



## UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE VIDRO RECICLADO NO SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL: REVISÃO

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.5.22.I-023>

Maria Clara Batista (\*), Patrícia F. de Alcantara, Luiza Maia de Castro

\* GITEC Brasil, [mariaclara.rb2@gmail.com](mailto:mariaclara.rb2@gmail.com).

### RESUMO

O vidro faz parte do nosso dia a dia, sendo constituído principalmente por areia, recurso natural que, após ser extraído, é encaminhado para empresas de fabricação deste material. O vidro é então produzido a partir da mistura dos compostos inorgânicos (sílica, soda e calcário) por processo de fusão. Em seguida, é encaminhado para diferentes setores da indústria de acordo com sua aplicação: embalagens, vidros planos, fibras de vidro, vidros domésticos e vidros especiais. O vidro empregado como constituinte de embalagens para a indústria de alimentos e bebidas é, então, encaminhado para as envasadoras, onde são utilizados para acondicionar os produtos de interesse. Segue-se, assim, o fluxo de consumo, passando por distribuidoras, varejistas, até o consumidor final. A partir desse ponto, o vidro pós-consumo pode seguir por diferentes caminhos: descarte irregular, coleta convencional e coleta seletiva, sendo um material que possui amplo potencial de reutilização e reciclagem, podendo ser reciclado inúmeras vezes, caso seja descartado corretamente. Assim, o objetivo desta revisão é buscar entender novas alternativas para a reciclagem do vidro, de maneira a ampliar as possibilidades de uso de resíduos deste material, resultantes das embalagens pós-consumo, em outras cadeias produtivas, como a cadeia da construção civil, avançando na redução dos impactos provenientes dos processos produtivos e contribuindo para ampliar os resultados positivos ambientais, sociais e econômicos advindos da logística reversa do vidro. No artigo, serão demonstrados *cases* que reforçam a utilização do resíduo de vidro reciclado na construção civil como uma forma alternativa de uso do vidro, podendo ser aplicada em países com realidades distintas. Contudo, é necessário a realização de ensaios experimentais e análises estatísticas de maneira a avaliar com maior precisão a viabilidade de seu uso.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reciclagem, vidro, construção civil, concreto, argamassa.

### ABSTRACT

Glass is part of our daily life, consisting mainly of sand, a natural resource that, after being extracted, is sent to companies that manufacture this material. Glass is then produced from the mixture of inorganic compounds (silica, soda and limestone) through a melting process. It is then sent to different sectors of the industry according to its application: packaging, flat glass, fiberglass, domestic glass and special glass. The glass used as a component of packaging for the food and beverage industry is then sent to the filling machines, where they are used to package the products of interest. Thus, the flow of consumption follows, passing through distributors, retailers, to the final consumer. From that point onwards, post-consumer glass can follow different paths: irregular disposal, conventional collection and selective collection, being a material that has a wide potential for reuse and recycling, and can be recycled numerous times, if disposed of correctly. Thus, the objective of this review is to seek to understand new alternatives for recycling glass, in order to expand the possibilities of using waste from this material, resulting from post-consumer packaging, in other production chains, such as the civil construction chain, advancing in reducing the impacts arising from production processes and contributing to increase the positive environmental, social and economic results arising from the reverse logistics of glass. In the article, cases will be demonstrated that reinforce the use of recycled glass waste in civil construction as an alternative way of using glass, which can be applied in countries with different realities. However, it is necessary to carry out experimental tests and statistical analyzes in order to assess with greater precision the feasibility of its use.

**KEY WORDS:** Recycling, glass, civil construction, concrete, mortar.



## INTRODUÇÃO

O vidro faz parte do nosso dia a dia, presente na composição de embalagens, vidros planos, fibras de vidro, vidros domésticos e vidros especiais. É um material produzido principalmente a partir do uso de recursos naturais, como a areia, seu principal constituinte (SANTOS *et al.*, 2019). Estima-se que o tempo mínimo de decomposição do vidro no meio ambiente, de acordo com a ANAVIDRO (Associação Nacional de Vidraçarias), seja de aproximadamente 4 mil anos, dependendo das condições às quais o material é submetido. Apesar do longo período necessário para sua decomposição, este material possui amplo potencial de reutilização e reciclagem (LIOTTO e SANTANA, 2020), podendo ser reciclado inúmeras vezes.

O Brasil produz em média 980 mil toneladas de embalagens de vidro (TRENTIN *et al.*, 2020) e, entre elas, as do tipo *long neck* são um desafio para a gestão de resíduos sólidos nacional. São conhecidas como embalagens *one way*, uma vez que não são reutilizáveis e são pouco recicladas (COSTA *et al.*, 2020). O baixo índice de reciclabilidade de tais materiais é decorrente de diversos fatores, como: consumo distribuído, ausência de um plano de logística reversa efetivo, distância dos centros vidraceiros, baixa rentabilidade dos cacos e riscos associados ao manuseio (TRENTIN *et al.*, 2020).

