



EIXO TEMÁTICO:

- () Desastres, Riscos Ambientais e a Resiliência Urbana
- () Drenagem Urbana Sustentável
- () Engenharia de Tráfego, Acessibilidade e Mobilidade Urbana
- () Habitação e a Gestão Territórios Informais
- () Infraestrutura, Espaços Públicos e Ambiência Urbana
- () Intervenções e Requalificações da Cidade Contemporânea
- () Patrimônio Histórico: Temporalidade e Intervenções
- () Políticas Públicas, Justiça Social e o Direito a Cidade
- () Saneamento Ambiental
- (x) Tecnologia e Sustentabilidade na Construção Civil

Reciclagem de vidro como alternativa para concreto

Glass recycling as an alternative to concrete

El reciclado de vidrio como una alternativa al concreto

Larissa Barbieri Benatti

Graduanda de engenharia civil, Unesp, Brasil.
larissabbenatti@hotmail.com

Maximiliano dos Anjos Azambuja

Professor Doutor, Unesp, Brasil.
maximilianoazam@feb.unesp.br



RESUMO

Esse projeto justifica-se pela importância da conservação do meio ambiente, tendo em vista o impacto positivo gerado pela reciclagem e pela necessidade do conhecimento das propriedades físicas e mecânicas do concreto com resíduos de vidro a partir de ensaios experimentais. A pesquisa teve como objetivo produzir corpos de prova cilíndricos de concreto sem aditivo, concreto com aditivo e sem vidro e concreto com aditivo e com vidro cominuído como agregado fino nas proporções de 5%, 10%, 15% e 20% em substituição da areia e avaliar suas respostas relacionadas à resistência a compressão, absorção de água por imersão, por capilaridade e índice de vazios. Os resultados apontaram que quanto menor é a absorção de água, menor é o índice de vazios e maior é a massa específica seca e a resistência à compressão dos corpos de prova foi satisfatória, já que houve um aumento ao se comparar ao concreto convencional. Dessa forma, a adição de vidro na composição do concreto revelou resultados promissores para os ensaios realizados.

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem. Concreto. Resistência.



INTRODUÇÃO

A palavra sustentabilidade está em alta atualmente devido ao despertar da sociedade para a causa da preservação do meio ambiente através de técnicas e uso de produtos e outros métodos que não agridam o mesmo. Ao conjunto de ações, técnicas e correto manuseios dos recursos disponíveis visando a preservação ambiental, dá-se o nome de sustentabilidade ou do uso sustentável dos recursos disponíveis. Ao reciclar, se economiza matéria prima e possivelmente se barateia o processo de fabricação de um novo produto.

Em um Mundo onde as tecnologias que cercam evoluem tão rapidamente, precisa-se constantemente adaptar os ambientes residenciais e comerciais à estas realidades, mas sempre pensando em evoluções futuras, tornando estes ambientes mais preparados para novas tecnologias, ainda em desenvolvimento.

O palavra “sustentabilidade” é, sem dúvida, uma das mais faladas e comentadas neste novo milênio e, não por acaso, esse conceito tem invadido as mais diversas áreas do conhecimento e setores da economia. Na construção civil, a partir da utilização de novos materiais que gerem o menor impacto possível ao meio ambiente e contribuam para o conforto térmico ou a redução do consumo de energia, não é diferente, e há inúmeros exemplos de novos materiais e tecnologias com essa finalidade.

Sendo o vidro um material não muito valorizado pela reciclagem, devido ao baixo preço pago por quilo, e por este motivo com grande disponibilidade, há a possibilidade de usá-lo como agregado na produção de concretos, poupando o ambiente do uso de fontes de agregados naturais e da contaminação pelo descarte excessivo de vidro. Essas implicações incentivam o estudo das características físicas e mecânicas de concreto com vidro cominuído como agregado fino.

CONCRETO E VIDRO

No estudo realizado por Nascimento, et al. (2014), foi utilizado resíduo proveniente do processo de moagem e reciclagem, o qual, após ser separado, foi passado em moinhos de mola, e em seguida em um pulverizador e finalizado com um peneiramento que selecionou as diferentes granulometrias e similares o do agregado natural utilizado.

Foi utilizado na elaboração desta pesquisa o Cimento Portland CII - E - 32, encontrado em abundância no mercado nacional.

Os agregados graúdos utilizados, possuem natureza mineralógica granítica, proveniente do Vale do Mucuri. Já o agregado miúdo, possui origem quartzosa. Ambos materiais são comercializados na região de Teófilo Otoni-MG.

