

## PRODUÇÃO DE CONCRETOS A PARTIR DE MATÉRIAS-PRIMAS AMAZÔNICAS E ADIÇÃO DE PÓ DE VIDRO

Vinicius dos Santos Albuquerque<sup>1</sup>, Laerte Melo Barros<sup>2</sup>, Eduardo Bellini Ferreira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Discente de graduação em Engenharia Civil - IFAM. Bolsista de Iniciação Científica da FAPEAM/IFAM. e-mail: [viniciusalbuquerque.ptr@gmail.com](mailto:viniciusalbuquerque.ptr@gmail.com); <sup>2</sup>Professor do Curso de Engenharia Civil - IFAM. e-mail: [lmbarros\\_15@hotmail.com.br](mailto:lmbarros_15@hotmail.com.br); <sup>3</sup>Professor do Curso de Engenharia de Materiais - EESC. e-mail: [ebferreira@sc.usp.br](mailto:ebferreira@sc.usp.br)

**RESUMO:** A reutilização de resíduos é considerada uma excelente alternativa para o desenvolvimento sustentável. Para a Comissão Mundial Sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento no documento Nosso Futuro Comum a sustentabilidade é “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades”. Uma forma de proporcionar uma solução sustentável para o vidro seria a reutilização de resíduos de vidro na produção de concretos. Quando misturados com materiais a base de cimento os pós de vidro finamente moídos apresentam boa qualidade pozolânica devido ao teor de sílica e alumina amorfa presentes em sua composição. A utilização de pó de vidro em substituição parcial ao cimento na produção de concreto, não só apresenta benefícios ambientais significativos, como melhora o desempenho dos concretos quando utilizado em quantidades ideais. A pesquisa teve como objetivo a substituição parcial do cimento por pó de vidro finamente moído, menor que 75 µm. Os resíduos de vidro foram coletados na própria indústria da construção civil em obras e empresas vidreiras que trabalham com corte e entrega do produto. Foram realizadas comparações entre concretos convencionais e concretos produzidos com vidro em diferentes percentuais de substituição ao cimento Portland. As análises comparativas foram realizadas através das propriedades mecânicas de resistência à compressão e tração por compressão diametral aos 7, 14, 21, 28 e 90 dias. As misturas de concreto com 10% de substituição apresentaram os melhores resultados para os dois tipos de ensaios mecânicos realizados.

**Palavras-chave:** cimento Portland, construção civil, reutilização, substituição

## CONCRETE PRODUCTION FROM RAW MATERIALS AMAZONIAN AND GLASS POWDER ADDITION

**ABSTRACT:** The reuse of waste is considered an excellent alternative to sustainable development. According to the World Commission on Environment and Development in the document Our Common Future sustainability is "one that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their needs." One way to provide a sustainable solution to the glass would be the reuse of glass waste in the production of concrete. When mixed with materials to cement glass powders finely ground have good quality pozzolanic due to the silica content and amorphous alumina present in its composition. The use of glass powder to partially replace cement in concrete production, not only has significant environmental benefits, such as improving the performance of concrete when used in optimal amounts. The research aimed to the partial replacement of cement with finely ground glass powder is less than 75 µm. Glass waste were collected in own construction industry works and glass companies working with cutting and delivery. Comparisons between conventional concrete and concrete were made with glass produced in different percentages

of replacement of Portland cement. Comparative analyzes were performed using the mechanical properties of resistance to compression and traction by diametrical compression at 7, 14, 21, 28 and 90 days. Concrete mixtures with 10% substitution showed the best results for both types of mechanical tests.

**KEYWORDS:** Portland cement, construction, reuse, replacement

## INTRODUÇÃO

O gerenciamento de resíduos sólidos é uma das principais preocupações do governo de grandes cidades. A cada ano é necessário aumentar a área em aterros para disposição de resíduos urbanos que poderiam ser reutilizados e melhor aproveitados. Além de diminuir o uso intensivo de matérias-primas naturais, o uso de resíduos sólidos pode tornar mais econômica a fabricação de alguns materiais.