A cadeia do vidro (Figura 1) tem início com o processo de extração de minerais não-ferrosos, especificamente da areia - material constituído de sílica e principal constituinte do vidro. A areia é direcionada, em seguida, para os fabricantes de vidro. Dentre os diversos tipos de vidro, o mais comum - o vidro de soda-cal - é, então, produzido a partir da mistura dos compostos inorgânicos (sílica ( $\text{SiO}_2$ ) - que compõe entre 65 e 70% do vidro; barrilha ou soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) e calcário ( $\text{CaCO}_3$ )), que, ao serem misturados e submetidos ao processo de fusão nas proporções definidas, atingem uma condição rígida por resfriamento sem haver cristalização (BARROS, 2016). Esse material é, em seguida, encaminhado para diferentes setores da indústria de acordo com sua aplicação. O vidro empregado como constituinte de embalagens é, então, encaminhado para as envasadoras, onde são utilizados para acondicionar os produtos de interesse. Segue-se, assim, o fluxo de consumo, passando por distribuidoras, varejistas, até o consumidor final.



Figura 1: A cadeia do vidro. Fonte: Autor do trabalho.



A partir desse ponto, o vidro pós-consumo pode seguir por diferentes caminhos, como, por exemplo:

- o descarte irregular, que gera impactos ambientais e sociais, sendo uma destinação ambientalmente inadequada;
- a coleta convencional, que apesar de ambientalmente adequada, não é a solução ideal quando se trata de resíduos de vidro, uma vez que não são biodegradáveis e demandam um aumento da necessidade de espaço para disposição final em aterros; e
- a coleta seletiva, rota pela qual o vidro continua circulando, após passar pela triagem e pelo beneficiamento, podendo ser reutilizado pelas envasadoras, reciclado no próprio processo produtivo, ou ser utilizado como matéria-prima secundária em outros setores da indústria, como o da construção civil.

Portanto, para produção do vidro, é necessário o uso de areia, o segundo recurso natural mais amplamente consumido no planeta, após a água doce (KOEHNKEN & RINTOUL, 2018). Estima-se que entre 32 e 50 bilhões de toneladas de areia e cascalhos sejam extraídos por ano no mundo (KOEHNKEN & RINTOUL, 2018). Para o Brasil, os últimos dados disponíveis são para o ano de 2014 e mostram que no país foram extraídas aproximadamente 390 milhões de toneladas de areia. Considerando-se que esse dado se encontra desatualizado, pode-se concluir que o volume de areia extraída no país é de proporção bem mais vultosa. A extração da areia pode causar diversos impactos ambientais (erosão costeira, ameaça à biodiversidade e habitats), sociais (aumento da vulnerabilidade de comunidades costeiras a enchentes) e econômicos (perdas econômicas para a indústria do ecoturismo) (KOEHNKEN & RINTOUL, 2018). Após sua extração, a areia pode ser utilizada amplamente por diversos setores além da indústria vidreira, como o da construção civil. Nesse setor, a areia é um dos principais agregados naturais miúdos, utilizados principalmente para a produção de argamassa (mistura de areia, aglomerante - cimento ou cal - e água) e concreto (mistura de agregado graúdo, agregado miúdo, cimento e água, podendo conter ou não aditivos químicos).

### Reciclagem do vidro: oportunidades e desafios

Na cadeia do vidro, a reciclagem sempre se destacou e tem recebido ainda mais atenção nos últimos anos, havendo grandes investimentos para promover e estimular tal prática. A reciclagem do vidro apresenta as seguintes vantagens (LIOTTO e SANTANA, 2020):

- Reaproveitamento de 100% do caco de vidro, uma vez que para produção de 1 (uma) tonelada de vidro reciclado requer-se 1 (uma) tonelada de caco de vidro;
- Mitigação da exploração de novas jazidas de areia, com um menor consumo de recursos naturais;
- Diminuição do consumo de energia, uma vez que a temperatura de fusão do caco de vidro é inferior à temperatura de fusão da matéria-prima virgem;
- Diminuição da quantidade de vidro destinada aos aterros sanitários;
- Redução da emissão de gases de efeito estufa e da pegada ecológica do processo; e
- Geração de renda para os atores envolvidos.

Embora o vidro tenha o potencial de ser reciclado inúmeras vezes, existem algumas barreiras a serem superadas para sua ampla realização: o processo possui custos elevados - a depender das distâncias a serem percorridas dos pontos de captação, da qualidade do caco, e das distâncias do ponto de beneficiamento à indústria que irá comprar o caco, esse processo pode ser economicamente inviável (LIOTTO e SANTANA, 2020) - e necessita de sistemas que deem suporte e que garantam, de fato, a reciclagem, como, por exemplo, conscientização e práticas em educação ambiental e implantação de coleta seletiva. Além disso, outros fatores, como os riscos atrelados ao manuseio, o peso, a baixa rentabilidade e a dificuldade de comercialização pela base da cadeia de reciclagem contribuem para a baixa adesão a essa prática em algumas localidades.