O ensaio foi feito seguindo os seguintes traços:

Tabela 1: Traços de concreto.

Grupos de concreto	Traço (c:a:vd:b:a/c)	Proporção vidro-areia (%)
1	1:0:1,6:2,35:0,45	100-0
2	1:0,8:0,8:2,35:0,45	50-50
3	1:1,6:0:2,35:0,45	0-100

Fonte: NASCIMENTO, 2014.



Tabela 2: Resultados de resistência à compressão.

Grupos	Resistência à compressão média 7 dias (MPa)	Resistência à compressão média 28 dias (MPa)
1	14,4	22,6
2	20,0	30,4
3	28,0	37,2

Fonte: NASCIMENTO, 2014.

Foi concluído que o vidro incorporado à areia fornece ao concreto boas propriedades mecânicas, podendo ser usado para fins estruturais ou concreto de massa, como mostrado nos resultados do grupo 2.

Os resultados obtidos por Barroso, et al. (2008) foi baseado na avaliação comparativa da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos de argamassa com substituição de 50% de agregado miúdo, areia normal, por resíduos, como: (i) sucata de vidro moída; (ii) varrição de indústria metalúrgica e (iii) lodo de decantadores terciários de uma concreteira.

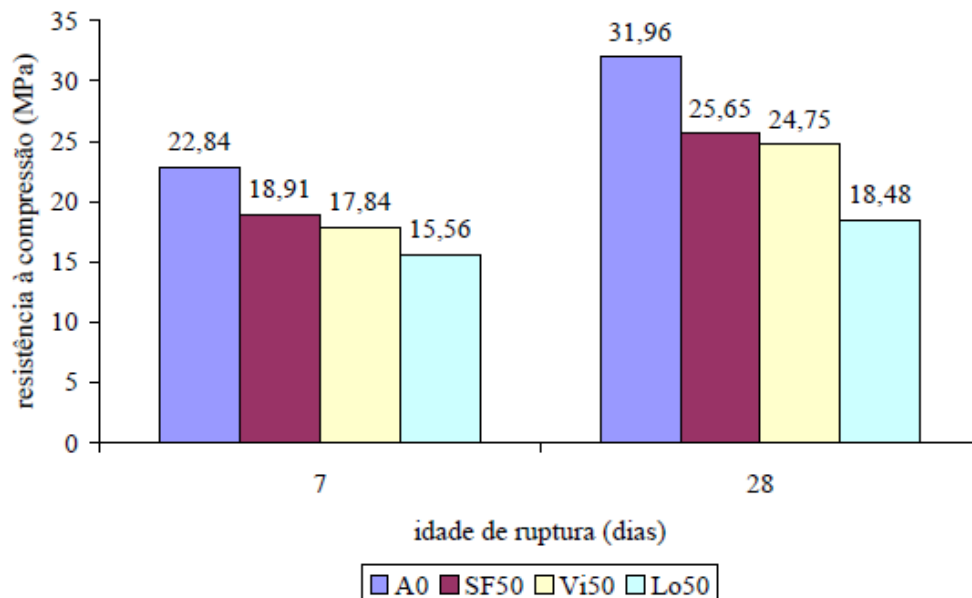
A argamassa é a mistura feita com pelo menos um aglomerante, agregados miúdos e água. O aglomerante utilizado na pesquisa foi o Cimento Portland CP IV-32. Os agregados miúdos foram as frações de areia normal das peneiras de nº 16, 30, 50, 100 e três resíduos.

Tabela 3: Descrição do concreto utilizado.

Grupos de concreto	Descrição
0	0% de resíduo, em substituição à areia normal.
I50	50% de vidro moído, em substituição à areia normal.
F50	50% de resíduos de varrição, em substituição à areia normal.
O50	50% de lodo de decantador, em substituição à areia normal.

Fonte: BARROSO, 2008.

Figura 1: Resultados de resistência á compressão.



Fonte: BARROSO, 2008.



É importante salientar que a resistência mínima exigida por norma no caso de concreto estrutural são valores acima de 15 MPa, já para pavimentação de circulação de pedestres e veículos leves a resistência deve ficar acima de 7,5 MPa, ambos após 28 dias de cura úmida, concluindo-se novamente que a substituição de 50% da areia por vidro é satisfatória.