Manaus é um caso particular, por se tratar de uma grande cidade isolada por largas extensões de florestas e rios. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Manaus chegou a 2.054.711 habitantes em 2015 e desde o ano de 2011 se mantém como o sexto município de maior PIB nacional. Embora a disponibilidade de área seja relativamente grande, Manaus atualmente apresenta sérios problemas com o gerenciamento de resíduos urbanos.

De acordo com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS, 2015), nos primeiros oito meses de 2015 foram coletados cerca de 640 toneladas de resíduos sólidos na cidade de Manaus, médias diárias de 2.621 toneladas e 1,3 kg/habitante, não contabilizados os resíduos coletados por empresas privadas e de disposições clandestinas.

Parte dos chamados resíduos sólidos é formada por resíduos de construção civil. A Resolução Conama nº 307 define responsabilidades ao Poder Público e instituições privadas, tornando obrigatória a execução de um Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil para os Municípios até 2017.

A reciclagem de resíduos da construção civil pode trazer grandes benefícios ao meio ambiente, além de dar aos mesmos uma destinação correta, economizar matérias-primas e energia, e reduzir a poluição gerada no setor. Durante o processo de fabricação de uma tonelada de cimento, por exemplo, em torno de 659 kg CO<sub>2</sub> são lançados na atmosfera (LIMA, 2010). Minimizar ou aumentar a eficiência do uso de cimentos em concretos é de grande relevância para uma economia sustentável. Nesse aspecto, a produção de pozolanas em concretos tem chamado a atenção e cada vez mais estudiosos têm se interessado pela reciclagem de vidros para essa finalidade. Resíduos de vidro da própria construção civil vêm sendo sistematicamente desperdiçados na região de Manaus, pela inviabilidade econômica de

destiná-los aos distantes centros fabricantes de vidro em outras regiões do país para a reciclagem tradicional, enquanto há um enorme potencial de emprego dos mesmos na produção de concretos.

Embora existam várias alternativas de reaproveitamento de vidros, exigências de investimento em grandes áreas para acondicionamento e aquisição de equipamentos de separação e cominuição ainda limitam a capacidade de absorção de tais resíduos nos centros urbanos, fazendo com que muitos deles tenham os aterros sanitários como disposição final (IDIR, CYR e TAGNIT-HAMOU, 2009).

A reutilização de vidro na produção de concretos seria uma solução sustentável. Os resíduos de vidro adequadamente triturados e peneirados em uma granulometria apropriada podem apresentar características semelhantes à de agregados naturais. O reuso do vidro quando empregado na fabricação de concretos diminui os custos de produção (TOPCU e CANBAZ, 2004).

O concreto tradicional é uma mistura de cimento Portland, agregado grosso (brita ou seixo), agregado fino (areia) e água (BAUER, 2005). O cimento misturado à água forma uma pasta aderente que tem a função de unir os agregados e no estado fresco pode ser conformada em diferentes formas. O material granular é chamado de agregado, como seixos, britas, areias ou resíduos de construção e demolição. As partículas maiores que 4,75 mm são chamadas de agregado grão ou grosso, já o termo agregado fino ou miúdo refere-se às partículas de diâmetro entre 75  $\mu$ m e 4,75 mm (ABNT, 2009).

Entretanto, as adições de vidro em concretos e argamassas são limitadas pela reação química entre os componentes alcalinos da pasta de cimento e a sílica reativa na forma de gel, que ocorre com expansão volumétrica, possibilitando o aparecimento de fissuras que aceleram os processos de oxidação de armaduras, assim como a diminuição da resistência mecânica. Porém, a adição de pó de vidro finamente moído na dosagem ideal de misturas de concreto e argamassa anula os efeitos de tal reação. Além disso, alguns aditivos minerais como a sílica e o metacaulim reduzem os efeitos de expansão ocasionados pelos agregados de vidro (MAGESWARI e VIDIVELLI, 2010).