Apesar da reciclagem do vidro ser um processo vantajoso, apenas 47% do resíduo de vidro gerado no Brasil é reciclado (TRENTIN *et al.*, 2020). Há, portanto, uma fração de vidro que não é reciclada e é descartada como resíduo sólido comum. No contexto de um país de dimensões continentais, é indispensável propor soluções alternativas para fechar o ciclo da cadeia do vidro, já que a viabilidade da logística reversa para a reciclagem do vidro ainda é um desafio no Brasil.

Entre as soluções, a logística reversa se apresenta como uma opção para que as embalagens de vidro pós-consumo possam ser reintroduzidas aos processos produtivos ou mesmo utilizadas em outras indústrias, sendo realizada por meio de canais de distribuição reversos, englobando diferentes formas de processamento e de comercialização. A logística reversa inicia-se pela separação do vidro, com a realização da coleta seletiva, a triagem - que consiste na limpeza (com a retirada de rótulos, por exemplo) e a separação dos resíduos de vidro por cor (branco, verde e âmbar) - e envio para a reciclagem, podendo haver a reintegração a ciclos produtivos como matéria-prima secundária.



Considerando-se os diversos setores econômicos, a construção civil é um dos que apresenta maior potencial de absorver os resíduos sólidos (TRENTIN *et al.*, 2020). No caso dos resíduos de vidro, existem diversas aplicabilidades, sendo bastante discutido na literatura científica o aproveitamento desse resíduo através de sua reintrodução na cadeia produtiva da construção civil em processos de fabricação de concreto e argamassa, podendo ser utilizado em países com realidades distintas e de forma replicável (LIOTTO e SANTANA, 2020). Nos últimos anos, diversos estudos foram realizados para a incorporação de diferentes tipos de resíduos em materiais de construção, como tijolos, concreto normal, concreto asfáltico e outros materiais de pavimentação (MOHAJERANI *et al.*, 2017; LIOTTO e SANTANA, 2020; TRENTIN *et al.*, 2020; entre outros).

## OBJETIVOS

O objetivo desse artigo, a partir da revisão bibliográfica do tema, é apresentar novas alternativas para desenvolver a economia circular na cadeia do vidro, buscando agregar valor a esta cadeia, ao utilizar o resíduo de vidro resultante das embalagens pós-consumo como possível matéria-prima secundária em outras cadeias produtivas como a cadeia da construção civil, avançando assim, de forma ainda mais significativa na redução dos impactos provenientes dos processos produtivos advindos da logística reversa do vidro.

## METODOLOGIA

Para avaliar possíveis aplicações e casos em que o resíduo de vidro já é utilizado no setor de construção civil, foram consultados artigos e periódicos acadêmicos disponíveis nas seguintes bases de dados: *Google Scholar*, *Web of Science* e *Science Direct*; além disso, foram analisados textos jornalísticos, produzidos por instituições nacionais e internacionais.

Para a busca de artigos acadêmicos, as palavras-chaves *glass and recycl\* and construction* foram utilizadas como descritores para o período compreendido entre 1991 e 2021 (quando se utiliza \* nas ferramentas de busca, é incluído na busca as diversas possíveis terminações; neste caso, por exemplo, a busca incluirá: *recycled* ou *recycling*). As buscas às bases de dados foram realizadas durante o mês de janeiro de 2022. A Tabela 1 a seguir sintetiza o total de resultados obtidos.

**Tabela 1. Palavra-chave e número total de trabalhos encontrados em cada base de dados.**

Palavra-chave	<i>Google Scholar</i>	<i>Web of Science</i>	<i>Science Direct</i>
<i>glass and recycl* and construction</i>	2020	736	135

O total de estudos em que constam palavras-chaves relacionadas à reciclagem de resíduos de vidro e construção civil é de 2891 trabalhos. Os critérios de exclusão à análise foram: publicações que não correspondiam ao tema desse trabalho, como aquelas relacionadas a outros usos na construção civil (por exemplo, vidros planos, fibras de vidro etc.) e idiomas diferentes da língua portuguesa e inglesa. Ao final, foram analisados minuciosamente 63 artigos, e levantados 6 *cases* amplamente divulgados.

## RESULTADOS

Os resultados aqui apresentados estão divididos em duas seções: apresentação de resultados de estudos sobre o uso do resíduo de vidro como substitutos de agregados finos, agregados graúdos e material cimentício complementar na cadeia da construção civil; e de *cases* onde o uso desses resíduos já é implementado.

