressão diminuíram com o aumento do teor do resíduo de vidro nas misturas de argamassa, mas os resultados globais do estudo demonstram que pode ser viável a substituição do resíduo de vidro em argamassa de cimento (LING; POON; 2017).

O estudo da substituição de 25, 50, 75 e 100% de areia por cacos de vidro como agregados com técnicas de impressão 3D de construção (TIC3D) demonstrou que a mistura de cacos de vidro reciclado com o concreto é viável para aplicações de TIC3D, embora a mistura em que 100% da areia foi substituída pelo resíduo apresentou redução de 24,6% na resistência a compressão em comparação ao traço original. Essa diminuição de resistência é relatada pelos autores como referente à falta de adesão entre as partículas de vidro reciclado e a matriz ligante, devido ao maior teor de água adicionado à pasta de cimento (TING; TAY; TAN; 2021).

O resíduo de vidro pode ser reutilizado junto com outros materiais, como por exemplo a lama vermelha (refino da bauxita) e o cimento, produzindo um geopolímero ecológico que pode ser utilizado em substituição de argamassas cimentícias, determinados produtos minerais que são empregados em revestimentos e adesivos resistentes ao fogo e ao calor etc. Destaca-se que a granulometria do resíduo de vidro era bastante fina, com 90% de seus grãos menores que 21  $\mu\text{m}$ , e razão de lama vermelha/resíduos de vidro de 1,5 (SILVEIRA et al., 2022).

Na produção do concreto com agregado reciclado (CAR) com a inclusão de resíduo de construção e demolição, Zhan et al. (2022) incorporaram o pó de vidro residual (PVR) e pó de escoria de aço (PEA) em substituição parcial do cimento. Os autores observaram melhoria no concreto devido a inclusão do PVR e PEA, com os resultados indicando que esses dois resíduos possuem efeito significativo sinérgico na melhoria do desempenho no concreto. O CAR com inclusão de 10% de PVR e 20% de PEA demonstrou aumento na resistência a compressão aos 28 e 120 dias, 28,3% e 22,8%, respectivamente, em relação ao concreto convencional. A granulometria das partículas utilizadas de PVR e o PEA na pesquisa foram menores que a do cimento.

Lee et al. (2018) relatam que na avaliação de desempenho de concreto incorporando pó de vidro e um resíduo de pó de grau mais fino chamado de lodo de vidro, como material de substituição parcial ao cimento, o concreto apresentou melhorias nas propriedades mecânicas, microestruturais e a durabilidade. Com a substituição parcial do cimento por resíduos com granulometria fina na fabricação de concretos, notou-se que as resistências dos concretos em idades iniciais foram menores do que o concreto tradicional, mas nas idades posteriores a 90 dias, a resistência do concreto com resíduos foi maior à do concreto convencional. Os autores relatam que esses resultados contribuem no desenvolvimento sustentável, devido a utilização de resíduos, associado ao baixo custo de produção.

Para Costa; Almeida; Moreira (2020), a produção de concreto e argamassas reutilizando vidro de garrafas *long neck*, em substituição ao agregado miúdo areia, surtiu efeitos positivos. Foram estudadas as incorporações de vidro em 10, 20 e 30% da massa do agregado miúdo. A resistência à compressão foi testada em corpos de prova aos 3, 7 e 28 dias. A substituição parcial da massa da areia por vidro moído mostrou ganhos de resistência satisfatórios quando comparados com o traço de referência. O vidro influenciou na redução do teor de ar incorporado, dificultando a compactação dos concretos, pois, o aumento da substituição da areia pelo vidro moído diminuiu também a fluidez, dificultando assim a trabalhabilidade dos concretos e argamassas.

Oliveira et al. (2021) avaliaram a substituição da brita 0, com massa específica de  $2,7 \text{ kg/cm}^3$ , por vidro temperado de granulometria característica similar à da brita, com massa específica de  $2,5 \text{ kg/cm}^3$ , na fabricação do concreto. A substituição da brita por vidro promoveu menor retenção de água e propiciou um concreto mais trabalhável que o convencional, não apresentando variações significativas na massa específica do concreto úmido e nem na resistência à compressão dos corpos de provas, que foram produzidos nas proporções de 0, 10, 20, 50, 70 e 100% de substituição da brita por vidro. Assim, o uso do resíduo de vidro temperado em substituição ao agregado na fabricação do concreto teve pontos econômicos e ecológicos positivos, independente da porcentagem substituída. Um ponto negativo levantado pelos autores é a não indicação para fins estruturais.

Pazl e Santos (2019) utilizaram o vidro fosco de garrafas de cachaça (marca 51) e cerveja *long neck* triturados na produção de concreto, em substituição ao agregado miúdo nas proporções de 5, 15, 25 e 35%. O vidro triturado apresentava a mesma faixa de granulometria do agregado miúdo (passante em peneira 4,8 mm e retido em peneira 0,075 mm). Os resultados indicaram que o concreto apresentou resistência de 32,37 MPa, superior ao mínimo estabelecido por norma (25 MPa), com substituição de até 35% de resíduo de vidro.

## 2.4 Vidro em blocos de concreto

A fabricação de blocos de concreto com resíduo de vidro em sua composição apresenta cenários, como melhorias nas características ou resultados que indicam danos aos blocos. Na sequência será exposto estudos que mostram a variabilidade dos resultados que estão relacionados aos agregados que são substituídos, às porcentagens de substituição, ao tipo e à granulometria do vidro, idade de avaliação dos blocos entre outros.

Conforme Carvalho (2021), a substituição parcial da areia pelo pó de vidro proveniente de resíduos de garrafas long neck na granulometria de faixa 9,5 mm a 0,075 mm, trouxe resultados positivos na produção blocos de concreto. A substituição foi nas proporções de 0, 10, 20 e 30%, com resultados indicando maior resistência à compressão e menor absorção de água quando comparado ao traço padrão.

Grdic et al. (2021) utilizaram o vidro de tubo de raios catódicos (tubos de TV) descartados na fabricação de blocos de concreto. A substituição de areia pelo vidro foi de até 50%, moído em granulometria de 0,25 a 1,00 mm, correspondendo a granulometria da areia. A utilização do vidro mostrou que não houve alteração na densidade aparente, não houve prejuízo na durabilidade do produto em termos de ações a intempéries, nem aumento da absorção de água e nem redução da resistência dos blocos de concreto.

No estudo do uso combinado de cinzas de lodo de esgoto (CLE) e cacos de vidro (CV) reciclado na produção de blocos de concreto, observou que nos testes realizados com esses resíduos incorporados ao concreto, a substituição de até 20% de cimento garantiu a resistência à compressão recomendada aos 28 dias, mesmo com o aumento do teor de água na mistura para hidratação do cimento. O teor ótimo dos resíduos combinados foi de 20% de CLE como substituto do ligante e 50% de CV nos agregados, todos com granulometria menor que 5 mm. Dessa forma, sendo viável a produção de blocos de concreto com alto teor de CV como agregados e CLE como material cimentício complementar, em que o teor dos dois resíduos no bloco pode chegar basicamente 39% em peso do bloco em relação aos materiais convencionais. Portanto, o uso combinado de CLE e CV produz blocos

de concreto para pavimentação com propriedades mecânicas com durabilidade, além de auxiliar na reciclagem dos dois tipos de resíduos sólidos (CHEN; LI; POON; 2018).

Conforme verificado em estudos já realizados, o vidro reciclado pode ser utilizado nas argamassas de mistura seca e úmida para fabricação de blocos de concreto, com substituição parcial de até 30% da massa do cimento por pó de vidro, com granulometria de 48,3  $\mu\text{m}$ , em que nessa pesquisa trouxe resultados positivos em relação a reação álcali-sílica-RAS. Também o vidro pode substituir a areia nas proporções de 0, 50 e 100%. Com a finalização dessa pesquisa os resultados mostraram que o uso do pó de vidro como material adicional é eficaz para o controle da formação de um gel conhecido com reação sílica-alcalina na produção das argamassas misturadas a seco, sendo observado que no aumento da substituição do cimento e da areia pelo pó de vidro, os valores de expansão pela reação sílica-alcalina-RAS foram menores (YANG; LU; POON; 2020).

Segundo Souza et al. (2017), a pesquisa sobre a avaliação de blocos de concreto com adição de resíduos de vidro aplicados em pavimentação apresentou resultados positivos em relação a resistência à compressão e absorção de água com a substituição de 25% da areia em relação à composição do traço padrão. A média da resistência à compressão resultante nos blocos com resíduo, 35,28 MPa, e a absorção de água, 5,11%, cumpriram os limites da norma padrão NBR 9781 (28 MPa e 6%, respectivamente).

Costa e Arruda (2017) destacaram que os blocos de concreto para vedação e peças para pavimentação produzidos utilizando resíduo de vidro e resíduo da construção civil (RCC) como agregados em substituição de 100% da areia mostrou resultados de resistência à compressão satisfatórios, alcançando 3,7 Mpa, atingido valores recomendados pelas normas brasileiras, NBR 6136:2016 e a NBR 12118:2014 (ABNT, 2014; ABNT, 2010). Por outro lado, no teste de absorção de água, os blocos não se enquadraram ao valor máximo recomendado pelas normas citadas e que houve aumento da absorção de água conforme maior a quantidade pelo pó de vidro substituída.

No estudo sobre a adição de resíduos vítreos como finos em blocos intertravados de concreto, com substituição de 5, 10 e 20% do cimento pelo pó de vidro moído, Gonzaga et al. (2019) obtiveram resultados satisfatórios, com resistências à compressão dos blocos intertravados variados, alcançando resistência igual ou superior a 35 Mpa. Os autores afirmaram que, com a adição de até 20% de pó de vidro, obtém-se um bloco mais próximo do ideal em relação a resistência e absorção de água entre 4,61 a 5,32%, atendendo os padrões especificados nas normas.

## 2.5 Os materiais e suas reações

Conforme estudos, a composição química dos resíduos de vidro tem os seguintes componentes, com as determinadas faixas de porcentagem destes: dióxido de silício -  $\text{SiO}_2$  (70 a 75%), óxido de cálcio -  $\text{CaO}$  (8 a 10%), óxido de alumínio -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (1 a 3%), óxido de magnésio -  $\text{MgO}$  (1,5 a 3 %), superóxido de sódio -  $\text{NaO}_2$  (0 a 15%) e óxido de ferro -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,5 a 1%). O  $\text{SiO}_2$  por não possuir uma forma regular e cristalizada, estando presente nos resíduos de vidro, atua com uma função importante como a reação com a cal, formando silicatos de cálcio, gerando o efeito aglomerante no cimento, consequentemente um bom desempenho do concreto, desde a hidratação até o quesito de resistência (DHIR; DYER; TANG, 2009; RAHMA; EL NABER; ISSA ISMAIL, 2017; ARABI et al. 2019).

A composição química de diferentes resíduos de vidro mostra que o vidro tem grandes quantidades de silício, cálcio e estrutura amorfa, sendo que o vidro possui a capacidade de atuar como



um material pozolânico ou até mesmo cimentício. E estudos iniciais indicam que o vidro pode ser utilizado como matéria prima para a produção de cimento sem nenhum efeito negativo em suas propriedades físicas e químicas (OMRAN e TAGNIT-HAMOU, 2016; JIANG et al, 2022).

Em relação ao desempenho mecânico e durabilidade dos materiais obtidos pela substituição do cimento por resíduos de vidro há dependência principalmente do tamanho da partícula e porcentagem da substituição. Assim, estudos mostram que as partículas finas do resíduo de vidro melhoram o desempenho mecânico e durabilidade, sendo sugerido que para alta resistência utilizem-se partículas de vidro menores que 100 µm, uma vez que se verificou diminuição do desempenho mecânico quando as partículas são mais grossas (JANI e HOGLAND; 2014; AHMAD et al. 2022).

Durante a confecção da argamassa ou do concreto podem ocorrer reações entre os materiais utilizados, como a reação de hidratação do cimento com os agregados. Porém, dependendo da composição mineralógica dos materiais, outras reações acontecem e estas podem ser benéficas ou não ao produto final. Um exemplo são as reações álcali-agregado-RAA, reações que ocorrem entre os álcalis do cimento e alguns compostos minerais reativos presentes nos agregados, e que podem gerar problemas ao concreto, como por exemplo a fissuração.

A RAA engloba as reações álcali-silicato, álcali-carbonato e álcali-sílica. A reação álcali-sílica-RAS é a reação de íons alcalinos ( $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ), que surgem da solução do concreto, e a sílica presente em alguns agregados. A RAS é tida como causa universal da deterioração do concreto, em que a reação produz um gel expansível que pode causar tensão interna e rachaduras (ANDRADE, 1997; GILLOTT, 1975; HOBBS, 1988; XI et al., 2019).

Para Tinoco e Junior (2018), a RAS acontece quando o agregado graúdo ou miúdo apresenta um grau maior de reatividade e entra em contato com os íons (hidróxidos alcalinos) liberados pelo cimento, como óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) ou o óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ). Quando os constituintes mineralógicos do agregado entram em contato com os álcalis forma-se o gel higroscópico, que na presença de umidade se expande. O efeito da expansão é negativo, gerando as fissuras no concreto, fragmentação e outros meios de deterioração (ISLAM e GHAFORI; 2013), comprometendo sua capacidade de resistir às cargas.

Tem-se que a RAS é a reação com maior número de eventos registrados no Brasil, sendo um dos mais nocivos mecanismos que afetam também a durabilidade do concreto. Essas reações acontecem com rapidez, devido as formas minerais reativas envolvidas (SOUZA; ZOLETT; CARRAZEDO; 2016; LANGARO et al., 2021).

Considerando a natureza do vidro, a sua utilização na composição de peças à base de cimento apresenta relatos de patologias que podem acontecer devido às reações químicas indesejadas que ocorrem durante a hidratação do cimento, como a reação álcali-sílica descrita (PAZL e SANTOS, 2019). Assim, a reação álcali-sílica pode restringir as aplicações práticas de agregados de vidro reciclado no concreto. Por outro lado, constatou-se que a expansão da reação alcalino-sílica de agregados de vidro em argamassas pode ser reduzida quando se trabalha com argamassas de mistura mais úmida (YANG; LU; POON, 2020).