Assim, o presente trabalho teve por objetivo estudar o efeito da substituição parcial de cimento Portland por diferentes proporções (10, 15 e 20% em massa) de pó de vidro reciclado, com granulometria menor que 75  $\mu$ m, na resistência à compressão axial e tração por compressão diametral de corpos de prova de concretos para construção civil produzidos com matérias-primas amazônicas.



## MATERIAL E MÉTODOS

A resistência à compressão aos 28 dias característica  $f_{ck} = 25\text{MPa}$  foi tomada como referência para a formulação dos concretos. A relação em massa água/cimento foi mantida constante em 0,55. O agregado graúdo utilizado foi a brita da jazida Figueiredo a 150 km de Manaus, o agregado miúdo foi a areia de terra firme, jazida Arco Iris a 120 km de Manaus e o cimento utilizado foi o CP IV-Z 32 da empresa Nassau.

O método utilizado para a dosagem na produção de concretos foi o racional, ajustado em laboratório. Foram produzidas misturas de concreto convencional (considerado como referência) e contendo 10, 15 e 20% em massa de pó de vidro em substituição ao cimento Portland.

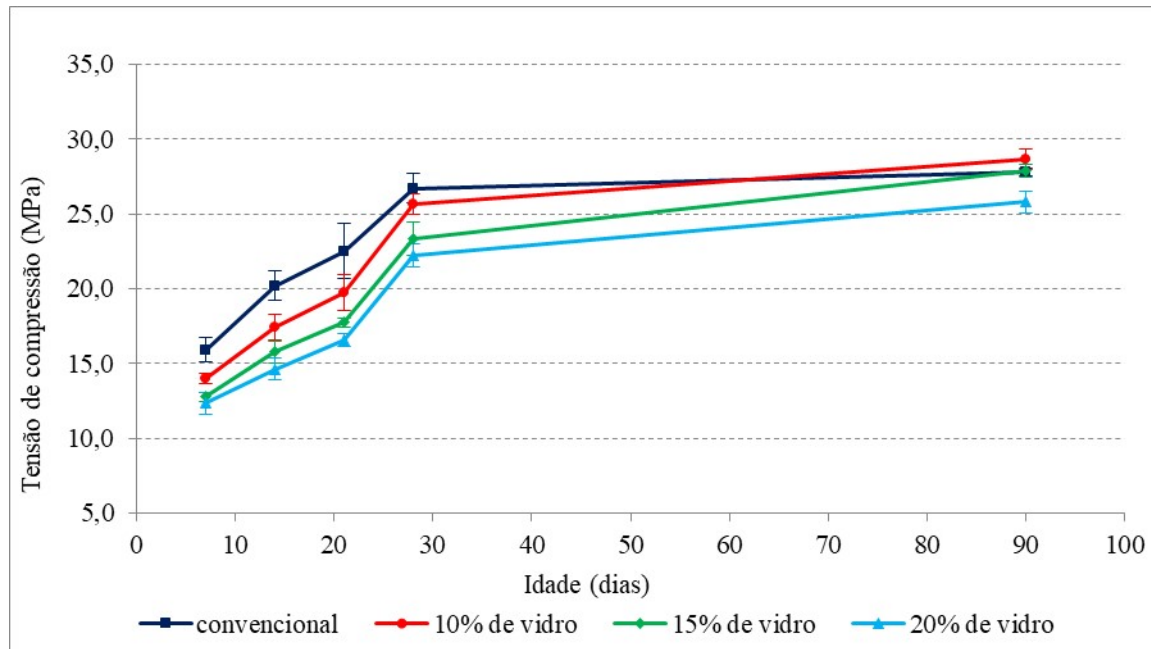
Foram moldados 15 corpos de prova para cada mistura analisada, rompidos para as idades de 7, 14, 21, 28 e 90 dias. A moldagem dos concretos frescos foi realizada na forma de corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de comprimento. As moldagens foram sempre realizadas com adensamento em três camadas com 12 golpes, utilizando-se uma haste metálica.