### Uso do resíduo de vidro na construção civil: estudos

A utilização de vidro reciclado como substituto de agregados ou como material cimentício suplementar na construção civil tem sido amplamente estudada em diversos países como uma alternativa para redução da exploração de recursos naturais e redução da quantidade de resíduos sólidos que são encaminhados para aterros ou descartados irregularmente



no meio ambiente. Alguns fatores como o tipo de vidro, a concentração encontrada de dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), a granulometria e a quantidade de vidro utilizada na mistura são fundamentais para tornar viável a utilização do vidro em diferentes aplicações (LIOTTO e SANTANA, 2020).

Uma das aplicações mais estudadas é a utilização do vidro como substituto do agregado miúdo (areia) na produção de concreto e argamassas. Também têm sido desenvolvidos estudos que analisam o uso de resíduos de vidro como substituto ao agregado graúdo da construção civil (brita 0 e 1) para fabricação de concretos (SANTOS *et al.*, 2019) e de material pozolânico (BARROS, 2016).

Entre as diversas propriedades analisadas ao se substituir diferentes materiais por resíduo de vidro, tem-se: trabalhabilidade do concreto (associada ao potencial de absorção de água, consistência e às forças coesivas da mistura), propriedades mecânicas (resistência à compressão, resistência à flexão, resistência à tração e elasticidade), densidade e expansão provocada pela reação álcali-silica (a qual pode sofrer interferência da coloração do vidro, do tamanho da partícula de vidro utilizada, da composição do vidro, do efeito de aditivos ou outros métodos, bem como, interferir na resistência à penetração do cloreto e na absorção de água dos espécimes de concreto) (MOHAJERANI *et al.*, 2017).

Dentre as propriedades, são bastante presentes nas publicações análises relacionadas à resistência à compressão, que geralmente é aumentada diante da introdução de agregados finos de resíduos de vidro em misturas de concreto (MOHAJERANI *et al.*, 2017), apesar de ainda haver estudos que reportam uma redução na resistência. Resultados relacionados à trabalhabilidade do concreto, bem como, a resistência à tração, ainda são inconclusivos (MOHAJERANI *et al.*, 2017). Vale ressaltar que os estudos apresentados a seguir são apenas uma demonstração dos avanços dos estudos relacionados ao uso do resíduo de vidro como substituto da areia em concretos e a resistência à compressão dos materiais, não esgotando o tema.

Adaway e Wang (2015) observaram que o concreto que continha até 30% de resíduos de vidro triturados exibia valores de resistência à compressão superiores que o controle em 7 e em 28 dias, enquanto substituições maiores que 30% obtiveram uma redução em sua resistência. Kunz e Ramos (2019) determinaram o traço para a resistência à compressão característica de 30 MPa e selecionou os teores de substituição da areia por vidro de 10%, 20%, 50% e 70%. Todos os concretos apresentaram resultados satisfatórios quanto à resistência à compressão, pois atingiram os 30 MPa determinados no cálculo do traço, significando que todos poderiam ser utilizados para fins estruturais. O concreto com 20% de substituição apresentou a maior resistência à compressão dentre os demais (45,01 MPa), representando um aumento de resistência de 3,16% em relação ao traço-controle. Segundo os autores, o aumento de resistência pode ser resultado de um ajuste da relação água-cimento (A/C) com a adição dos finos do vidro à mistura, que pode ter causado uma otimização da relação água/cimento para o traço com 20% de substituição, estando mais próximo ao ideal (KUNZ e RAMOS, 2019). No geral, a substituição parcial da areia por vidro resulta em materiais com melhores propriedades físicas e mecânicas, ao comparar com o concreto convencional, em que não há substituição.

Os traços de concretos confeccionados por Costa *et al.* (2020) com vidro moído oriundo de garrafas de cerveja *long neck* apresentaram resultados promissores para a resistência à compressão, observando-se um ganho médio de resistência, se comparado ao concreto de referência sem substituição, da ordem de 35,70% aos 28 dias de cura para um teor de substituição de 10%; de 45,53% para uma substituição de 20%; e de 38,06% para o teor de substituição de 30%. Os testes de compressão simples realizados revelaram ganhos significativos de resistência quando comparados aos traços de controle. Dessa forma, concluiu-se que seria possível a utilização do vidro moído como substituto parcial da massa de agregado miúdo em traços de concretos.

Costa *et al.* (2020) avaliaram também o uso de vidro moído oriundo de garrafas de cerveja *long neck* como substituto da areia na produção de argamassa, e observaram que as argamassas produzidas com pó de vidro moído apresentaram resultados próximos em relação à resistência à compressão, e em alguns casos até superiores, se comparados às argamassas convencionais. Tal como observado para o concreto, os autores concluíram que era possível a utilização do vidro moído como substituto parcial da massa de agregado miúdo em argamassas.