Para além, Tinoco; Júnior (2018) indicaram que se pode evitar a RAS com a correção do concreto desde sua preparação utilizando materiais neutralizadores, como a escória de alto forno contendo materiais pozolânicos, sílica ativa, dentre outros. Alguns tipos de cimentos como o CP II E, CP II Z, CP III e CP IV, que apresentam como característica a incorporação de pozolana e sílica ativa também traz resultados seguros, com menor chance de ocorrer a RAA. Alguns autores comprovaram

que um dos métodos eficazes para o controle da RAS diz respeito ao uso de materiais apropriados, sendo um deles a substituição parcial de cimento por adições por pozolanas, como as cinzas volantes, escórias etc. (SOUZA; ZOLETT; CARRAZEDO; 2016; LANGARO et al. 2021).

De acordo com Frias (2021), resíduos de vidro como de garrafas, para-brisas, lâmpadas fluorescentes, quando substituindo o cimento em até 20%, exibem resistência mecânica a longo prazo maior ou igual aos valores observados em matriz de referência com 0% de resíduo de vidro. A curto prazo resíduos de vidro com alto teor de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), cerca de 9 a 15%, podem induzir a RAA (SHAO et al., 2000; ELAQRA; RUSTOM, 2018; LIU; FLOREA; BROUWERS, 2018). Como alternativa para combater o efeito da RAA, o vidro com tamanho de partícula muito pequena, menor que 300  $\mu\text{m}$ , substitui parcialmente o cimento afim de garantir que o gel derivado da RAS não seja expansivo (MATOS; SOUSA-COUTINHO; 2012; ZHENG; 2016; CAI; XUAN; POON; 2019).

Portanto, realizando as adequações necessárias é possível utilizar o resíduo de vidro na produção de artefatos à base de cimento, evitando ou reduzindo o simples descarte deste material, estimulando a cadeia de coleta e reutilização local ou regional. No Quadro 1 pode-se observar alguns trabalhos sobre a utilização do resíduo de vidro em argamassa e concreto.

Verifica-se que há muitos estudos sobre a utilização do resíduo de vidro na produção de materiais cimentícios, embora haja poucos estudos relativos à produção de blocos de concreto à seco. Os estudos apresentados demonstram a viabilidade técnica da utilização do vidro em substituição dos agregados ou mesmo do cimento, sendo interessante do ponto de vista da economia circular. O concreto é um produto produzido em muitas cidades, e a possibilidade de reaproveitar o vidro localmente é real e com menores custos de logística.

Quadro 1 – Relação de estudos de substituição de resíduos de vidro por agregados ou cimento

| Fonte                         | Tipo de artefato | Característica do vidro                           | Fração substituída e granulometria         | Porcentagem                   | Principais resultados                                                                                                                                                                                  | Hipóteses                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------|------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ortega et al., 2018           | Argamassa        | Recipientes de reciclagem municipais              | Cimento por pó de vidro a 10 nm a 0,1 mm   | 0, 10 e 20%                   | A resistência à compressão aumentou dos 28 aos 200 dias nas argamassas estudadas.                                                                                                                      | O aumento na resistência à compressão pode estar relacionado à diminuição contínua dos vazios nas argamassas.                                                                                                                                      |
| Rahman; Uddin, 2018           | Concreto         | Garrafas de vidro descartadas                     | Cimento por pó de vidro menor que 0,075 mm | 0, 10, 20 e 30%               | Viabilidade na substituição de apenas 20%, tendo uma menor resistência à compressão inicial em relação ao traço padrão, mas chegando a 2,03 MPa os 28 dias, enquanto o traço padrão alcançou 1,96 MPa. | Esse aumento de resistência à compressão na substituição de 20% do cimento pelo pó de vidro com essa granulometria pode estar associado ao efeito pozolânico, contribuindo também com a diminuição das reações álcali-sílica.                      |
| Natarajan et al., 2020        | Concreto         | Garrafas de vidro descartado em lixões.           | Areia por pó de vidro a 0,075 a 2 mm.      | 0, 10, 20 e 30%               | Maior resistência à compressão nos ensaios com vidro do que os do traço padrão, aos 28 dias.                                                                                                           | A substituição de finos em até 30% pode ter contribuído com a funcionalidade do concreto que aumentou proporcionalmente com o aumento do teor de pó de vidro.                                                                                      |
| Abdulazeez et al., 2020       | Concreto         | Vidro proveniente de garrafas de bebidas diversas | Cimento por pó de vidro a 75 µm            | 0, 5, 7,5, 10, 12,5, 15 e 20% | A resistência à compressão aumentou, com até 10% de substituição de pó de vidro, atingindo o valor mínimo previsto na norma, mas diminuindo a trabalhabilidade e a absorção de água.                   | Por apresentar características pozolânicas, o pó de vidro na substituição de 10%, possibilitou produzir um concreto muito resistente.                                                                                                              |
| Tamanna e Tuladhar, 2020      | Concreto         | Vidros de cores mistas                            | Cimento por pó de vidro a 45 µm            | 0, 10, 20 e 30%               | A pesquisa mostrou que o uso do pó de vidro como substituto do cimento é viável para níveis de substituição de até 10%.                                                                                | Com a substituição do pó de vidro o concreto não apresentou ganho de resistência em idades iniciais pelo retardo na reação pozolânica, mas posteriormente alcançou a resistência característica de 32 MPa aos 28 dias, com menor absorção de água. |
| Arivalagan e Sethuraman, 2021 | Concreto         | Resíduos de vidros mistos                         | Areia por pó de vidro a 0,15 a 2,36 mm     | 0, 10, 20 e 30%               | Resistência à compressão dentro dos padrões, com substituições de até 20%.                                                                                                                             | A distribuição de tamanho de partícula de agregado fino de pó de resíduo de vidro contribuiu com a resistência, no entanto, diminuindo a trabalhabilidade do concreto.                                                                             |
| Zanwar e Partil, 2021         | Concreto         | Agrupamento de vidro, garrafas de bebidas         | Cimento por pó de vidro a 75 µm            | 0, 10, 20 e 30%               | Em até 20% de inclusão de resíduo de vidro houve um aumento de 12,5% de resistência a compressão em relação ao concreto padrão, no entanto, diminuiu a trabalhabilidade e a absorção de água           | O uso do pó de vidro diminui os poros da pasta de cimento, refletindo nas propriedades do concreto, a trabalhabilidade diminui em função do pó de vidro ser mais fino em comparação                                                                |

|                      |          |                                                |                                                                                                       |                                                                                   |                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------|----------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                      |          |                                                |                                                                                                       |                                                                                   | do concreto.                                                                                                                                                                | ao cimento, tendo maior área de superfície, consumindo menos água pelo rápido fechamento dos poros e contribuindo com uma menor absorção de água.                                                                                                                                             |
| Zeybek et al., 2022  | Concreto | Diversos tipos de garrafas de refrigerante.    | Cimento por vidro a 0,1 a 0,2 mm. Agregado miúdo por vidro a 1,7 a 4 mm. Agregado graúdo a 5 a 12 mm. | Cimento por vidro: 10, 20, 30, 40 e 50%. Agregados miúdos e graúdo: 10, 20 e 30%. | A substituição de até 20% do cimento por pó de vidro e 30% do agregado miúdo e graúdo pelo resíduo de vidro foi considerado positivo, dentro dos padrões da norma.          | Conclui-se que, quando usado o resíduo de vidro em substituição parcial ao cimento, agregado miúdo e graúdo, houve aumentos significativos na resistência, mas acima de 30% ocorreu a diminuição da trabalhabilidade no concreto e da resistência.                                            |
| Jiang et al., 2022   | Concreto | Recipientes de vidro comum                     | Cimento por pó de vidro a 18,21 µm                                                                    | 0, 10, 20 e 30%                                                                   | Houve diminuição na resistência a compressão nos percentuais substituídos em temperatura ambiente e aumento da resistência a compressão a temperatura de 800 °C a 1.000 °C. | Esse aumento pode estar ligado as partículas de pó de vidro não reagidas derreteram após exposição a temperaturas de 800 °C e preencheram os poros da matriz da pasta de cimento, tornando a matriz mais densa e homogênea, aumentando a resistência.                                         |
| Malbila et al., 2022 | Concreto | Vidro proveniente garrafas de bebidas diversos | Cimento por pó de vidro a 80 µm                                                                       | 0, 10, 20%                                                                        | A resistência à compressão aumentou com até 20% de substituição de pó de vidro, atingindo a norma, mas diminuindo a trabalhabilidade e a absorção de água.                  | O pó de vidro contribui nas características físicas e mecânicas do concreto, atingindo a resistência a compressão em norma após 28 dias, caracterizada pela condição pozolânica do pó de vidro, diminuindo a trabalhabilidade e absorção de água acima de 20% de substituição do pó de vidro. |

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Por outro lado, a trituração e o manuseio do vidro precisam ser aprimorados. Obter o vidro moído ou triturado exige gastos energéticos importantes, equipamentos específicos e cuidados em termos ambientais e de saúde e segurança dos operadores.

Neste aspecto, observa-se que a obtenção do vidro na granulometria necessária demanda de mais estudos e desenvolvimento de equipamentos e técnicas para o emprego do resíduo de vidro de forma eficiente na cadeia do vidro pós-uso.

### 3 CONCLUSÃO

A utilização do resíduo do vidro em substituição ao cimento, agregados graúdos, miúdos ou de outros materiais é possível e tecnicamente viável na produção de artefatos para a construção civil, com a viabilidade analisada em termos de resistência à compressão e absorção de água, principalmente.

Os principais fatores observados que influenciam nas características físicas e químicas são a granulometria do vidro, as quantidades de vidro empregadas e a umidade da mistura. A utilização de resíduo de vidro em diferentes granulometrias demonstra que a atividade pozolânica aumenta conforme a redução do tamanho das partículas, sendo as propriedades físicas dos produtos mais afetadas pelo tamanho das partículas do que pela quantidade de resíduo utilizado no concreto ou argamassa. Quanto maior a granulometria do resíduo de vidro, menor será a trabalhabilidade do concreto e consequentemente a resistência.

### 4. REFERÊNCIAS

ABDULAZEEZ, A. S. IDI, M. A. KOLAWOLE, M. A. HAMZA, B. - **Effect of Waste Glass Powder as A Pozzolanic Material in Concrete Production**. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). doi: 10.17577/IJERTV9IS020296. Disponível em: <https://www.ijert.org/research/effect-of-waste-glass-powder-as-a-pozzolanic-material-in-concrete-production-IJERTV9IS020296.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2023.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação – Especificações e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2013.

ABRIVIDRO, 2022 – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro – ABIVIDRO. **O Ciclo Do Vidro**. Disponível em: <https://abividro.org.br/o-ciclo-do-vidro/>. Acesso em: 05 ago. 2022.

ANCAT. **Anuário da Reciclagem 2021**. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/anuario-da-reciclagem-2021-retrata-a-realidade-dos-catadores-de-materiais-reciclaveis-e-de-suas-organizacoes-no-brasil/>. Acesso em: 21 jul. 2022.

ANDRADE, W. P. (Ed.). **Concretos massa, estrutural, projetado e compactado com rolo: ensaios e propriedades**. São Paulo: Pini, 1997.

ARABI, N.; MEFTAH, H.; AMARA, H.; KEBAILI, O.; BERREDJEM, L. **Valorization of Recycled Materials in Development of Self-Compacting Concrete: Mixing Recycled Concrete Aggregates—Windshield Waste Glass Aggregates**. Constr. Build. Mater. 2019, 209, 364–376. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.024>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819305045>. Acesso em: 04 jan. 2023.

ARIVALAGAN, S., SETHURAMAN, V. S. **Experimental Study on the Mechanical Properties of Concrete by Partial Replacement of Glass Powder as Fine Aggregate: An Environmental Friendly Approach**. Zeybek 45 (2021): 6035-041. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez52.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2214785320374472?via%3Dihub>. Acesso em: 06 jan. 2023.

BERNESCHI, S., RIGHINI, G. C., PELLI, S., - **Towards a Glass New World: The Role of Ion-Exchange in Modern Technology.** Review Applied sciences. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/10/4610>. Acesso em: 11 ago. 2022.

BOUTROS, M., SABA, S., MANNEH, R. - **Life cycle assessment of two packaging materials for carbonated beverages (polyethylene terephthalate vs. glass): Case study for the lebanese context and importance of the end-of-life scenarios.** Journal of Cleaner Production 314 (2021) 128289. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965262102504X>. Acesso em: 11 ago. 2022.

BRUSATIN, G. BERNARDO, E. ANDREOLA, F. BARBIERI, L. LANCELLOTTI & S. HREGLICH I.- **Reutilization of waste inert glass from the disposal of polluted dredging spoils by the obtainment of ceramic products for tiles applications.** Journal of materials science 40 (2005) 5259 – 5264. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-005-4421-2>. Acesso em: 11 ago. 2022.

CAI, Y., XUAN, D., POON, C. S. - **Effects of nano-SiO<sub>2</sub> and glass powder on mitigating alkali-silica reaction of cement glass mortars.** Construction and Building Materials Volume 201, 20 March 2019, Pages 295-302. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.186>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818331829>. Acesso em: 05 jan. 2023.

CALABRESE, L. SCALICI, T. KHASKHOUSI, A. PROVERBIO, E. VALENZA, A. - **Micro-tomographic characterization of composite recycled glass-silicone foams for applications in civil engineering.** doi.org/10.1002/app.48718. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/app.48718>. Acesso em: 12 ago. 2022.

CARRARETTO, A. R., CURI, E. F., ALMEIDA, C. E. D., ABATTI, R. E. M., - **Ampolas de Vidro: Riscos e Benefícios** – Rev. Bras. Anestesiol 2011; 61: 4: 513-521. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rba/a/rCCBzdXKYPKqprCpLy8rqxJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 ago. 2022.

CARVALHO, M. N. - **Incorporação de Resíduos de Vidro do Tipo “Garrafas Long Neck” em Blocos de Concreto.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus Universitário de Sinop, na área de concentração Biodiversidade e Bioprospecção. Disponível em: <https://cms.ufmt.br/files/galleries/95/Disserta%C3%A7%C3%B5es%202021/Dffbe8d4c635abfe0717da68a8d710b5593f3c35e.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2023.

CHEN, Z. LI, J. S., POON, C. S., - **Combined use of sewage sludge ash and recycled glass cullet for the production of concrete blocks.** Journal of Cleaner Production Volume 171, 10 January 2018, Pages 1447-1459. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez52.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652617324460?via%3Dihub>. Acesso em: 20 set. 2022.

CHEN, M. ZHANG, F. S. ZHU, J. - **Lead recovery and the feasibility of foam glass production from funnel glass of dismantled cathode ray tube through pyrovacuum process.** Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, 18 Shuangqing Road, Beijing 100085, China. Journal of Hazardous Materials. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez52.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0304389408006092>. Acesso em: 13 ago. 2022.