Foram realizados ensaios mecânicos de compressão axial e tração por compressão diametral. Os ensaios foram realizados em uma prensa universal modelo N 1500 LC Pavitest, Contenco, com capacidade de 120 toneladas-força, no Laboratório de Materiais de Construção e Resistências dos Materiais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

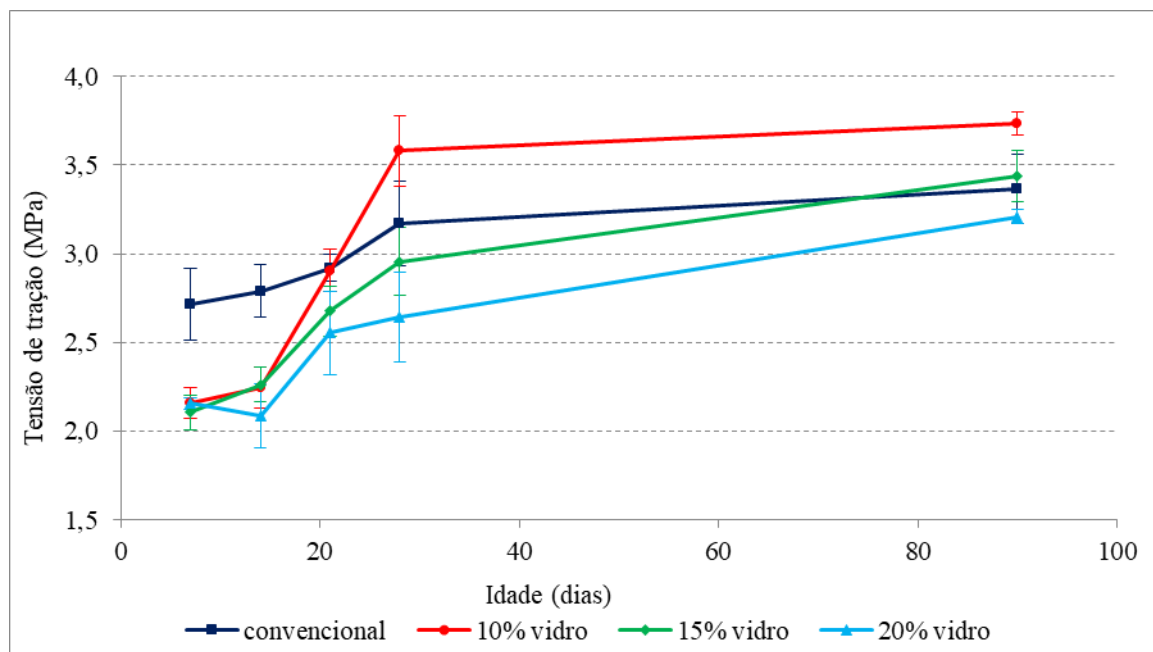
A resistência à compressão das misturas foi analisada em função do tempo de cura para as idades 7, 14, 21, 28 e 90 dias. Os resultados podem ser observados na Figura 1. Os valores médios de compressão axial demonstram que as resistências aumentam com o crescimento da idade de rompimento para todas as dosagens no intervalo analisado, com exceção do concreto convencional, cuja resistência permaneceu constante dentro do erro experimental após os 28 dias. Observa-se que a resistência média do concreto com 10% de vidro em substituição ao cimento Portland apresenta uma pequena melhora a partir dos 60 dias comparado à mistura de controle. A formulação com 15% de vidro apresentou resultado praticamente igual à amostra de controle somente aos 90 dias. Já a dosagem com 20% de vidro apresentou diminuição significativa da resistência à compressão em todas as idades ensaiadas.

As barras de erro apresentadas são indicadas para representar o erro estimado da variação de resistência dos três corpos de prova rompidos nas idades previamente definidas. Correspondem aos intervalos de confiança segundo a distribuição  $t$  de Student.



**Figura 1.** Resistência à compressão axial de concretos com diferentes proporções de pó de vidro em substituição parcial ao cimento Portland. IFAM, 2016.