Viana (2018) avaliou a alternativa de uso de vidro reciclado em substituição parcial à areia contida em argamassas geopoliméricas, que são feitas a partir de um cimento à base de metacaulim ao invés do cimento do tipo *Portland*. Foram utilizados cacos de vidro com granulometria de até 4,75mm, e teores de substituição de vidro por areia de 15 e 30%. A partir dos ensaios realizados, observou-se que o vidro apresentou resultados satisfatórios quando inseridos em geopolímeros (cimento à base de outros materiais substituindo o cimento *Portland*) mesmo apresentando valores relativamente abaixo dos valores de referência. Dessa maneira, tais estudos também são indicativos de que é promissora a substituição da areia por vidro para a aplicação em argamassas.



Outro estudo avaliou o traço de controle da argamassa e selecionou as substituições do agregado miúdo pelo vidro nas proporções de 25 %, 50% e 75% (MARTINS, 2018). Todos os traços atenderam às especificações quanto à resistência requerida de forma satisfatória e acima do traço referência, ou seja, a resistência à compressão para a idade de 28 dias foi maior ou igual a 5 MPa (NBR 13.281/2005). Quanto maior o teor de substituição do vidro, maior foram os resultados de resistência obtidos. Foi notado nas argamassas desenvolvidas que com 75% de substituição de areia por vidro, era possível obter valores relativamente superiores na resistência à compressão aos 28 dias; porém, a trabalhabilidade da argamassa foi prejudicada, dificultando a moldagem manual dos corpos de prova. Assim, levando-se em consideração tais fatores, o teor de substituição mais adequado seria de aproximadamente 25%, pois foi o teor de substituição de areia por vidro no qual se atingiram resultados de resistência à compressão equivalentes ao traço de controle.

Trentin *et al.* (2020) avaliaram o desempenho das argamassas produzidas com teores de substituição da areia por vidro de 10%, 15%, 25% e 50%. Os resultados da resistência à compressão nos diferentes teores foram relativamente próximos, sendo de 3 MPa, 3,5 MPa, 3,6 MPa e 3,9 MPa, respectivamente, com o traço de controle atingindo 4 MPa. Concluiu-se, então, que a utilização de resíduo de vidro moído em substituição ao agregado miúdo na produção de argamassa era considerada viável do ponto de vista das propriedades mecânicas, em função do aumento da resistência mecânica das argamassas ao comparar ao traço de controle.

Em contrapartida, ao se utilizar o vidro como substituto do agregado graúdo (brita), os resultados não se mostraram promissores: a substituição parcial da brita por resíduos de vidro (granulometria máxima de 10 mm) no concreto apresentou um decréscimo de resistência à compressão em todos os tempos de cura (7, 14 e 28 dias) onde esse parâmetro foi medido (8 - 18%). Quanto maiores os teores de vidro na mistura, menores resistências eram obtidas com o aumento das idades. A resistência à compressão máxima foi obtida nos corpos de prova com teor de 5% de substituição de vidro, favorável quando comparado com o traço de referência (SANTOS *et al.*, 2019).

Uma outra possível aplicação, envolve o uso do vidro como material pozolânico, que, ao ser finamente moído, é utilizado como aditivo ou substituto parcial do cimento. O uso do vidro como material cimentício suplementar foi avaliado na produção de um concreto de alta resistência, com substituição de cimento por pó de vidro reciclado (granulometria de 0,075 mm), onde Barros (2016) realizou estudos com a substituição e a adição parcial de vidro e vidro + sílica. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão alcançaram valores superiores a resistência esperada aos 28 dias de cura para todas as misturas, sendo os melhores resultados obtidos para as misturas de concreto com 10% de vidro e com 10% de vidro + 10% de sílica, quando esses foram substituídos ou adicionados.

Os estudos sugerem que o vidro moído pode ser utilizado na produção de concretos e argamassas sem efeitos negativos em sua durabilidade, a depender do material a ser substituído. Ao analisar os resultados dos estudos selecionados, percebe-se que foi possível produzir concretos e argamassas com propriedades satisfatórias a partir da substituição parcial do agregado miúdo (areia), indicando o potencial de tal substituição. No entanto, a substituição do agregado graúdo (brita) por vidro não alcançou bons resultados, o que pode ser justificado pelo tamanho da partícula de vidro, que aumenta os espaços vazios, reduzindo assim a resistência à compressão do concreto. Por outro lado, o vidro finamente moído usado como material cimentício suplementar se mostra promissor ao ser combinado com a sílica para produção de concreto de alta resistência.