CORDEIRO, R. S; MONTEL, A. L. B; - **Feasibility study for the production of concretes with addition of glass waste in substitution to fine aggregate for the city of palmas-to.,** V. 2, Nº Especial, p. 104-123, 2015. Disponível em: [https://r.search.yahoo.com/\\_ylt=AwrNaBOP9xpkDPUOFLzz6Qt;\\_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzEEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1679517712/RO=10/RU=https%3a%2f%2fbetas.uft.edu.br%2fperiodicos%2findex.php%2fdesafios%2farticle%2fview%2f1556%2f8346/RK=2/RS=8xDhCPz2vfdzxmgeiVl3cLZ3pcl.-](https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrNaBOP9xpkDPUOFLzz6Qt;_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzEEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1679517712/RO=10/RU=https%3a%2f%2fbetas.uft.edu.br%2fperiodicos%2findex.php%2fdesafios%2farticle%2fview%2f1556%2f8346/RK=2/RS=8xDhCPz2vfdzxmgeiVl3cLZ3pcl.-) Acesso em: 11 ago. 2022.

COSTA, K. M. ALMEIDA, R. C. MOREIRA, T. A. S.- **Análise do Desempenho Mecânico de Concretos e Argamassas Mediante a Substituição Parcial da Massa do Agregado Miúdo (Areia) por Vidro Moído Oriundo de Garrafas de Cerveja Long Neck.** – RCT – Revista de Ciência e Tecnologia, 2020. Disponível em: <https://revista.ufr.br/rct/article/view/5942>. Acesso em: 30 out. 2022.

COSTA, J. S. ARRUDA, L. P. C. - **Blocos para vedação de concreto e peças para pavimentação, utilizando resíduo de vidro e resíduo da construção civil (rcc) como agregado**. 5º Encontro em Engenharia da Edificações e Ambiental Cuiabá-MT, 21 e 22 de novembro, Universidade Federal de Mato Grosso, 2017. Disponível em: <https://eventosacademicos.ufmt.br/index.php/eeeea/eeeea2017/paper/viewFile/5807/797>. Acesso em: 10 nov. 2022.

DHIR, R.K.; DYER, T.D.; TANG, M.C. **Alkali-Silica Reaction in Concrete Containing Glass**. Mater. Struct. 2009, 42, 1451–1462. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-008-9465-8>. Acesso em: 05 jan. 2023.

ELAQRA, H., RUSTOM, R. - **Effect of using glass powder as cement replacement on rheological and mechanical properties of cement paste**. Construction and Building Materials. Volume 179, 10 August 2018, Pages 326-335. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.263>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818313473>. Acesso em: 05 jan. 2023.

FEVE 2022 - **Glass is a reusable, returnable and refillable material** - Disponível em: <https://feve.org/about-glass/sustainable-material/>. Acesso em: 30 nov. 2022.

FERDOUS, W., MANALO, A., SIDDIQUE R., MENDIS, P, ZHUGE, Y. WONG, H. S., LOKUGE, W, ARAVINTHAN, T., SCHUBEL, P. - **Recycling of landfill wastes (tyres, plastics and glass) in construction – A review on global waste generation, performance, application and future opportunities**. – Magazine Resources, Conservation & Recycling- Volume 173, outubro de 2021, 105745. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344921003542>. Acesso em: 01 dez. 2022.

FRÍAS, M., MARTÍNEZ-RAMÍREZ, S., VIGIL DE LA VILLA, R., FERNÁNDEZ-CARRASCO, L., GARCÍA, R. - **Reactivity in cement pastes bearing fine fraction concrete and glass from construction and demolition waste: Microstructural analysis of viability**. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106531>. Cement and Concrete Research Volume 148, October 2021, 106531. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884621001800>. Acesso em: 31 dez. 2022.

GARSIDE, M. - **Glass containers and bottles global production volume 2020 & 2026**. – Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/700260/glass-bottles-and-containers-production-volume-worldwide/>. Acesso em: 17 ago. 2022.

GILLOTT, J. E. **Alkali-aggregate reactions in concrete**. Engineering Geology, Amsterdam, v. 9, n. 4, p. 303-326, Dec. 1975.

GRDIĆ, D., DESPOTOVIĆ, I., RISTIĆ, N., GRDIĆ, Z., ČURČIĆ, G. T., - **Potential for Use of Recycled Cathode Ray Tube Glass in Making Concrete Blocks and Paving Flags**. Materials 2022, 15(4), 1499; <https://doi.org/10.3390/ma15041499>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/15/4/1499/htm>. Acesso em: 20 ago. 2022.

GUO, P., MENG, W., NASSIF, H. - **New perspectives on recycling waste glass in manufacturing concrete for sustainable civil infrastructure**. Construction and Building Materials. Volume 257, 10 October 2020, 119579. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820315841>. Acesso em: 22 set. 2022.

GOL, F., YILMAZ, A., KACAR, E., SIMSEK, S., SARITAS, Z. G., TURE, C., ARSLAN, M., BEKMEZCI, M., BURHAN, H., SEM, F. - **Reuse of glass waste in the manufacture of ceramic tableware glazes**. Magazine Ceramics International. Volume 47, Issue 15, 1 August 2021, Pages 21061-21068. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.04.108>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884221011524?via%3Dihub>. Acesso em: 21 ago 2022.

GONZAGA, D. SUARTE JUNIOR, F. M. SCHUSSLER, J. T. L. DUARTE, K. C. B. BORGES, M. A. S. - **Estudo da adição de resíduos vítreos como fino em blocos intertravados de concreto**. Ciência e Tecnologia. XXI Jornada de Inicialização Científica. ISSN 2318-3756. Disponível em: <https://fswceulp.nyc3.digitaloceanspaces.com/jornada-de-iniciacao-cientifica/2019/artigos/engenharias/estudo-da-adicao-de-residuos-vitreos-como-fino-em-blocos.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2022.

HOBBS, D.W. **Alkali-silica reaction in concrete**. London: Thomas Telford, 1988.

IDIR, R. CYR, M. PAVOINE, A. - **Investigations on the durability of alkali-activated recycled glass**. Construction and Building Materials Volume 236 (2020) 117477. Disponível em: [https://www-sciencedirect.ez52.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0950061819329290](https://www.sciencedirect.ez52.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0950061819329290). Acesso em: 14 ago. 2022.

ISLAM, M. S. GHAFORI, Nader. **Evaluation of alkali-silica reactivity using ASR kinetic model**. Construction and Building Materials Volume 45, August 2013, Pages 270-274. Disponível em: [https://www-sciencedirect.ez52.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0950061813002584](https://www.sciencedirect.ez52.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0950061813002584). Acesso em: 04 nov. 2022.

JANI, Y., HOGLAND, W. - **Waste glass in the production of cement and concrete – A review**. Journal of Environmental Chemical Engineering Volume 2, Issue 3, September 2014, Pages 1767-1775. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.03.016>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez52.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2213343714000645?via%3Dihub>. Acesso em: 06 jan. 2023.

JIANG, X., XIAO, R. BAI, Y., HUANG, B. MA, Y. - **Influence of waste glass powder as a supplementary cementitious material (SCM) on physical and mechanical properties of cement paste under high temperatures**. Journal of Cleaner Production Volume 340, 15 March 2022, 130778. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130778>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez52.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652622004176?via%3Dihub>. Acesso em: 06 jan. 2023.

JIN, J. XI, W. RIVIERE, J. SHOKOUHI, P. **Single-Impact Nonlinear Resonant Acoustic Spectroscopy for Monitoring the Progressive Alkali-Silica Reaction in Concrete**. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10921-019-0614-5>. Acesso em: 09 nov. 2022.

JÚNIOR, NS. A. SILVA, G. RIBEIRO, DV. - **Effects of the incorporation of recycled aggregate in the durability of the concrete submitted to freeze-thaw cycles**. Construction and Building Materials Volume 161, 10 February 2018, Pages 723-730. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.076>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez52.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0950061817324777?via%3Dihub#b0005>. Acesso em: 30 nov. 2022.

LANGARO, E. A. SANTOS, C. A. MEDEIROS, M. H. F. JESUS, D. S. Pereira, E. - **Rice husk ash as supplementary cementing material to inhibit the alkali-silica reaction in mortars**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais [online]. 2021, v. 14, n. 4 ISSN 1983-4195. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952021000400004>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/riem/a/kMrWRDMZ3KpYYzxHyT7vqv/?lang=en#>. Acesso em: 08 nov. 2022.

LEE, H., HANIF, A., USMAN, M., JONGSUNG, S., OH, H. - **Performance evaluation of concrete incorporating glass powder and glass sludge wastes as supplementary cementing material**. Journal of Cleaner Production Volume 170, 1 January 2018, Pages 683-693. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.133>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez52.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652617320139>. Acesso em: 27 set. 2022.

LETELIER, V., HENRÍQUEZ-JARA, B. I. MANOSALVA, M., MORICONI, G. - **Combined use of waste concrete and glass as a replacement for mortar raw materials** - Waste Management 94 (2019) 107–119. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X19303496?fr=RR-2&ref=pdf\\_download&rr=74da23a98b08a5f1](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X19303496?fr=RR-2&ref=pdf_download&rr=74da23a98b08a5f1). Acesso em: 19 set. 2022.

LI, S. ZHANG, J. DU, G.; MAO, Z. MA, Q. LUO, Z. MIAO, Y. DUAN, Y. - **Properties of concrete with waste glass after exposure to elevated temperatures**. Journal of Building Engineering, v. 57, p. 22-31, 2022. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez52.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S235271022200835X>. Acesso em: 27 set. 2022.

LING, T. C., POON, C. S., - **Spent fluorescent lamp glass as a substitute for fine aggregate in cement mortar**. Journal of Cleaner Production. Volume 161, 10 September 2017, Pages 646-654. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez52.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652617311253>. Acesso em: 20 set. 2022.



LIU, G., FLOREA, M. V. A., BROUWERS, H. J. H. - **The hydration and microstructure characteristics of cement pastes with high volume organic-contaminated waste glass powder**. Construction and Building Materials Volume 187, 30 October 2018, Pages 1177-1189. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.162>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818318348>. Acesso em: 05 jan. 2023.

LIU, Z., SHI, C., SHI, Q., TAN, X., MENG, W. - **Recycling waste glass aggregate in concrete: Mitigation of alkali-silica reaction (ASR) by carbonation curing**. Journal of Cleaner Production Volume 370, 10 October 2022, 133545. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652622031250>. Acesso em: 22 set. 2022.

LU, X. J., POON, C. S., - **Recycling of waste glass in construction materials**. - New Trends in Eco-efficient and Recycled Concrete Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering 2019, Pages 153-167. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez52.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/B9780081024805000063>. Acesso em: 22 set. 2022.

MALBILA, E. DJOKO, B. COMPAORE1, A. TOGUYENI, D. KAM, S. BATHIEBO, D. J. - **Experimental study of physical and mechanical properties of concrete by Waste glass powder as partial replacement of cement**. Article in International Journal of Advanced Research August 2022. doi: 10.21474/IJAR01/15239. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/363442499>. Acesso em: 08 jan. 2023.

MATOS M. A., SOUSA-COUTINHO, J. - **Durability of mortar using waste glass powder as cement replacement**. Constr. Build. Mater., 36 (2012), pp. 205-215. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.027>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061812002292>. Acesso em: 05 jan. 2023.

MAIER, P.R; DURHAM, S.R. **Beneficial use of recycled materials in concrete mixtures**. Construction and Building Materials, v. 29, p.428-437,2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061811005733>. Acesso em: 06 jan. 2022.

MINGFEI, X. YAPINGC, W. XU HUA, L. J. - **Lead recovery and glass microspheres synthesis from waste CRTfunnel glasses through carbon thermal reduction enhanced acidleaching process**. Journal of Hazardous Materials 305 (2016) 51–58. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez52.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0304389415302326>. Acesso em: 14 ago. 2022.

NATARAJAN, S., RAVICHANDRAN, N., BASHA, N. A. S., PONNUSAMY, N. - **Partial Replacement of Fine Aggregate by Using Glass Powder** – 2020. IOP Conference Series Materials Science and Engineering 955(1):012050 doi:10.1088/1757-899X/955/1/012050. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/347081275>. Acesso em: 26 dez. 2022.

OLIVEIRA, H. A., SANTOS, C.P., OLIVEIRA, R. M. P. B., JESUS, E., MACEDO, Z. S. - **Produção de agregado sintético de argila com reaproveitamento de resíduo de vidro**. Revista Matéria - ISSN 1517-7076 artigo e-12318, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/wyCkXD3zkSmzPjPpkqmhm3r/?lang=pt>. Acesso em: 01 ago. 2022.

OGUNDAIRO, T.O, ADEGOKE, D. D., AKINWUMI, I., OLOFINNADE, O. M. - **Sustainable use of recycled waste glass as an alternative material for building construction – A review**. 1st International Conference on Sustainable Infrastructural Development, 2019. doi: 10.1088/1757-899X/640/1/012073. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/640/1/012073>. Acesso em: 21 nov. 2022.

OLIVEIRA, D. V., SILVA, M. A., MERLO, M. N., THEBALDI, M. S., **Propriedades do Concreto produzido com resíduo de vidro temperado** – Revista Desafios - Departamento de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/desafios/article/view/9693/18494>. Acesso em: 31 jul. 2022.

OLIVEIRA, H. A.; SANTOS, C. P.; PESSOA, R. M.; OLIVEIRA, B.; JESUS, E.; MACEDO, Z. S.; **Produção de agregado sintético de argila com reaproveitamento de resíduo de vidro**. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620190001.0653>. 2019. Acesso em: 22 ago.2022.

OLUWAROTINI, O., Ede A., NDAMBUKI, J. DAMBUKI, D. O., JOLAYEMI, K., OYEYEMI, K., AJAO, A., UKOH, A. - **Sustainable utilization of crushed waste glass as sand replacement for production of eco-friendly interlocking paving stones**. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. doi:10.1088/1757-899X/652/1/012049. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/652/1/012049/pdf>. Acesso em: 02 nov. 2022.

OMRAN, A.; TAGNIT-HAMOU, A. **Performance of glass-powder concrete in field applications**. Constr. Build. Mater. 2016, 109, 84–95. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez52.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0950061816300654?via%3Dihub>. Acesso em: 05 jan. 2023.

ORTEGA, J.M.; LETELIER, V.; SOLAS, C.; MIRÓ, M.; MORICONI, G.; CLIMENT, M.Á.; SÁNCHEZ, I. - **Influence of Waste Glass Powder Addition on the Pore Structure and Service Properties of Cement Mortars**. Sustainability 2018, 10, 842. <https://doi.org/10.3390/su10030842>. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su10030842>. Acesso em: 29 dez. 2022.