Os resultados dos ensaios de tração por compressão diametral são mostrados na Figura 2. Nesse caso, verifica-se que as amostras com 10% de vidro apresentam resistências significativamente maiores quando comparadas as do concreto convencional, a partir de 21 dias. As demais formulações apresentaram resistências equivalentes a do concreto convencional, nos limites de erro experimental, após 21 dias. Todas as formulações com vidro apresentaram resistência mecânica menor que a do concreto convencional em idades menores que 21 dias. A dosagem com 20% de vidro mostrou resultado médio insatisfatório em todas as idades.



**Figura 2.** Resistência à tração por compressão diametral dos concretos com diferentes proporções de pó de vidro em substituição parcial ao cimento Portland. IFAM, 2016.

Os melhores resultados mecânicos com vidro em substituição ao cimento foram alcançados com a mistura com 10% de substituição, tanto para os esforços de compressão como de tração. O resultado dos ensaios de compressão axial e tração por compressão diametral indicam que o ganho de resistência do concreto com pó de vidro ocorre a uma taxa ligeiramente menor do que em concretos normais, mas o mesmo tem potencial de alcançar melhores resultados em idades mais avançadas. A taxa mais lenta de aumento da resistência dos concretos com vidro reflete a reação pozolânica do vidro com o hidróxido de cálcio em hidratos de cimento (TURGUT e YAHLIZADE, 2009).

## CONCLUSÕES

Tanto a resistência à compressão como à tração para as amostras de 10, 15 e 20% de vidro aumentam com a idade, porém as resistências médias tendem a ser menores que a mistura de controle na maioria dos casos, principalmente quando o percentual de substituição de cimento por pó de vidro é maior que 10%. Desempenho superior em relação à resistência mecânica foi observado para o concreto com 10% de vidro reciclado em substituição ao cimento Portland, em comparação ao concreto convencional, em idades avançadas. Os resultados dos ensaios indicam que existe um limite máximo de 10% para o nível de substituição de cimento por resíduos de vidro em pó.

Mesmo assim, a produção de concreto com pó de vidro até o limite de 20% de substituição ao cimento é compatível com as práticas de produção e construção dos concretos convencionais, pois suas características visuais e até de trabalhabilidade não são significativamente modificadas com a adição do vidro. Apesar de haver diminuição de resistência nas primeiras idades em todas as misturas estudadas e mais estudos precisarem ser realizados sobre a adequação das formulações em longo prazo, a utilização de vidro em pó em substituição ao cimento Portland na produção de concretos pode ser uma alternativa viável para destinação de resíduos de vidro na região de Manaus.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas - FAPEAM, ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM, Campus Manaus Centro, e à FAPESP (projeto CEPID nº 2013/07793-6) pelo apoio e financiamento à pesquisa realizada.

## **REFERÊNCIAS**

ABNT. (2009). **Agregados para concreto**. NBR 7211 .

BAUER, L. A. **Materiais de Construção**. 5ª Edição Vol. I. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2005.

IDIR, R., CYR, M., & TAGNIT-HAMOU, A. Use of Waste Glass as Powder and Aggregate in Cement-Based Materials. SBEIDCO – **1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries**, 12-14, Oct. 2009.

LIMA, J. A. **Avaliação das consequências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas**. 2010. 129 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MAGESWARI, M., & VIDIVELLI, B. The Use of Sheet Glass Powder as Fine Aggregate Replacement in Concrete. **The Open Civil Engineering Journal**, , pp. 65-71, 2010.



PMGIRS. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Cidade de Manaus**. p. 80, 2015.

TOPCU, I. B., & CANBAZ, M. Properties of concrete containing waste glass. **Cement and Concrete Research**, v. 34, n 2, p. 267 - 274, feb. 2004.

TURGUT, P., & YAHLIZADE, E. S. Research into Concrete Blocks with Waste Glass. **International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering** , p. 202 - 208, 2009.