### Construção civil como alternativa: cases

Diversos estudos, pesquisas, pilotos e projetos estão em andamento com o objetivo de avaliar a substituição de agregados da construção civil por resíduos de vidro, e em algumas localidades tal uso é estimulado. Um exemplo é o uso do vidro reciclado como agregado ao concreto estrutural na Austrália, um país com baixa disponibilidade de agregados e cuja produção é um processo economicamente custoso (ADAWAY & WANG, 2015). Só neste país, quase 130 milhões de toneladas de agregados são extraídos a cada ano, e estima-se que seu consumo deve aumentar nos próximos anos. Inclusive, entre as recomendações do *Department of Transport and Main Roads*, órgão do governo responsável pelos transportes e rodovias, está a de utilizar o resíduo de vidro como alternativa aos agregados naturais e areia em bases rodoviárias<sup>1</sup>:

<sup>1</sup> <https://www.tmr.qld.gov.au/Buildingsustainableroads>



- Em proporção de até 10% em bases asfálticas, e até 20% em bases de brita; e
- Como cama e areia de aterro ao redor de canos.

Tal recomendação se insere na nova Estratégia de Gestão de Resíduos e Recuperação de Recursos do Governo de Queensland, que trabalha em prol de uma economia circular. Além dos resíduos de vidro, o Governo de Queensland utiliza pneus, asfalto recuperado, resíduos de construção e de demolição. Assim, até 8.000 toneladas de resíduos são desviados de aterros por quilômetro de estrada.

Durante 2017, em colaboração com o maior reciclador de vidro da Nova Zelândia, Visy Reciclagem, foi criada a *DB Export Beer Bottle Sand* - um substituto da areia feita de vidro reciclado pós-consumo<sup>2</sup>. Ao todo 104 toneladas de areia para garrafas de cerveja *DB Export* foram usadas para uma variedade de fins práticos, incluindo para construção e estrada, projetos de DIY (*do it yourself*), cama de tubo, *bunkers* de golfe e drenagem de campo de esportes, agregando valor ao vidro residual, que não pode ser reciclado para a produção de garrafas de vidro devido a qualidade, contaminação ou mistura. O conceito ganhou 217 milhões de impressões em publicações em todo o mundo e milhares de vídeos gerados por usuários foram compartilhados diretamente da 'máquina de areia de garrafa de cerveja'. A campanha de mídia social também recebeu 55 milhões de visualizações e 700.000 compartilhamentos. *DB Export Beer Bottle Sand* está disponível para qualquer pessoa usar por meio do Drymix - mistura de concreto ecológico, que é adequada para trabalhos de bricolagem.

O uso do resíduo de vidro também é recomendado nos Estados Unidos, onde já são fabricados *pavers* (blocos pré-moldados de concreto) feitos com vidro reciclado, substituindo o agregado em sua produção, que são comercializados em tamanhos e cores diferentes e usados em calçadas (CORDEIRO e MONTEL, 2015).

Na China, a utilização de vidro no concreto para a fabricação de blocos já é usada em vários locais diferentes de Hong Kong, onde os resultados da planta piloto mostraram que a produção de *pavers* de alta qualidade com uso de resíduo de vidro substituindo a areia é possível sem afetar as propriedades do bloco e ainda melhorando o desempenho de algumas delas, como redução de absorção de água e maior resistência à compressão. Ainda em Hong Kong, outra aplicação amplamente utilizada é a argamassa arquitetônica, utilizada para acabamentos decorativos devido às propriedades estéticas do vidro, podendo ter então uma variedade de tamanhos, cores e teores de substituição da areia por vidro, dependendo do efeito visual desejado (POON *et al.*, 2013).

Recentemente, a Prefeitura de Montevideú (Uruguai) incorporou os critérios de pontuação diferencial para agregados reciclados nas especificações de compra de telhas de nove licenças (ainda não concedidas). As especificações indicam que o produto deve ter no mínimo 40% de material reciclado, para ser considerado diferente do material virgem, o que beneficia empreendimentos que já consideram a economia circular dos materiais. Durante o ano de 2021, a *Arenas de Vidrio* realizou testes bem-sucedidos para a fabricação de telhas com agregados 100% reciclados em conjunto com resíduo de construção e demolição (RCD); de blocos com 25% de areia de vidro em conjunto com Barraca Santino; de tijolos com pó de vidro juntamente com a Cooperativa de Produção de Tijolos Ecológicos; entre outros. Em relação aos tijolos, estima-se que na construção de uma pequena casa sejam utilizados cerca de 5.000 tijolos, que consumiram cerca de sete toneladas de vidro descartado em sua fabricação. Um balcão, por exemplo, para a cozinha, pode absorver 40 quilos de vidro moído por metro quadrado se for usado em toda a mistura (SOUZA, 2021). Além disso, desenvolveram um produto de manutenção de pavimentos que incorporou pó de vidro de resíduos industriais doados. O material foi utilizado em 100 metros de pavimentação em Trinidad em uma proporção de 50% de substituição do agregado natural. Para isso, foram necessárias 2,5 toneladas de resíduos de vidro triturados, ou seja, cerca de 7500 embalagens.