PAZL, L. A. F., SANTOS, V. D. - **Reutilização de vidro em concreto: um estudo da produção e desempenho mecânico de resistência**. - Rev. Eletr. Gest., Educ. Tec. Ambient. Santa Maria v.23, e23, p. 01-10, 2019. doi:10.5902/2236117036187. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/36187>. Acesso em: 31 jul. 2022.

PORTAL VIRTU HAB. **O Vidro** – Disponível em: <https://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/vidro/> acesso em: 17 ago. 2022.

PS VIDROS 2018 - **Reciclagem de Vidro: tudo que você precisa saber**. Disponível em: <https://www.psdovidro.com.br/descubra-tudo-sobre-a-reciclagem-de-vidro/>. Acesso em: 29 jul. 2022.

PHUTTHIMETHAKUL, L. KUMPUENG, P. SUPAKATA, N. - **Use of Flue Gas Desulfurization Gypsum, Construction and Demolition Waste, and Oil Palm Waste Trunks to Produce Concrete Bricks**. Crystals 2020, 10(8), 709; <https://doi.org/10.3390/cryst10080709>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4352/10/8/709>. Acesso em: 30 nov. 2022.

QI, Y., XIAO, X., LUA, Y., SHU, J., WANG, J., CHEN, M. - **Cathode ray tubes glass recycling: A review**. Science of the Total Environment 650 (2019) 2842–2849. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.383>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718338580>. Acesso em: 16 ago. 2022.

RAHMA, A.; EL NABER, N.; ISSA ISMAIL, S. **Effect of Glass Powder on the Compression Strength and the Workability of Concrete**. Cogent Eng. 2017, 4, 1373415. <https://doi.org/10.1080/23311916.2017.1373415>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311916.2017.1373415>. Acesso em: 04 jan. 2023.

RAHMAN, S. UDDIN, M. N. - **Experimental Investigation of Concrete with Glass Powder as Partial Replacement of Cement**. Civ. Eng. Arch. 2018, 6, 149–154. doi: 10.13189/cea.2018.060304. Disponível em: <https://www.hrpub.org/download/20180430/CEA4-14811394.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2023.

SHAO, Y., LEFORT, T., MORAS, S., RODRIGUEZ, D. - **Studies on concrete containing ground waste glass**. Cement and Concrete Research Volume 30, Issue 1, January 2000, Pages 91-100 [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00213-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00213-6). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884699002136>. Acesso em: 05 jan. 2023.

SHISHKIN, A., AGUEDAL, H., GOEL, G., PECULEVICA, J., NEWPORT, D., OZOLINS, J. - **Influence of waste glass in the foaming process of open cell porous ceramic as filtration media for industrial wastewater**. Journal of Cleaner Production 282 (2021) 124546. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124546>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965262034590X>. Acesso em: 19 ago. 2022.

SILVEIRA, N. C. G. MARTINS, M. L. F., BEZERRA, A. C. S., ARAÚJO, F. G. S. - **Ecological geopolymers produced with a ternary system of red mud, glass waste, and Portland cement**. *Cleaner Engineering and Technology* Volume 6, February 2022, 100379. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100379>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez52.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2666790821003396>. Acesso em: 22 set. 2022.

SOUZA-DAL BÓ, G. C., DALBÓ, M., BERNARDIN, A. M. - **Reuse of laminated glass waste in the manufacture of ceramic frits and glazes**. – *Magazine Materials Chemistry and Physics*. Volume 257, 1 January 2021, 123847. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123847>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez52.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0254058420312062?via%3Dihub>. Acesso em: 21 ago. 2022.

SOUZA, V. B. CERQUEIRA, N. A. ALVES, A. L. J. CAMPBELL, A. P. POLONINE, A. F. CAMERINI, A. DANIEL, G. F. FILHO, F. C. G. MONTEIRO, S. N. - **Avaliação de blocos de concreto com adição de resíduo de vidro aplicados em pavimentação**. 72nd ABM Annual Congress — vol. 72, num.72 (2017). Disponível em: <https://abmproceedings.com.br/en/article/avaliacao-de-blocos-de-concreto-com-adicao-de-residuo-de-vidro-aplicados-em-pavimentacao>. Acesso em: 04 nov. 2022.

SOUZA, L. ZOLETTR, E. R. CARRAZEDO - **Study of effect of electric arc furnace slag on expansion of mortars subjected to alkali-aggregate reaction**. *Articles- Rev. IBRACON Estrut. Mater.* 09 (04) Aug. 2016 <https://doi.org/10.1590/S1983-41952016000400006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/riem/a/JFSNKYYK8c4Z4kqdv5388B/?lang=en>. Acesso em: 08 nov. 2022.

TAMANNA, N. TULADHAR, R. - **Sustainable Use of Recycled Glass Powder as Cement Replacement in Concrete**. *The Open Waste Management Journal*. ISSN: 1876-4002 — Volume 13, 2020. doi: 10.2174/187434710201301000. Disponível em: <https://benthamopen.com/FULLTEXT/TOWMJ-13-1>. Acesso em: 07 jan. 2023.

TING, G. H. A., TAY, Y. W. D., TAN, M. J., - **Experimental measurement on the effects of recycled glass cullets as aggregates for construction 3D printing**. *Journal of Cleaner Production* Volume 300, 1 June 2021, 126919. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126919>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez52.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652621011380?via%3Dihub>. Acesso em: 21 ago. 2022.

TINOCO, V. N. V. JÚNIOR, F. A. S. - **Revisão literária do uso de vidro moído como substituto do agregado miúdo no concreto**. Universidade Federal Rural do Semiárido — UFERSA. Disponível em: [https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/4271/2/ViniciusNVT\\_ART.pdf](https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/4271/2/ViniciusNVT_ART.pdf). Acesso em: 09 nov. 2022.

TRENTIN, P. O., MANICA, J., VANZETTO, S. C., MARANGONI, B., ZALESKI, A. - **Partial replacement of small aggregate by ground glass residue in the production of mortar**. *Matéria (Rio J.)* 25 (1) – 2020. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0903>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/wyCkXD3zkSmzPjPpqmhm3r/>. Acesso em: 11 nov. 2022.

U.EPA - **Avançando na Gestão de Materiais Sustentáveis: Relatório de Fatos e Números**. EPA dos EUA, Washington, DC, EUA (2020). Disponível em: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-01/documents/2018\\_ff\\_fact\\_sheet\\_dec\\_2020\\_fnl\\_508.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-01/documents/2018_ff_fact_sheet_dec_2020_fnl_508.pdf). Acesso em: 22 ago. 2022.

VETTORATO, J. G., GIEHL, L. R., CHITOLINA, S., BETTKER, D. R., FREITAS, N. C. W., - **Glass and the importance of your reverse recycling and logistics process**. *Environmental Processes* volume 8, pages397–411 (2021) Disponível em: <http://docplayer.com.br/225468150-O-vidro-e-a-importancia-de-seu-processo-de-reciclagem-e-logistica-reversa.html>. Acesso em: 15 ago. 2022.

ZANWAR, A. B. PATIL, Y. D. - **Utilization of waste glass powder as a cementitious material in concrete**. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering - IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 1070, International Conference on Recent Innovations in Engineering and Technology (ICRIET 2020) 2021012040 Tamil Nadu, India. doi: 10.1088/1757-899X/1070/1/012040. Disponível em: <https://iopscience-iop.ez52.periodicos.capes.gov.br/article/10.1088/1757-899X/1070/1/012040#references>. Acesso em: 17 ago. 2022.

ZHAN, P., ZHANG, X. HE, Z., SHI, J. GENCEL, O., YEN, N. T. H., WANG G., - **Strength, microstructure and nanomechanical properties of recycled aggregate concrete containing waste glass powder and steel slag powder**. Journal of Cleaner Production 341 (2022) 130892. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130892>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652622005303>. Acesso em: 10 ago. 2022.

ZHENG, K. - **Pozzolanic reaction of glass powder and its role in controlling alkali-silica reaction**. Cement and Concrete Composites Volume 67, March 2016, Pages 30-38. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.12.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946515300640>. Acesso em: 05 jan. 2023.

ZEYBEK, Ö.; ÖZKILIÇ, Y.O.; KARALAR, M.; ÇELİK, A.İ.; QAIDI, S.; AHMAD, J.; BURDUHOS-NERGIS, D.D.; BURDUHOS-NERGIS, D.P. **Influence of Replacing Cement with Waste Glass on Mechanical Properties of Concrete**. Materials 2022, 15, 7513. <https://doi.org/10.3390/ma15217513>. Disponível em <https://www.mdpi.com/1996-1944/15/21/7513>. Acesso em: 06 jan. 2023.

YANG, S. LU, J. X. POON, C. S. - **Recycling of waste glass in dry-mixed concrete blocks: Evaluation of alkali-silica reaction (ASR) by accelerated laboratory tests and long-term field monitoring**. Construction and Building Materials. Volume 262, 30 November 2020, 120865. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120865>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez52.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0950061820328701>. Acesso em: 25 out. 2022.

## CAPÍTULO II

### USE OF GLASS POWDER IN PARTIAL REPLACEMENT OF SAND IN THE PRODUCTION OF CONCRETE BLOCKS

### UTILIZAÇÃO DO PÓ DE VIDRO EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO

*O presente manuscrito seguirá as padronizações adotadas pelo periódico Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, no qual o presente trabalho será submetido.*

**Resumo:** O resíduo de vidro apresenta volume de geração importante, com pouco deste montante sendo reciclado ou reaproveitado. Afim de contribuir com a economia circular, as alternativas de reciclagem ou reaproveitamento do vidro precisam ser estimuladas, como incorporar o resíduo de vidro na cadeia de produção de novos produtos utilizados na construção civil. Neste trabalho teve-se por objetivo testar se a substituição de areia por pó de vidro na produção de blocos secos de concreto é tecnicamente viável. Para esta avaliação testaram-se os efeitos das substituições de 0, 25, 50 e 75% de areia por pó de vidro, com diâmetro de partícula menor do que 0,6 mm, nos parâmetros absorção de água e resistência à simples compressão. Os resultados mostraram que em todos os traços estudados a absorção de água apresentou valores dentro dos especificados em norma, <10%. Em relação a resistência à compressão, os blocos que apresentaram os valores mínimos de 3 MPa exigidos por norma foram os produzidos com substituição de areia por pó de vidro. Não foi observada relação entre os ensaios destrutivos de resistência à compressão e não destrutivo de velocidade de propagação de onda; entretanto, verificou-se relação entre a velocidade de propagação de onda e índice de vazios. Esta pesquisa demonstrou que a substituição da areia por pó de vidro é tecnicamente viável, demonstrando a melhora na característica de resistência à compressão dos blocos produzidos com pó de vidro em relação ao traço padrão. Dessa forma, a substituição da areia por pó de vidro na fabricação de blocos secos de concreto pode ser empregada, colaborando com a redução da extração de areia do ambiente, bem como diminuindo a disposição final de garrafas tipo *long neck*, o que vem ao encontro à economia circular.

**Palavras Chave:** Construção Civil. Reciclagem. Garrafas. Resistência. Viabilidade.

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos impactos de todo o processo de produção industrial é a produção de grande quantidade de resíduos (Trentin et al., 2020), tanto do processo produtivo em si, quanto do envase de produtos. Especificamente em relação ao envase, principalmente bebidas e alimentos, a geração de resíduos de vidro é dada basicamente pelo uso de embalagens deste material.

A alta geração de resíduos de vidro é uma realidade mundial (GOLAFSHANI; KASHANI, 2022), em função da sua reciclagem apresentar baixos índices, em torno de 20% (FERDOUS et al., 2021). A maior parte do resíduo de vidro gerado é disposto em lixões, aterros

sanitários etc., mesmo o vidro possuindo o maior tempo estimado de decomposição entre os materiais e poder ser reciclado indefinidamente (ABRAVIDRO, 2019).

Do ponto de vista ambiental, a reutilização de resíduos de vidro é uma prática sustentável, com aderência à economia circular, uma vez que o resíduo entra em novo produto substituindo matérias primas que seriam extraídas da natureza. As reutilizações do vidro incluem a reutilização das embalagens (COELHO et al., 2020; BOUTROS, SABA; MANNEH, 2021), a incorporação do vidro na produção de novos vidros (QI et al., 2019) e a incorporação na fabricação de produtos utilizados na construção civil, por exemplo, o resíduo de vidro substituindo agregados. (YANG et al., 2011; MENG; LING; MO, 2022). Estudos indicam que a incorporação de vidro pode manter ou até mesmo melhorar muitas características de argamassas, concretos entre outros (LU; DUAN; POON; 2017). Conforme Carvalho (2021), a incorporação de resíduos de garrafas *long neck* em blocos de concreto pode oferecer uma destinação ecológica para esse tipo de resíduo, pois essas garrafas, além de não terem retorno comercial, também não apresentam nenhum tipo de reciclagem, uma vez que o custo de retorno é elevado. Estudos têm verificado que pode ser viável a incorporação de resíduo de vidros em argamassas e concreto, produtos muito utilizados na construção civil, substituindo agregados e o cimento (BISHT; RAMANA, 2018).

Conforme exposto, o reaproveitamento de vidro em artefatos da construção civil tem sido muito estudado. Por outro lado, a utilização de resíduo de vidro em granulometria menor do que 600 micrometros em substituição da areia em blocos secos de concreto, considerados aqueles blocos com baixo teor de umidade em sua produção, não apresenta relatos em literatura.

A escolha da substituição da areia por vidro na produção de blocos secos é com o intuito de fortalecer o reaproveitamento local do vidro, em pontos estratégicos, que não demandem de alto custo de logística de transporte, como em unidades que produzam artefatos cimentícios, com poucas adaptações a esse reaproveitamento.

Para além, a extração de agregados da natureza, como a areia, é um processo que agride o meio ambiente. Grande parte da areia utilizada vem de jazidas presentes em rios, e a extração ocasiona a alteração dos leitos desses rios, levando a alteração de toda a fauna presente naquele ambiente, com impacto ao ecossistema aquático.

Do exposto, a presente proposta foi desenvolvida com o objetivo de identificar se a substituição parcial da areia por resíduo de vidro na fabricação de blocos de concreto tipo seco é tecnicamente viável.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material

Os materiais utilizados para a fabricação dos blocos de concreto foram os agregados oriundos da região de Sinop – Norte do Estado de Mato Grosso. Como agregado miúdo utilizou-se da areia quartzosa, extraída do rio Teles Pires (rio regional), e do pó de brita, que apresentava características de um conglomerado granítico oriunda da região de Santa Helena-MT (a 124 km de Sinop). O agregado graúdo utilizado foi a brita 0 ou pedrisco, sendo também proveniente da região de Santa Helena-MT. O cimento utilizado foi o Portland CII F40. As metodologias de determinação das características dos agregados utilizados estão descritas no Quadro 1, bem como os valores encontrados.

