

Resíduo de vidro como agregado ou aglomerante alternativo na produção de artefatos cimentícios

Roselene Maria Schneider

Professora Doutora, UFMT, Brasil
roselenems@yahoo.com.br

Adriana Garcia do Amaral

Professora Doutora, UFMT, Brasil.
adrianagamaral@gmail.com

Marcos Ferreira de Souza

Professor Mestre, UNEMAT, Brasil.
marcosfsengcivil@gmail.com

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 pozolânica mais lenta, ou seja, o endurecimento lento do cimento. Por outro lado, a atividade pozolânica 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 diminuiriam 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 μm , 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 kg/cm^3 , por vidro temperado de granulometria característica similar à da brita, com massa específica de 2,5 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 µm, 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 - SiO_2 (70 a 75%), óxido de cálcio - CaO (8 a 10%), óxido de alumínio - Al_2O_3 (1 a 3%), óxido de magnésio - MgO (1,5 a 3%), superóxido de sódio - NaO_2 (0 a 15%) e óxido de ferro - Fe_2O_3 (0,5 a 1%). O 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, conseqüentemente 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 (Na^+ e 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 (Na_2O) ou o óxido de potássio (K_2O). 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 GHAFLOORI; 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 (Na_2O), 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 μm , 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,	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 ao cimento, tendo maior área de superfície,

					diminuiu a trabalhabilidade e a absorção de água do concreto.	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 conseqüentemente 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-reciclavéis-e-de-suas-organizações-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.; KEBÄİLİ, 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-SiO₂ 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=AwrNaBOP9xpkDPUOFLz6Qt.;_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzEEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1679517712/RO=10/RU=https%3a%2f%2fbetas.uft.edu.br%2fperiodicos%2findex.php%2fdesafios%2farticole%2fview%2f1556%2f8346/RK=2/RS=8xDhCPz2vfdzxmgeiVI3cLZ3pcl.- 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/eeee/eeee2017/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.

GARSDIE, 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 236 (2020) 117477. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061819329290>. Acesso em: 14 ago. 2022.

ISLAM, M. S. GHAFOORI, 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.com/science/article/pii/S0950061813002584>. Acesso em: 04 nov. 2022.

JANI, Y., HOGGLAND, 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/kMrWRDMZ3KpYYzxHytY7vqv/?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. 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 replacemen.** 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 VIRTUHAB. **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 geopolimer 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.com/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.com/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/JFSNKYK8c4Z4kqdv5388B/?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.com/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. 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/wyCkXD3zkSmzPjPpkqmhm3r/>. 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. 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](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.com/science/article/pii/S0950061820328701>. Acesso em: 25 out. 2022.