No Brasil, apesar de existirem regulamentações em relação ao resíduo sólido, falta fiscalização e iniciativas públicas e privadas, o que dificulta o desenvolvimento de ações robustas que impeçam a destinação final do resíduo de vidro em aterros sanitários. Uma iniciativa que vale destacar foi "O Caminho do Vidro"<sup>3</sup>, projeto realizado em Fernando de Noronha, com um investimento no desenvolvimento da infraestrutura de moagem e de destino, devido à importância do vidro reciclado em setores como a construção civil. Atualmente, este projeto apresenta capacidade de moagem de 2 toneladas de resíduos de vidro por dia. Alguns aspectos positivos e negativos dessa iniciativa foram identificados na Tabela 2 a seguir.

<sup>2</sup> <https://www.dbsustainability.co.nz/reports/DBSustainabilityReport2017.pdf>

<sup>3</sup> <http://www.noronhaplasticozero.com.br/caminho-do-vidro/>

**Tabela 2. Pontos positivos e negativos do projeto de Fernando de Noronha. Fonte: Autor do trabalho, 2021.**

PONTOS POSITIVOS	PONTOS NEGATIVOS
Arranjo institucional público x privado (Coleta, processamento e reuso pela mesma instituição);	Matriz energética com termelétricas movidas a combustível fóssil;
Fornecimento regular através da coleta seletiva;	Superdimensionamento do equipamento (baixa eficiência energética + altos custos de operação/manutenção);
Custos altos para a destinação adequada do vidro;	Não tem monitoramento ou certificação, para gerar o crédito de logística reversa.
Custos altos para a compra de areia;	
Uso final determinado e regular, com cadeia de suprimento definida.	

Um dos aspectos positivos dessa iniciativa em Fernando de Noronha está relacionado ao alto custo para obtenção de areia neste arquipélago. Todavia, essa não é a realidade para todo o país: no Brasil, de um modo geral, existe demanda regular e consistente de areia, com grande disponibilidade para extração, mas a maior parte do material é proveniente de extração ilegal, o que contribui para uma exploração cada vez mais predatória desse recurso natural (RAMADON, 2016). A areia é produzida em todos os estados do Brasil, sendo o Estado de São Paulo o maior produtor (RAMADON, 2016). Seu consumo é direcionado, no setor da construção civil, para a produção de argamassas, concretos, produtos pré-fabricados, entre outros, com grande aplicação de agregados (material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto) em obras públicas.

Portanto, no contexto nacional, o uso do vidro moído como matéria prima secundária utilizada pela construção civil para substituição da areia como agregado miúdo pode ser uma solução para promover o fechamento da cadeia do vidro, uma vez que garante a circularidade desse material em locais afastados dos centros de reciclagem, reduzindo a quantidade de resíduo destinada aos aterros e lixões, incorporando-os a misturas à base de cimento, como na produção de concretos.

## CONCLUSÕES

A resistência à compressão foi o principal fator de análise, uma vez que se destaca como o principal parâmetro para a avaliação da durabilidade da estrutura. Dentre as aplicações mais citadas na bibliografia estão o concreto e a argamassa, com os resultados mais promissores, em relação ao material substituído sendo obtidos na substituição de agregados miúdos (areia), o que impacta diretamente os aspectos gerais, como a granulometria. Em relação aos teores de substituição da areia por vidro no concreto, foi possível observar resultados mais promissores para substituições em torno de 20%. Em relação a argamassa, notou-se comportamento semelhante, sendo maiores as resistências à compressão em teores entre 20% e 30% de substituição. Para a substituição do cimento por vidro, observou-se que o uso de vidro com granulometria de 0,075mm e sua combinação com a sílica alcançou resultados satisfatórios no desenvolvimento do concreto de alta resistência. No entanto, a substituição do agregado graúdo (brita) por vidro com granulometria de 10mm não alcançou bons resultados, uma vez que, houve um possível aumento dos espaços vazios devido ao tamanho do vidro moído. Assim, uma justificativa possível para os resultados encontrados seria o tamanho da partícula do vidro, já que com uma granulometria menor tem-se um maior preenchimento dos poros, o que está relacionado com uma maior resistência à compressão.