Quadro 1 – Características físicas dos agregados utilizados para a fabricação dos blocos de concreto seco

| Parâmetros físicos                                | Agregados   |             |             |             | Metodologia                                                  |
|---------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------------------------------------------|
|                                                   | Brita 0     | Areia       | Pó de brita | Pó de vidro |                                                              |
| Densidade específica aparente, g cm <sup>-3</sup> | 2,60        | 2,56        | 2,67        | 2,41        | Gravimetria NBR 16916 e 16917 (ABNT, 2021)                   |
| Densidade específica dos grãos, g.cm-3            | 2,50        | 2,60        | 2,01        | 2,44        |                                                              |
| Módulo de finura                                  | 5,20        | 1,41        | 2,97        | 1,35        | Peneiramento NBR NM 248 (ABNT, 2003) e NBR 7211 (ABNT, 2005) |
| Diâmetro máximo característico, mm                | 9,50        | 2,36        | 2,36        | 0,30        |                                                              |
| Granulometria, mm                                 | 2,36 a 9,50 | 0,15 a 2,36 | 0,15 a 4,75 | < 0,6       |                                                              |
| Teor de umidade, %                                | 0,42        | 1,21        | 0,52        | 0,10        | Gravimetria NBR 6467 (ABNT, 2009) e NBR 9939 (ABNT, 2011)    |
| Absorção de água, %                               | 1,5         | 1,69        | 1,88        | 0,02        | Gravimetria NBR 16916 ou NBR 16917 (ABNT, 2021)              |

Fonte: O Autor (2023)

O pó de vidro foi obtido pela trituração e peneiramento de vidro proveniente de garrafas de bebidas tipo *long neck*, das cores marrom e verde. Aproximadamente 2 mil garrafas foram coletadas e trituradas (Figura 1).

Figura 1 - Garrafas tipo long neck coletadas em bares, restaurantes e ruas.



Fonte: O Autor (2023)

Após a coleta, as garrafas foram higienizadas por meio de lavagem em água corrente e os rótulos foram retirados antes da trituração (Figuras 2a e 2b). A trituração foi realizada em triturador mecânico, tipo liquidificador (Figuras 2c). No triturador colocavam-se as garrafas inteiras (em torno de 10), realizando uma trituração prévia de 30 a 60 segundos, com posterior peneiramento. O material retido na peneira com abertura maior do que 600 micrômetros era triturado novamente. Este procedimento de peneiramento e trituração foi realizado até todo o material ser passante em peneira 600 micrômetros. O pó de vidro obtido ao final das triturações e peneiramento foi homogeneizado, e suas características também estão descritas no Quadro 1.

Figura 2 - Obtenção do pó de vidro, com higienização (a), retirada de rótulos (b) e trituração das garrafas (c)



Fonte: O Autor (2023)

## 2.2 Caracterização dos agregados

### 2.2.1 Granulometria

A determinação da granulometria dos agregados foi realizada seguindo a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Para os agregados miúdos (areia e pó de pedra e pó de vidro) foram utilizadas amostras de 1 kg de cada material, e para o agregado graúdo (brita 0), foi utilizado cerca de 5 kg de material. Nos ensaios foram utilizadas as peneiras com abertura entre 38  $\mu\text{m}$  a 9,5 mm para o ensaio dos agregados miúdos, e para o agregado graúdo utilizou-se peneiras entre 2,36 mm a 19 mm.



Os materiais eram agitados em agitador mecânico durante 5 min., com posterior peneiramento e pesagem das quantidades retidas em cada uma das peneiras.

Na figura 3 tem-se as etapas de preparação do pó de vidro para a realização da pesquisa. O pó de vidro também teve a avaliação de granulometria seguindo as mesmas condições dos agregados miúdos.

Figura 3 - Preparação do pó de vidro. (Vidro após a trituração, a, b e c.; Ensaio de granulometria, d; Diferentes granulometrias do vidro; Pó de vidro com granulometria menor do que 0,600 mm, f) Pó de vidro armazenado

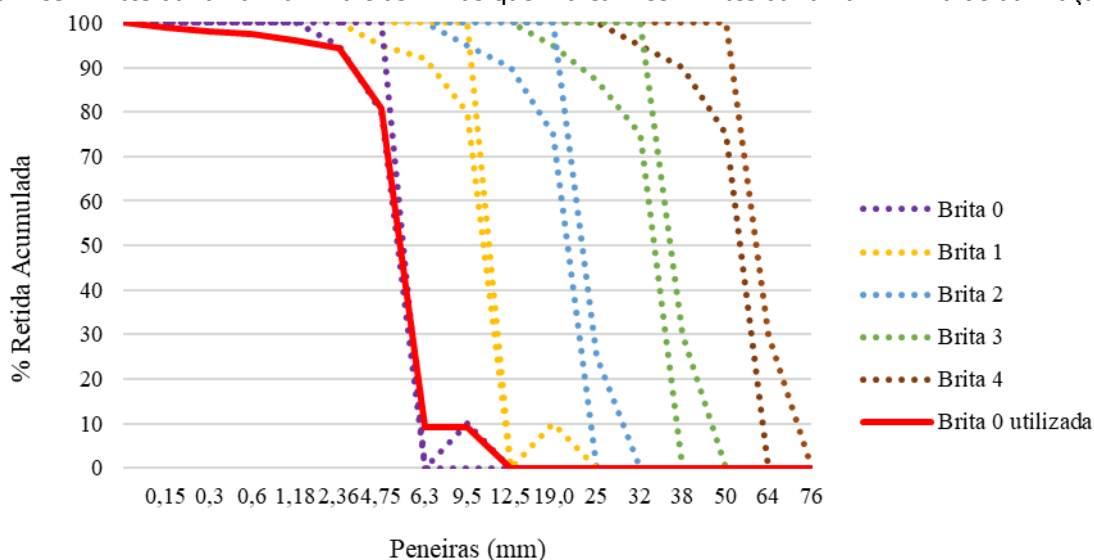


Fonte: O Autor (2023)

Na Figura 4 está apresentada a curva granulométrica da brita 0 utilizada, a qual foi traçada juntamente com as faixas de utilização recomendadas pela norma NBR 7211 (ABNT, 2022) para as britas 0, 1, 2, 3 e 4.

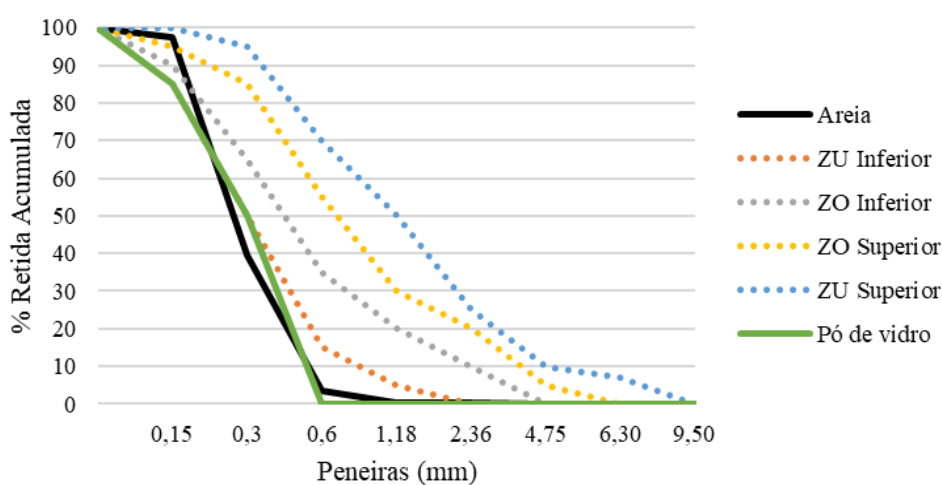
As curvas granulométricas da areia e pó de vidro estão apresentadas na Figura 5, bem como as zonas de utilização recomendadas pela norma NBR 7211 (ABNT, 2022).

Figura 4 - Curva granulométrica do agregado brita 0, 1, 2, 3, 4 e a brita 0 utilizada (com as linhas que indicam os limites da faixa máxima e as linhas que indicam os limites da faixa mínima de utilização)



Fonte: O Autor (2023)

Figura 5 - Curva granulométrica dos agregados areia e pó de vidro (as linhas ZU indicam os limites da zona de utilização da areia/pó de vidro e as linhas ZO indicam os limites da zona ótima da areia/pó de vidro)



Fonte: O Autor (2023)

### 3.2.2 Densidade específica

A densidade específica dos grãos, que é a massa real dos agregados excluindo os vazios, e a densidade específica natural ou aparente dos agregados, que é a massa ou densidade aparente do agregado em seu estado natural, foram determinadas seguindo a NBR 16916 (ABNT, 2021) para o agregado miúdo e a NBR 16917 (ABNT, 2021) para o agregado graúdo.

A Equação 1 foi utilizada para obter a densidade específica aparente do agregado seco conforme a NBR 16916 (ABNT, 2021).

$$d_1 = \frac{m}{v - v_a} * 100 \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

$d_1$  é a densidade específica aparente do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico;

$m$  é a massa da amostra seca em estufa, em gramas;

$v$  é o volume do frasco, em centímetros cúbicos;

$v_a$  é o volume de água adicionada ao frasco, de acordo com a Equação 2, em centímetros cúbicos.

$$v_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a} * 100 \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

$m_1$  é a massa do conjunto (frasco + agregado) determinada em gramas;

$m_2$  é a massa total (frasco + agregado + água) determinada em gramas;

$\rho_a$  é a densidade específica da água, em gramas por centímetro cúbico.

Para encontrar a densidade específica do agregado saturado de superfície seca utilizou-se a Equação 3:

$$d_2 = \frac{m_s}{v - v_a} * 100 \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

$d_2$  é a densidade específica do agregado saturado superfície seca, em gramas por centímetro cúbico;

$m_s$  é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

$v$  é o volume do frasco, em centímetros cúbicos;

$v_a$  é o volume de água adicionada ao frasco, em centímetros cúbicos.

Para encontrar a densidade específica utilizou-se a equação 4:

$$d_3 = \frac{m}{(v - v_a) - \frac{m_s - m}{\rho_a}} \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

$d_3$  é a densidade específica do agregado, em gramas por centímetros cúbicos;

$m$  é a massa da amostra seca em estufa, em gramas;

$v$  é o volume do frasco, em centímetros cúbicos;

$v_a$  é o volume de água adicionado ao frasco, em centímetros cúbicos;

$m_s$  é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

$\rho_a$  é a densidade específica da água, em gramas por centímetro cúbico.

Para encontrar a densidade específica do agregado graúdo na condição saturado superfície seca, conforme a NBR 16917 (ABNT, 2021) utilizou-se a Equação 5:

$$d_s = \frac{m_s}{m_s - m_a} * 100 \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

$d_s$  é a densidade específica do agregado na condição saturado superfície seca, em gramas por centímetro cúbico;

$m_s$  é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca em gramas;

$m_a$  é a massa em água da amostra em gramas.

Pelas equações obtém-se a densidade específica aparente do agregado graúdo seco. Para encontrar a densidade específica do agregado seco, utilizou-se a Equação 6:

$$d = \frac{m_3}{m_s - m_a} * 100 \quad \text{Equação 6}$$

Em que:

$d$  é a densidade específica do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico;

$m_3$  é a massa ao ar da amostra seca em estufa, em gramas;

$m_s$  é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca em gramas;

$m_a$  é a massa em água da amostra em gramas

Para encontrar a densidade específica aparente utilizou-se a Equação 7.

$$d_a = \frac{m_3}{m - m_a} * 100 \quad \text{Equação 7}$$

Em que:

$d_a$  é a densidade específica aparente, em gramas por centímetro cúbico;

$m_3$  é a massa ao ar da amostra seca em estufa, em gramas;

$m_a$  é a massa em água da amostra saturada em gramas.

### 3.2.3 Teor de umidade e absorção de água

O teor de umidade do agregado foi determinado seguindo o procedimento da norma NBR 9939 (ABNT, 2011). Registrou-se a massa inicial da amostra ( $m_4$ ) de ensaio, após o agregado foi seco em estufa por 24 horas com temperatura constante de 105 °C, com posterior pesagem, obtendo a massa final ( $m_5$ ). Para obtenção do teor de umidade do agregado, foi utilizado a Equação 8.

$$h = \frac{m_4 - m_5}{m_5} * 100 \quad \text{Equação 8}$$

Em que:

$h$  é o teor de umidade total, em %

$m_4$  é a massa inicial da amostra, em g

$m_5$  é a massa final da amostra seca, em g

O ensaio de absorção de água foi realizado seguindo o procedimento NBR 16916 (ABNT, 2021) para os agregados miúdos e seguindo o procedimento NBR 16917 (ABNT, 2021) para os agregados grãos. Os ensaios compreenderam ciclos de saturação e de secagem

da amostra. Para calcular a absorção de água dos agregados miúdos e graúdos utilizou-se a Equação 9:

$$A = \frac{m_{sa} - m_{se}}{m_{se}} * 100 \quad \text{Equação 9}$$

Em que:

$A$  é a absorção de água em percentagem;

$m_{sa}$  é a massa ao ar da amostra na condição saturado e de superfície seca em gramas;

$m_{se}$  é a massa da amostra seca em estufa em gramas.

### 3.3 Fabricação dos Blocos

A fabricação dos blocos ocorreu na empresa Bloco Norte, que atua na fabricação e comercialização de artefatos de concreto. O bloco produzido na pesquisa foi o da família 15 (14x19x39 cm), de traço comercial da empresa.

Deste traço comercial, foram fabricados os outros traços, substituindo parte da areia por pó de vidro, nos percentuais 25, 50 e 75%, conforme apresentado na Tabela 1. A empresa utiliza também um aditivo desmoldante na massa de concreto e este também foi mantido na preparação dos blocos com pó de vidro.

Tabela 1 - Traços utilizado para a fabricação dos blocos de concreto

| Traço | Pó de vidro % | Pó de vidro (kg) | Areia (kg) | Cimento, kg | Pó de brita (kg) | Brita 0 (kg) | Teor de umidade % | Aditivo (L) |
|-------|---------------|------------------|------------|-------------|------------------|--------------|-------------------|-------------|
| 1     | 0             | 0                | 148        | 50          | 325              | 269          | 5,5 a 7,2         | 1,16        |
| 2     | 25            | 35               | 115        | 50          | 311              | 273          | 5,5 a 7,2         | 1,16        |
| 3     | 50            | 70               | 72         | 50          | 312              | 273          | 5,5 a 7,2         | 1,16        |
| 4     | 75            | 105              | 36         | 50          | 313              | 273          | 5,5 a 7,2         | 1,16        |

Fonte: O Autor (2023)

Na figura 6 estão apresentadas algumas etapas da fabricação dos blocos de concreto. Todo o processo de fabricação é automatizado, sendo que apenas a introdução e pesagem do vidro foi realizada de forma manual.

Figura 6 - Etapas da produção dos blocos de concreto



Fonte: O Autor (2023)

A prensagem dos blocos foi realizada em fôrmas vibroprensadoras por cerca de 8 a 10 segundos, com força de compressão de 160 kN. Após, os blocos foram desmoldados e colocados em paletes e armazenados em ambiente protegido da chuva por 7 dias para a secagem e posterior ensaios. Os ensaios realizados nos blocos e as metodologias utilizadas estão descritos no Quadro 2.

Quadro 2 – Ensaios realizados nos blocos de concreto

| <b>Ensaios</b>                        | <b>Dias após a moldagem (DAM)</b> | <b>Blocos ensaiados por traço</b> | <b>Metodologia</b>                                                      |
|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Absorção de água, %                   | 28                                | 3                                 | Secagem e imersão em água NBR 12118 (ABNT,                              |
| Índice de vazios, %                   | 56                                | 2                                 | Índice de vazios, massa                                                 |
| Massa específica, g cm <sup>3</sup>   | 56                                | 2                                 | específica, NBR 9778 (ABNT, 2009)                                       |
| Resistência à simples compressão, MPa | 28 e 56                           | 12 para cada idade                | Resistência característica a compressão do bloco, NBR 6136 (ABNT, 2016) |
| Ultrassonografia, m s <sup>-1</sup>   | 28                                | 4                                 | Propagação de onda, NBR 8802 (ABNT, 2019),                              |

Fonte: O Autor (2023)

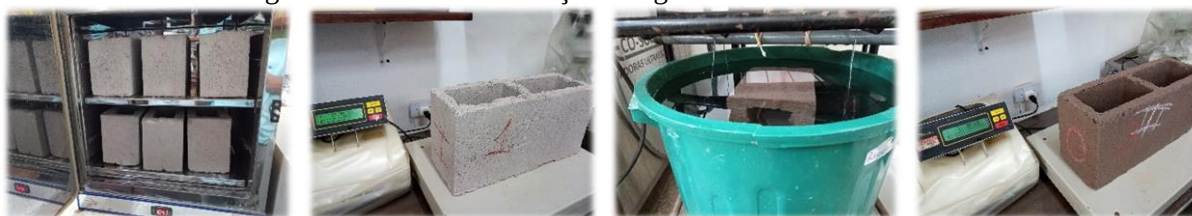


### 3.4 Ensaio de absorção de água dos blocos

Os ensaios de absorção de água (AA) foram realizados conforme o procedimento descrito na NBR 12118 (ABNT, 2014), aos 28 dias.

Inicialmente os blocos foram colocados em estufa para secagem e após 24 horas todos foram retirados e pesados, obtendo a massa do bloco seco ( $m_6$ ). Posteriormente os blocos foram imersos em água por 24 horas e após foram retirados, secados superficialmente, retirando o excesso de água, e pesados, obtendo assim a massa dos blocos saturados em água ( $m_7$ ). Na Figura 7 estão apresentadas algumas imagens dos ensaios de AA.

Figura 7 - Ensaio de Absorção de água dos blocos de concreto



Fonte: O Autor (2023)

A absorção de água foi calculada utilizando a Equação 10.

$$AA = \frac{m_7 - m_6}{m_6} * 100 \quad \text{Equação 10}$$

Em que:

$AA$  é a absorção de água (%);

$m_6$  é a massa seca do bloco após secagem em estufa por 24 horas (g);

$m_7$  é a massa saturada do bloco após o mesmo ser submerso em água por 24 horas (g).

A NBR 6136 (ABNT, 2016) especifica que o valor médio de absorção de água deve ser de no máximo 10% para blocos com agregados normais.

### 3.5 Índices de vazios e massa específica

#### 3.5.1 Índices de Vazios

Para esse ensaio, os blocos foram colocados em estufa por 24 horas a uma temperatura de 105 °C; após esse período, o bloco foi pesado ( $m_s$ ), imergido em água a temperatura de 23 °C e mantido por 72 h nessa condição. Completada a etapa de saturação, a amostra foi colocada em um recipiente cheio de água e progressivamente levado à ebulição por um período de 5 h,



mantendo o volume constante de água. Após a água esfriar naturalmente foi registrado a massa da amostra imersa em água ( $m_i$ ). Na sequência foi retirado a amostra da água e enxugado com um pano úmido, registrando sua massa ( $m_{sat}$ ).

Para calcular os índices vazios, utiliza-se a equação 11.

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} * 100 \quad \text{Equação 11}$$

Em que:

$I_v$  é o índice de vazios, em porcentagem

$m_{sat}$  é a massa da amostra saturada em água após imersão e fervura

$m_s$  é a massa da amostra seca em estufa

$m_i$  é a massa da amostra saturada imersa na água após fervura.

### 3.5.2 – Massa Específica da amostra seca

Para calcular a massa específica da amostra seca, utilizou-se a equação 12.

$$\rho_a = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i} * 100 \quad \text{Equação 12}$$

Em que:

$\rho_a$  é a massa específica da amostra seca.

### 3.5.3 – Massa Específica da amostra saturada

Para calcular a massa específica da amostra saturada, utilizou-se a equação 13.

$$\rho_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i} * 100 \quad \text{Equação 13}$$

Em que:

$\rho_{sat}$  é a massa específica da amostra saturada.

### 3.5.4 – Massa Específica real

Para calcular a massa específica da amostra real, utiliza-se a equação 14.

$$\rho_r = \frac{m_s}{m_s - m_i} * 100 \quad \text{Equação 14}$$

Em que:

$\rho_r$  é a massa específica da amostra real.

### 3.6 Ensaio não destrutivo nos blocos de concreto (END)

O ensaio de ultrassom (velocidade de propagação de onda) foi realizado conforme a norma NBR 8802 (ABNT, 2019), com o ensaio de 4 blocos de cada um dos traços, aos 28 dias. Por se tratar de ensaio não destrutivo, foram analisados os mesmos blocos dos ensaios de resistência à compressão. Este ensaio permite avaliar a qualidade do concreto, além de sua resistência, pois segundo a norma EN 12504-4 (2000) existe uma relação entre a velocidade de propagação de onda e a qualidade do concreto.

Após verificado que as superfícies dos blocos para o ensaio estavam com superfícies planas, lisas e isentas de sujeiras, foi aplicado uma fina camada de acoplante (vaselina sólida industrial) nas faces dos transdutores, sendo posicionado os transdutores de acordo com os arranjos de transmissão direta, com os transdutores nas faces opostas do material. Para calcular a velocidade de propagação de ondas, utilizou-se a Equação 15.

$$V = \frac{L}{t} \quad \text{Equação 15}$$

Em que:

$V$  é a velocidade de propagação, expressa em metros por segundo (m/s);

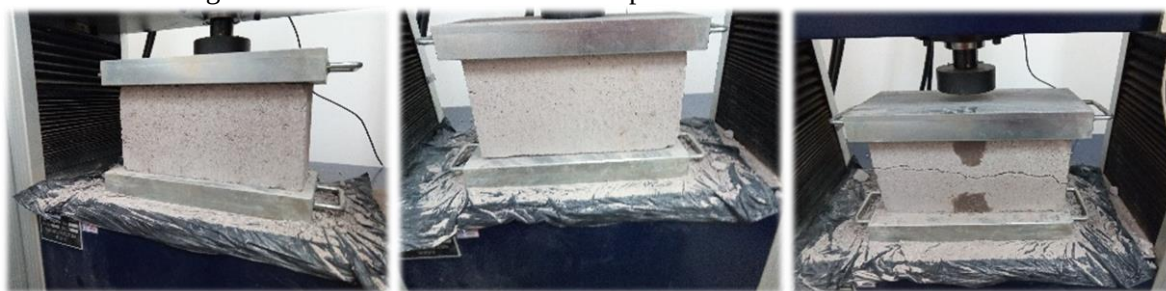
$L$  é a distância entre os pontos de acoplamentos dos centros das faces dos transdutores, expressa em metros (m);

$t$  é o tempo decorrido desde a emissão da onda até a sua recepção, expresso em segundos (s).

### 3.7 Ensaio de resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados conforme a NBR 12118 (ABNT, 2014), aos 28 e 56 dias. Para os ensaios, as dimensões dos blocos foram aferidas e as superfícies dos blocos foram regularizadas (retirada de rebarbas). Os blocos foram posicionados na prensa hidráulica, com posterior aplicação de carga, a 0,05 MPa/s, até o rompimento do bloco de concreto. Na Figura 8 estão apresentadas as etapas do ensaio de resistência à compressão dos blocos.

Figura 8 - Ensaio de resistência a compressão dos blocos de concreto



Fonte: O Autor (2022)

A resistência individual de cada bloco foi obtida pela razão de carga de ruptura pela área bruta do bloco. A resistência característica estimada de cada traço, aos 28 e 56 dias, foi calculada utilizando a Equação 16.

$$fbk, est = 2 \left[ \frac{fb1 + fb2 + \dots + fbi - 1}{i - 1} \right] - fbi \quad \text{Equação 16}$$

Em que:

$i$  é a metade do número de corpos de provas  $n$  ( $n = 12$ ) que foram submetidos ao ensaio de resistência;

$fb1 + fb2 + \dots + fbi - 1$  são os valores de resistência à compressão em ordem crescente, sendo  $fb1$  o menor valor obtido.

### 3.8 Delineamento experimental e análise estatística

Para o ensaio de resistência, o delineamento experimental foi inteiramente ao acaso em arranjo fatorial  $4 \times 2$ , sendo 4 traços (0, 25, 50 e 75% de substituição de areia por pó de vidro) e duas idades (28 e 56 dias), com 12 repetições para cada traço em cada idade.

Para os ensaios de absorção de água e END o delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, sendo avaliado o efeito da substituição de areia por pó de vidro em 3 blocos por traço para absorção de água e 4 blocos para o END, na idade de 28 dias. Em ambos os casos foi utilizada a

análise de variância (ANOVA), à 5% de significância, e verificadas diferenças, testes de média foram utilizados.

Para os ensaios de massa específica e índice de vazios foram avaliados 2 blocos de cada traço, aos 56 dias, e a análise estatística foi a descritiva.

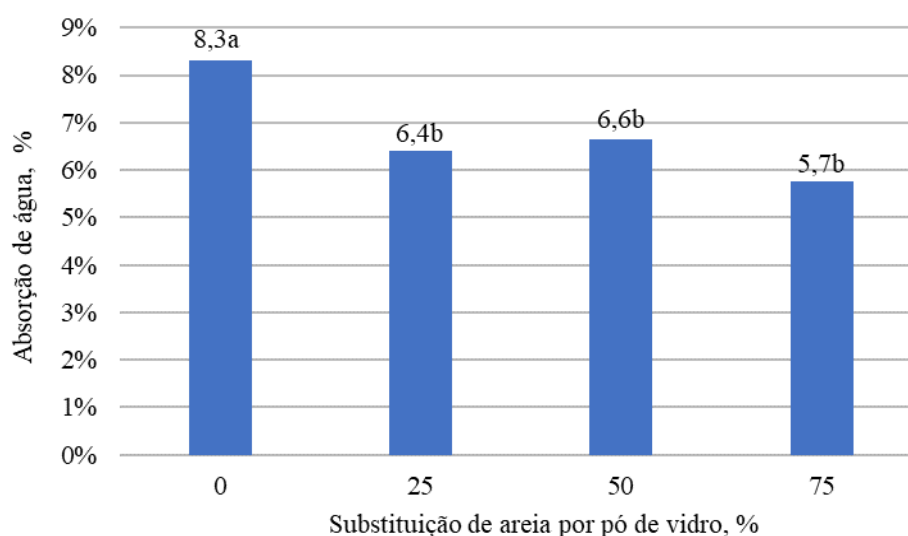
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Absorção de água

Os resultados de absorção de água (AA) dos blocos, nos traços analisados, estão apresentados na Figura 9. Observou-se diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) da absorção de água dos blocos fabricados com vidro em relação aos blocos fabricados sem vidro, e que não há diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre os blocos fabricados com vidro. Apesar das diferenças observadas entre os traços estudados, todos cumprem o requisito de absorção de água recomendado por norma para blocos, que é de no máximo 10% de AA, em média.

Uma das possibilidades para uma menor AA seria o fato do pó de vidro apresentar a granulometria mais fina do que a areia, preenchendo melhor os vazios do concreto. De fato, Lee et al. (2013) indicou que o pó de vidro com granulometria menor que 600 micrômetros utilizado na fabricação de blocos de concreto a seco fez com que estes apresentassem menor percentual de AA, enquanto, a utilização de vidro em maiores granulometrias resultou em aumento na AA.

Figura 9 – Valores médios de absorção de água dos blocos nas substituições de 0, 25, 50 e 75% de areia por pó de vidro, aos 28 dias. (Valores médios seguidos de mesma letra não diferem entre si a 5% de significância).



Fonte: O Autor (2023)

Conforme Warnphen, Supakata, Kanokkantapong (2019), a adição de resíduos de vidro na confecção de blocos de concreto, gera uma redução na absorção de água do material em idades após os 28 dias, sendo justificado pelo fato que pode acontecer uma maior absorção de água nas idades iniciais como um fator contribuinte dessa AA, na fase de hidratação do cimento. Assim, verifica-se que a adição do vidro na mistura alterou a AA em comparação ao bloco original, corroborando com o resultado deste trabalho.

Carvalho (2021) relatou que a tendência de aumento na AA pode estar ligada a granulometria do pó de vidro e também à geometria dos grãos. No caso da granulometria, quando há menor quantidade de finos na mistura, há aumento de vazios, tendo assim uma maior AA. A pesquisa mostra que em termos de teste de absorção de água os traços estudados, 0, 25, 50 e 75%, atendem a norma.