Em relação aos *cases* apresentados, foi possível observar que a quantidade de vidro a ser reciclada é determinante nas possibilidades de uso futuro, já que, para determinar uma aplicação, é preciso saber se a oferta daquele material será constante ou não para que o planejamento possa ser bem executado. Um incentivo para que a cadeia de reciclagem se fortaleça é contar com legislações municipais, por exemplo, onde compras do setor público têm grande influência na viabilidade da proposta. Assim, a utilização do vidro reciclado na construção civil é uma forma alternativa de uso deste resíduo, podendo ser utilizada em países com realidades distintas e de forma replicável em diferentes aplicações, sendo necessário, no entanto, realizar os ensaios experimentais acompanhados por análises estatísticas de maneira a avaliar de forma mais precisa a viabilidade do uso dos resíduos de vidro.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adaway, M.; Wang, Y. Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in structural concrete – Effects on compressive strength. **Special Issue: Electronic Journal of Structural Engineering**, 14 (1), 116 – 122, 2015.
2. Barros, L. M. **Concreto de alta resistência a partir de matérias-primas amazônicas e vidro reciclado**. 2016. Tese (Doutorado em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo: São Carlos, 2016.
3. Cordeiro, R. S.; Montel, A. L. B. Estudo da viabilidade para a produção de concretos com adição de resíduos de vidro em substituição ao agregado miúdo na cidade de Palmas - TO. **DESAFIOS: Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, V. 2, Nº Especial, p. 104-123, 2015.
4. Costa, K. M.; Almeida, R. C.; Moreira, T. A. S. Análise do Desempenho Mecânico de Concretos e Argamassas Mediante a Substituição Parcial da Massa de Agregado Miúdo (Areia) por Vidro Moído Oriundo de Garrafas de Cerveja Long Neck. **RCT – Revista de Ciência e Tecnologia**, vol. 6, 2020.
5. Kunz, D.; Ramos, J. G. V. S. **Reaproveitamento de Rejeitos de Vidro como Agregado em elementos à base de cimento: uma análise da influência na resistência do concreto**. 2º Congresso de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 2019. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2019/VII-051.pdf> Acesso: 13 de janeiro de 2022.
6. Liotto, P. F.; Santana, G. P. O uso do vidro em concreto: revisão. **Scientific Amazonia**, v. 9, n. 2, C1- C12, 2020. Disponível em: <http://scientia-amazonia.org/wp-content/uploads/2020/05/v9-n2-C1-C12-2020.pdf>. Acesso: 13 de janeiro de 2022.
7. Poon, C. Ling, T. Wong, H. Management and recycling of waste glass in concrete products: Current situations in Hong Kong. **Resources, Conservation and Recycling**. v.70, 2013, p. 25-31. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344912001917> . Acesso: 13 de janeiro de 2022.
8. Santos, I. R. S., Lima, J. N., Castro, E. R. C. **Estudo de substituição do agregado graúdo no concreto por resíduo de vidro**. Congresso Internacional de Patologia y Recuperación de Estructuras, 15 ed., Universidad Nacional de Salta, Argentina, 2019. 11-21p.
9. Viana, E.R. **Avaliação do Uso de Vidro Reciclado em Substituição Parcial da Areia em Argamassas Geopoliméricas**. Trabalho de conclusão de curso, Joinville, 2018, 65p. Disponível em: [https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/191798/TCC\\_EDUARDO\\_VIANA\\_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/191798/TCC_EDUARDO_VIANA_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 13 jan. 2022.
10. Mohajerani, A., Vajna, J., Cheung, T. H. H., Kurmus, H., Arulrajah, A., Horpibulsuk, S. Practical recycling applications of crushed waste glass in construction materials: A review. **Construction and Building Materials**, 156, 443-467, 2017.
11. Trentin, P. O.; Manica, J.; Vanzetto, S. C.; Marangoni, B.; Zaleski, A. Substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa. **Matéria (Rio de Janeiro)**, vol. 25, no. 1, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/wyCkXD3zkSmzPjPpkqmhm3r/?lang=pt> Acesso em: 12 jan. 2022.
12. Souza, R. Activistas por el ambiente: uruguayos que viven y promueven una vida ecológica. **EL PAÍS**, 2021. Disponível em: <https://www.elpais.com.uy/domingo/activistas-ambiente-uruguayos-viven-promueven-vida-ecologica.html>. Acesso em: 18 de fev. 2022.
13. Ramadon, L. F. **A extração ilegal de areia no Brasil**, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://apublica.org/wp-content/uploads/2020/05/a-extracao-ilegal-de-areia-no-brasil.pdf>
14. Martins, D.; Ticianelli, T.R. **Incorporação de vidro em substituição ao agregado miúdo (areia) em argamassas**. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Civil - Faculdade de Rondônia - FARO, Porto Velho, 2018. 15p. Disponível em: <http://prsrecicladora.com.br/wp-content/uploads/2018/07/88126abfb707f00b015fb02c19706f09.pdf>
15. Koehnken, L.; Rintoul, M. **Impacts of Sand mining on ecosystem structure, process and biodiversity in rivers**. WWF, 2018. Disponível em: [https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/sand\\_mining\\_impacts\\_on\\_world\\_rivers\\_final\\_.pdf](https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/sand_mining_impacts_on_world_rivers_final_.pdf) Acesso em: 12 jan. 2022.