Essa diminuição de absorção de água, ocorre porque o vidro não tem uma porosidade como a areia, que possui irregularidades superficiais e minúsculos poros quando analisado sua microestrutura; o vidro por ser um material artificial, é mais regular e não possui característica de permeabilidade. Assim, os índices de vazios no concreto feito com a inclusão de pó de vidro diminuem associadamente com sua permeabilidade (MIRANDA JÚNIOR; 2012, TINOCO; JÚNIOR; 2018).

#### **4.2 Índices de vazios e massa específica**

Os resultados do ensaio de índices vazios e massa específica dos blocos de concreto estão apresentados na Tabela 2. Em relação aos valores médios de índice de vazios observou-se que esses variaram entre 19,2 a 24,6%, com o maior valor médio para o traço sem a substituição de areia por vidro, 0%. Ao aumentar a % de pó de vidro adicionada aos traços esperava-se efeito linear sobre os índices de vazios, no entanto, na moldagem dos blocos de concreto com 50% de pó de vidro observou um valor superior a adição de 25 e 75% de pó de vidro.

No caso dos valores de massa específica seca, saturada e real, os valores médios apresentaram-se semelhantes entre si, em todos os traços.

Espera-se que uma maior quantidade de vazios leve ao aumento proporcional da absorção de água. Por outro lado, a quantidade de vazios no concreto não nos fornece informações sobre a distribuição e a interligação desses vazios (PRADO, 2006; MIKAMI et al., 2018). Portanto, apesar do índice de vazios ser semelhante entre os blocos obtidos sem vidro

e com 50% de substituição de areia por vidro, a AA foi maior para os blocos produzidos sem vidro, neste estudo.

Tabela 2 - Valores médios de índices vazios e massa específica dos blocos nas substituições de 0, 25, 50 e 75% da areia por pó de vidro, aos 56 dias

| Descrição                                     | Substituição de areia por pó de vidro, % |      |      |      |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------|------|------|------|
|                                               | 0                                        | 25   | 50   | 75   |
| Índice de vazios, %                           | 24,6                                     | 20,1 | 23,5 | 19,2 |
| Massa específica seca, g cm <sup>-3</sup>     | 2,1                                      | 2,1  | 2,1  | 2,2  |
| Massa específica saturada, g cm <sup>-3</sup> | 2,4                                      | 2,3  | 2,3  | 2,4  |
| Massa específica real, g cm <sup>3</sup>      | 2,8                                      | 2,7  | 2,7  | 2,7  |

Fonte: O Autor (2023)

Conforme Scheifer e Callejas (2021), a elevação da massa específica seca pode estar ligada ao maior arranjo entre as partículas, trazendo como resultado uma possível redução no índice de vazios e de absorção de água nos blocos de concreto. De fato, os autores observaram o comportamento similar entre os ensaios físicos de absorção de água e índice de vazios, com menores valores de substituição de pó de vidro.

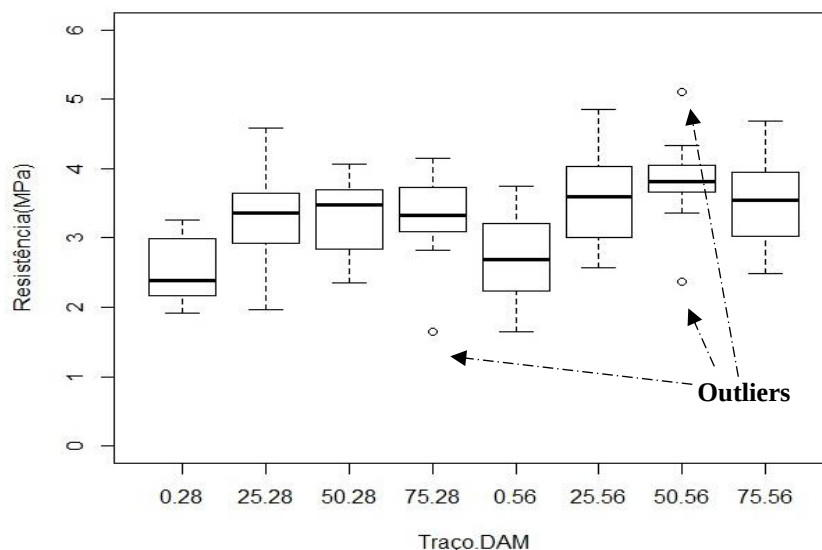
Neste estudo, ao que parece, a substituição da areia por pó de vidro reduziu o índice de vazios sem, contudo, alterar a massa específica dos blocos. O pó de vidro aparentemente atuou no preenchimento e fechamento de poros, o que levou à redução da absorção de água, sem promover alteração da massa específica.

#### 4.2 Resistência à simples compressão

Os resultados da resistência à compressão dos blocos de concreto, de cada traço, aos 28 e 56 dias, estão apresentados na Figura 10. Observou-se a amplitude dos valores de resistência, com a verificação da presença de *outliers* nos traços com 75% de substituição de areia por pó de vidro, aos 28 dias, e com 50% de substituição de areia por pó de vidro, aos 56 dias.

Com base nisso, os valores *outliers* foram retirados da base amostral e não foram utilizados para as determinações dos valores médios de resistência e da resistência característica do bloco, fbk,est.

Figura 10 – Amplitude dos valores de resistência à simples compressão dos blocos de concreto, em diferentes traços (0, 25, 50 e 75% de substituição de areia por pó de vidro), aos 28 e 56 DAM



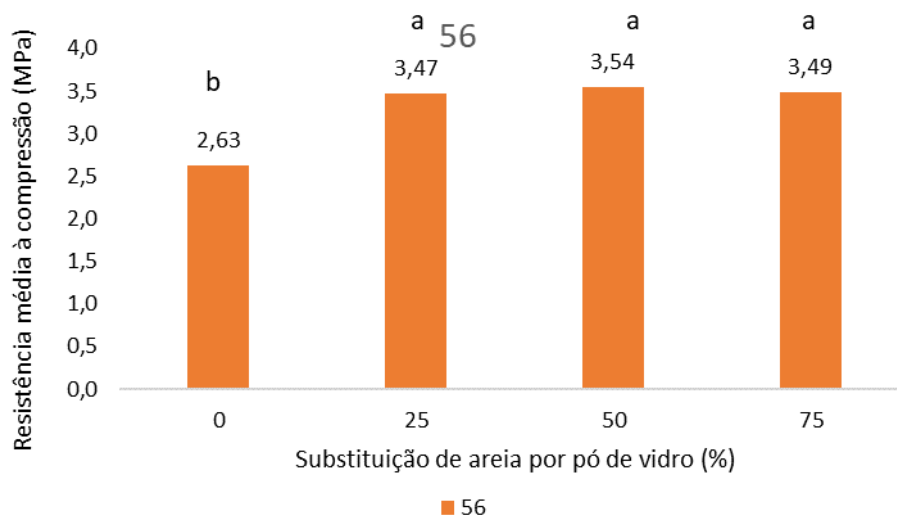
Fonte: O Autor (2023)

Considerando que a característica principal de um material cimentício é dada pela resistência à compressão e que os resultados da análise de variância mostraram que houve efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ) do traço e dias após a moldagem (DAM) nos valores médios de resistência, os resultados do efeito da substituição da areia por pó de vidro estão apresentados na Figura 11.

Observa-se que a substituição da areia por pó de vidro promoveu o aumento da resistência média dos blocos de concreto em relação ao traço padrão, sem vidro. E que as substituições de areia por pó de vidro, nas porcentagens de 25, 50 e 75%, apresentaram valores médios de resistência que não diferiram entre si.

Conforme Omran et al. (2018), esses resultados demonstram que o vidro, apesar de apresentar superfície lisa e irregular, o que poderia dificultar a sua ligação ao cimento, parece ser um agregado de melhor característica do que a areia, promovendo maior resistência ao bloco (GUO et al., 2020). O pó de vidro, por apresentar granulometria mais fina do que da areia promoveu, conforme supracitado, a redução do índice de vazios, com preenchimento e fechamento de poros, contribuindo com os maiores valores de resistência. Para além, é possível supor que eventuais partículas mais finas do vidro podem ter tido algum efeito pozolânico no concreto, conforme estudo de Lee et al. (2013).

Figura 11 - Valores médios de resistência à compressão (médias seguidas de mesma letra não apresentam diferenças entre si, a 5% de significância)



Fonte: O Autor (2023)

Natarajan et al. (2020) apresentaram resultados semelhantes ao desta pesquisa. Os autores relataram aumento de 47% da resistência à compressão com adição de 30% do pó de vidro em substituição a areia, em relação ao traço padrão, aos 28 dias. Embora a resistência tenha diminuído com maiores substituições de areia por pó de vidro, a uma granulometria de 0,075 a 2 mm, todas as substituições ficaram com valores de resistência acima do traço produzido como padrão.

Por outro lado, Lu et al. (2019) relataram a diminuição da resistência conforme o aumento nos valores da substituição de areia pelo pó de vidro. De acordo com os autores, este efeito pode estar relacionado com a superfície lisa e irregular dos grãos de vidro, tendo assim uma fraca ligação entre o pó de vidro e o cimento, gerando fissuras que tornaram essa ligação mais frágil, ou seja, o vidro não apresenta uma adequada aderência à pasta de cimento quando em grandes substituições.

O resultado do efeito da idade sobre a resistência mostrou que aos 28 e 56 DAM os valores médios foram de 3,11 e 3,42 MPa, respectivamente, apresentando, portanto, maior resistência na maior DAM testada.

O efeito de DAM no aumento da resistência era esperado, pois as reações de hidratação do cimento continuam ocorrendo com o tempo. As reações de hidratação são mais intensas ao longo dos primeiros 28 dias, reduzindo após este período, mas ainda presentes (GOMES e



ROJAS, 2013). Ortega et al. (2018) mostraram que com a substituição da areia pelo pó de vidro nas argamassas estudadas, a resistência à simples compressão aumentou após os 28 dias.

O aumento da resistência com a substituição da areia por pó de vidro e com o tempo indica que os produtos de hidratação formados contribuem com a melhora das características físicas do concreto, ou seja, a formação de patologias devido às reações indesejadas, reações álcali-agregados, por exemplo, aparentemente não ocorreram.

Para além, dos valores médios à compressão, no Brasil há normativa específica quanto à resistência característica dos blocos,  $f_{bk,est}$ . Os resultados de  $f_{bk,est}$  em função dos traços sem substituição e nas substituições de 25, 50 e 75% da areia por pó de vidro, aos 28 e 56 dias após a moldagem (DAM), estão apresentadas na Figura 12. Observou-se que o valor de  $f_{bk,est}$  foi maior nos blocos fabricados com vidro em comparação ao traço sem vidro. Verificou-se também que o maior valor do  $f_{bk,est}$  foi obtido para os blocos produzidos com 50% de substituição da areia por vidro, aos 56 dias após a moldagem (DAM). Para o traço sem vidro verificaram-se os menores valores de  $f_{bk, est}$ , nas condições deste estudo.

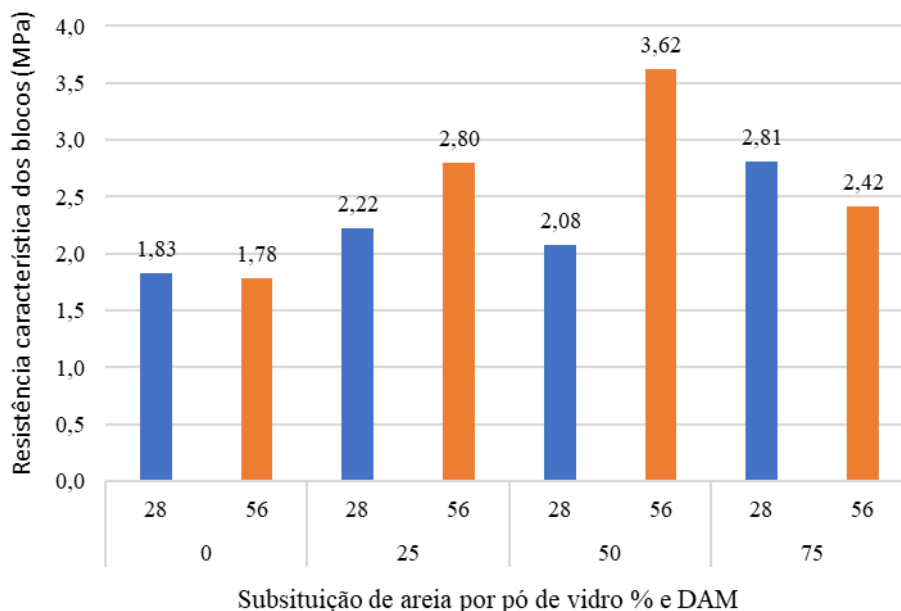
Os valores de  $f_{bk,est}$  apresentaram comportamento distinto em relação à DAM. Para o traço sem vidro e traço com 75% de substituição da areia por vidro verificou-se a diminuição dos valores dos 28 aos 56 DAM. E para os traços com 25 e 50% de substituição de areia por vidro, verificou-se o aumento dos valores de  $f_{bk,est}$  conforme o aumento da DAM.

Em relação aos resultados da maior idade, 56 DAM, observou-se o aumento da resistência conforme o aumento da substituição da areia até 50%, com redução dessa aos 75% de substituição da areia por pó de vidro.

A resistência característica dos blocos,  $f_{bk,est}$ , é uma exigência da norma brasileira NBR 6136 (ABNT, 2016), sendo que o resultado deve apresentar valor igual ou superior a 3 MPa para que o traço testado possa ser utilizado comercialmente. O traço padrão não atingiu o valor mínimo de resistência característica dos blocos,  $f_{bk,est}$  nas duas idades, nas condições deste estudo.

Neste caso, tem-se que o traço que garantiu valor superior ao indicado por norma foi o de 50% de substituição de areia por pó de vidro, aos 56 dias.

Figura 12 – Resistência característica dos blocos,  $f_{bk,est}$ , em diferentes traços (0, 25, 50 e 75% de substituição de areia por pó de vidro), aos 28 e 56 DAM



Fonte: O Autor (2023)

Sendo assim, para o parâmetro resistência à compressão verificou-se atendimento para o  $f_{bk,est}$ , apenas na substituição de areia por pó de vidro em 50%; para os valores médios de resistência nas substituições de areia por vidro de 25, 50 e 75% houve atendimento da norma. Estas diferenças são explicadas pelo fato de que no cálculo do  $f_{bk,est}$  utilizam-se apenas os menores valores de resistência obtidos ( $i = n/2$ , ou  $i = (n-1)/2$  no caso de número ímpar de blocos ensaiados), portanto, os valores de  $f_{bk,est}$  apresentam valores menores do que os valores médios de todo o grupo amostral de blocos ensaiados.

Pelos resultados de absorção de água e resistência encontrados tem-se, portanto, que a utilização de pó de vidro em substituição à areia é tecnicamente viável. Este resultado ressalta questões importantes como a possibilidade de se fabricar um produto que contribui tanto na diminuição da extração dos agregados utilizados na produção dos blocos de concretos, como também na economia circular, com o reaproveitamento do vidro em detrimento de sua simples disposição, e ainda tendo a disposição um produto, o bloco, com qualidade, atendendo as normas vigentes.

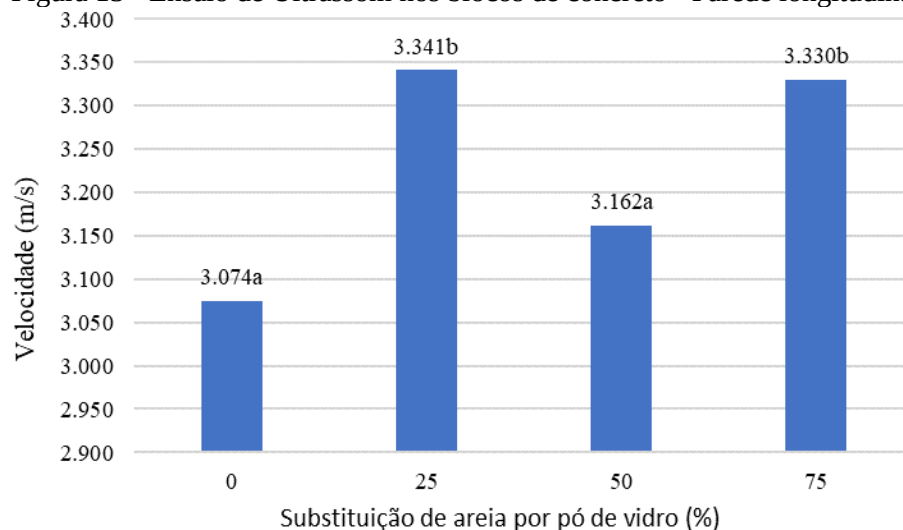
#### 4.3 Ensaio não destrutivo nos blocos de concreto (END) – Ultrassom

A análise de variância mostrou que houve efeito da substituição de areia por pó de vidro nos valores de velocidade apenas na parede longitudinal dos blocos. Na parede transversal dos

blocos, as velocidades encontradas foram de 3631, 3774, 3790 e 3926 m s<sup>-1</sup> para as substituições de areia por pó de vidro de 0, 25, 50 e 75%, respectivamente. Esses valores de velocidade não diferiram significativamente entre si ( $p \geq 0,05$ ), indicando homogeneidade na menor dimensão dos blocos, entre todos os traços.

Em relação à parede longitudinal (Figura 13), observou-se que as substituições de 0 e 50% de areia por pó de vidro são estatisticamente iguais entre si, mas diferentes e menores do que as substituições de 25% e 75%, que são estatisticamente iguais entre si. Essas diferenças indicam menor descontinuidade nas paredes dos blocos fabricados nos traços com 25 e 75% de substituição de areia por pó de vidro.

Figura 13 - Ensaio de Ultrassom nos blocos de concreto - Parede longitudinal



Fonte: O Autor (2023)

Esses resultados corroboram com os resultados de índices de vazios, uma vez que estes interferem na velocidade de passagem da onda. Os maiores índices de vazios estão relacionados ao traço de 0% e 50%, dessa forma verificou-se que os blocos de concreto com maior índice de vazios tendem a ter uma velocidade de onda menor devido ao maior volume de vazios nas paredes longitudinais dos blocos, ou seja, menor homogeneidade.

Para além, os valores de velocidade indicam que as paredes longitudinais apresentam menores valores de velocidade e, portanto, há menor homogeneidade dessas em relação às paredes transversais dos blocos. A heterogeneidade no interior do bloco causa variações na velocidade de pulso, estando relacionados com as variações de qualidade (SANTOS, 2011).

Barreto et al. (2019) verificaram que a maior velocidade de propagação do pulso da onda ocorreu para o teor de 15% de substituição de areia por PET reciclado, embora observados

também discretos aumentos para os teores de 30% e 45%. Dessa forma, pode-se deduzir que a mistura das matérias primas adquiriu uma melhor homogeneidade nos blocos de concreto fabricados com valores de 25% e 75% de substituição de areia por pó de vidro.

Para além, mesmo com a diferença entre as velocidades de passagem da onda na dimensão longitudinal entre as substituições de areia por pó de vidro, os valores de resistência (Figura 12) não seguiram o comportamento da velocidade de passagem da onda.

Apesar das vantagens da análise de ultrassom, como elevado poder de penetração que torna possível a verificação de descontinuidade, em comparação aos outros métodos não destrutivos (SANTINI,2003; OLIVEIRA, 2019), neste trabalho não foi possível estabelecer a relação entre os resultados de propagação de onda e a resistência à compressão.

## 5 CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verifica-se que a substituição da areia por pó de vidro é capaz de melhorar as características de resistência à compressão dos blocos de concreto seco em relação ao padrão, trazendo um resultado com menor absorção de água e maior resistência.

Não é observada relação entre os resultados dos ensaios destrutivo de resistência e não destrutivo de propagação de onda. Porém, a propagação de onda mostra relação com o índice de vazios, tendo menor velocidade para os maiores valores de índices de vazios.

A utilização do pó de vidro pode trazer não apenas economia com redução de custos com a aquisição do agregado miúdo (areia), mas também benefícios de uma forma geral para o meio ambiente, disponibilizando um produto que atende os padrões solicitado em normas e fortalecendo a economia circular.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30**: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Requisitos. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802**: Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2019.

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, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9939**: Agregado graúdo - Determinação do teor de umidade total – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6467**: Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2009.

ABRIVIDRO, 2022 – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro – ABIVIDRO. O Ciclo Do Vidro. Disponível em: <https://abividro.org.br/o-ciclo-do-vidro/>. Acesso em: 05 ago. 2022.

BRASIL. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/panorama>>. Acesso em: 17/06/2022.

BISHT, K.; RAMANA, P.V. Sustainable Production of Concrete Containing Discarded Beverage Glass as Fine Aggregate. *Construction and Building Materials*, v. 177, p. 116–124, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.119>.

CARVALHO, M. N. - Incorporação de Resíduos de Vidro do Tipo “Garrafas Long Neck” em Blocos de Concreto. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus Universitário de Sinop, na área de concentração Biodiversidade e Bioprospecção. Disponível em <

<https://cms.ufmt.br/files/galleries/95/Disserta%C3%A7%C3%B5es%202021/Dffbe8d4c635abfe0717da68a8d710b5593f3c35e.pdf>> Acesso em 07 jan. 2023.

FERDOUS, W., MANALO, A., SIDDIQUE R., MENDIS, P, ZHUGE, Y. WONG, H. S., LOKUGE, W, ARAVINTHAN, T., SCHUBEL, P. - Recycling of landfill wastes (tyres, plastics and glass) in construction – A review on global waste generation, performance, application and future opportunities. – Magazine Resources, Conservation & Recycling- Volume 173, outubro de 2021, 105745. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105745>.

FERNANDES, I. D. Blocos e Pavers; Produção e Controle de Qualidade. 8 Ed. Ribeirão Preto: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda, 2019. 200 p.

FUNVERDE. A poluição causada pelas embalagens long neck e a lei 333/09. Disponível em: <https://www.funverde.org.br/blog/a-poluicao-causada-pelas-embalagens-long-neck-e-a-lei-33309>. Acesso em 17 jun. 2022.

GÓMEZ, M. S. R., ROJAS, M. F. - Cement Hydration. From: Eco-Efficient Concrete. Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering 2013, Pages 83-104. <https://doi.org/10.1533/9780857098993.2.83>.

GUO, S. DAI, Q. SUN, X. XIAO, X. SI, R. WANG, J. - Reduced alkali-silica reaction damage in recycled glass mortar samples with supplementary cementitious materials, Journal of Cleaner Production, Volume 172, 2018, Pages 3621-3633, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.119>.

HARRISON, E. BERENJIAN, A. SEIFAN, M. - Recycling of waste glass as aggregate in cement-based materials. Environmental Science and Ecotechnology Volume 4, October 2020, 100064 <https://doi.org/10.1016/j.es.2020.100064>.

LEE, G., POON, CS, WONG, YL e LING, TC (2013, janeiro). Effects of recycled fine glass aggregates on the properties of dry-mixed concrete blocks. *Construction and Building Materials*, 38, 638. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.017>.

LU, J.X., DUAN, Z. H., POON, C. S. - Combined use of waste glass powder and cullet in architectural mortar, Cement and Concrete Composites, Volume 82, 2017, Pages 34-44 - ISSN 0958-9465, <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.05.011>.

LU, J.; ZHENG, H.; YANG, S.; *et al.* Co-utilization of waste glass cullet and glass powder in precast concrete products. *Construction and Building Materials*, v. 223, p. 210–220, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.231>.

MENG, Y. LING, T. C. MO, K. H. - Recycling of wastes for value-added applications in concrete blocks: An overview, *Resources, Conservation and Recycling*. Volume 138. 2018, Pages 298-312. ISSN 0921-3449. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.029>.

MIKAMI, R. J., KRUGER, P., PEREIRA, E., KUMMER, A. C. B., & DÖLL, M. M. R. (2018). Influência do teor de cerâmica vermelha do agregado reciclado nas propriedades do concreto permeável. *Matéria (Rio De Janeiro)*, 23 (Matéria (Rio J.), 2018 23(3)). <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180003.0497>.

MIRANDA JÚNIOR, E. J. P.- PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND CONTENDO RESÍDUO VÍTREO COMO AGREGADO MIÚDO. 2012. 234 f. Tese (Pós-Graduação em Engenharia de Materiais) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, São Luís. Disponível em: . Acesso em: 07 Mar. 2023.

OLIVEIRA, D. G. Ensaaios não destrutivos: Fundamentos e Aplicações - Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba - João Pessoa, 2019. 46 f. : il. Disponível em <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/25387/1/TCC-DAMI%C3%83O-17.05.19%20vers%C3%A3o%20final.pdf>> Acesso em 03 fev. 2023.

OMRAN, A. F. SOLIMAN, N. A. ZIDOL, A. TAGNIT-HAMOU, A. Performance of ground-glass pozzolan as a cementitious material: a review. *Advances in Civil Engineering Materials*, v. 7, n. 1, p. 237-270, 2018. <https://doi.org/10.1520/ACEM20170125>. ISSN 2379-1357.

PRADO, D. M., - Propriedades físicas e mecânicas de blocos estruturais produzidos com agregados reciclados de concreto. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Disponível em <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-22062006-103918/publico/2006ME\\_DaniloMPrado.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-22062006-103918/publico/2006ME_DaniloMPrado.pdf)> Acesso em 09 fev. 2023.

SANTOS, C. E. O. - Análise de blocos estruturais de concreto utilizando a técnica da ultrassonografia. Dissertação apresentada ao Programa de Pós graduação em Construção Civil da Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em < [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ISMS-8HLL2J/1/tese\\_carlos\\_eduardo\\_final\\_07042011.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ISMS-8HLL2J/1/tese_carlos_eduardo_final_07042011.pdf)> Acesso em 15 fev. 2023.

SCHEIFER, D. M. CALLEJAS, I. J. A. - Physical and mechanical characterization of concrete blocks with the incorporation of sand aggregate from construction waste. Artigos - Matéria (Rio J.) 26 (04) 2021.<https://doi.org/10.1590/S1517-707620210004.1387>.

SZIGETHY, L. ANTENOR, S. - Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos. IPEA - Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade. Disponível em< <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>> Acesso em 16 jan. 2023.

ORTEGA, J.M.; LETELIER, V.; SOLAS, C.; MIRÓ, M.; MORICONI, G.; CLIMENT, M.Á.; SÁNCHEZ, I. - Influence of Waste Glass Powder Addition on the Pore Structure and Service Properties of Cement Mortars. Sustainability 2018, 10, 842. <https://doi.org/10.3390/su10030842>.

PATEL, D. TIWARI, R.P. SHRIVASTAVA R., YADAV, R.K. - Effective utilization of waste glass powder as the substitution of cement in making paste and mortar, Construction and Building Materials, Volume 199, 2019, Pages 406-415, ISSN 0950-0618. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.017>.

PEIXOTO, J. CARVALHO, E. A. S. GOMES, M. L. P. M. GUIMARÃES, R. S. MONTEIRO, S. N. AZEVEDO, A. R. G. VIEIRA, C. M. F. - Incorporation of Industrial Glass Waste into Polymeric Resin to Develop Artificial Stones for Civil Construction. Arabian Journal for Science and Engineering volume 47, pages 4313–4322 (2022). Research Article-Civil Engineering. Disponível em < <https://link.springer.com/article/10.1007/s13369-021-06071-y>> Acesso em 26 nov. 2022.

QAIDI, S.; NAJM, H.M.; ABED, S.M.; ÖZKILIÇ, Y.O.; AL DUGHAIHI, H.; ALOSTA, M.; SABRI, M.M.S.; ALKHATIB, F.; MILAD, A. Concrete Containing Waste Glass as an



Environmentally Friendly Aggregate: A Review on Fresh and Mechanical Characteristics. *Materials* 2022, 15, 6222. <https://doi.org/10.3390/ma15186222>.

TINOCO, V. N. V. JÚNIOR, F. A. S. - Revisão literária do uso de vidro moído como substituto do agregado miúdo no concreto. Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA. Disponível em [https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/4271/2/ViniciusNVT\\_ART.pdf](https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/4271/2/ViniciusNVT_ART.pdf) Acesso em 09 nov. 2022.

TRENTIN, P. O. MANICA, J. VANZETTO, S. C. MARANGONI, B. ZALESKI, A. - Partial replacement of small aggregate by ground glass residue in the production of mortar. *Artigos Matéria (Rio J.)* 25 (1) 2020 <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0903>

WARNPHEN, H. SUPAKATA, N.; KANOKKANTAPONG, V. The Reuse of Waste Glass as Aggregate Replacement for Producing Concrete Bricks as an Alternative for Waste Glass Management on Sichang Island. *Engineering Journal*, v. 23, n. 5, p. 43–58, 2019. <https://doi.org/10.4186/ej.2019.23.5.43>.

YANG, J. DU, Q. BAO, Y. - Concrete with recycled concrete aggregate and crushed clay bricks. *Construction and Building Materials*. Volume 25, Issue 4. 2011. Pages 1935-1945. ISSN 0950-0618. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.063>.