OBJETIVOS

Este projeto teve como objetivo produzir e avaliar as características físicas e mecânicas de corpos de prova cilíndricos de concreto sem aditivo, concreto com aditivo e sem vidro e concreto com aditivo e com vidro cominuído como agregado fino.

Os objetivos específicos foram:

- 1) Dosagem, em escala de laboratório, de corpos de prova de concreto sem aditivos, avaliando-se as diferentes etapas envolvidas no processo;
- 2) Dosagem, em escala de laboratório, de corpos de prova de concreto com aditivo e sem vidro cominuído como agregado fino, avaliando-se as diferentes etapas envolvidas no processo;
- 3) Dosagem, em escala de laboratório, de corpos de prova de concreto com aditivo e com 5%, 10%, 15% e 20% de vidro cominuído como agregado fino, avaliando-se as diferentes etapas envolvidas no processo;
- 4) Avaliação da absorção de água por imersão e capilaridade, índices de vazios e massa específica dos concretos produzidos.
- 5) Avaliação dos ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos dos concretos produzidos.

Nesta avaliação foram utilizados os procedimentos especificados nas normas:

- 1) NBR 5738 Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova, Rio de Janeiro, ABNT, 2003, 6p;
- 2) NBR 5739 Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, ABNT, 2007, 9p.;
- 3) NBR 9778:2005 Versão Corrigida 2:2009. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, Rio de Janeiro, ABNT, 10p.

METODOLOGIA

Os materiais utilizados para a realização desse projeto foram: cimento CII-Z-32, Cimento Portland Votoran composto, vidro proveniente do lixo descartado de garrafas long-neck coletadas nos bares da cidade de Bariri. Todos os rótulos foram retirados e o vidro moído em laboratório. Foi utilizado o aditivo plastificante polifuncional com composição básica de Naftaleno Sulfonado, para redução de água, com baixa relação água/cimento, que é compatível com o traço de concreto estabelecido em estudos recomendados pela literatura, além de areia grossa e brita 1 de basalto.

Os corpos-de-prova foram moldados de acordo com a NBR 5738, adensados em conjuntos de doze, em mesa vibratória por um período de tempo controlado e igual para todas as betonadas e concretos.

Foram feitas 2 amostras para cada traço, destinadas aos ensaios de absorção de água e índice de vazios, atendendo à NBR 9778, 3 amostras para cada traço, destinadas aos ensaios de absorção de água por capilaridade e os testes de resistência à compressão atenderam à NBR 5739. Os corpos de prova de controle foram aqueles sem vidro.

Absorção de Água e índice de vazios

Figura 2: Ensaio de absorção de água e índice de vazios.



Para realizar esse teste, conforme a NBR 9778, foram utilizados dois corpos de prova de cada dosagem.

Inicialmente, as amostras foram colocadas na estufa por um período de 72 horas, pesando-as em seguida, a fim de determinar a massa seca (m_s). Posteriormente, foi feita a saturação das amostras e determinadas suas massas na condição saturada, imergindo-as em água na temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ por um período de 72 horas. Completada esta etapa, foi feita a imersão em um recipiente cheio de água, que foi mantido em ebulição por um período de 5 horas com volume de água constante. A seguir, a água esfriou naturalmente até a temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e foi determinada a massa (m_i) com auxílio de uma balança hidrostática, retirando-as em seguida, a fim de determinar a massa saturada (m_{sat}).

Para o cálculo de absorção de água (A), foi utilizada a seguinte equação:

$$A = \frac{m_{\text{sat}} \times m_s}{m_s} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

m_{sat} é a massa da amostra saturada em água após imersão e fervura m_s é a massa da amostra seca em estufa.

Para o cálculo do índice de vazios (I_v), utilizou-se a seguinte expressão:

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

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

Para cálculo da massa específica seca (ρ_s), foi utilizada a seguinte expressão:

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i} \quad (3)$$

Para cálculo da massa específica da amostra saturada após fervuras (ρ_{sat}), foi utilizada a seguinte expressão:

$$\rho_s = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i} \quad (4)$$

Para o cálculo da massa específica real (ρ_r), foi utilizada a seguinte expressão:

$$\rho_r = \frac{m_s}{m_s - m_i} \quad (5)$$

Absorção de água por capilaridade

Figura 3: Ensaio de absorção de água por capilaridade.



Conforme define a NBR 9779, para análise de composições do concreto, foram utilizados 3 corpos de prova, com volume de 2500 cm³ cada.

As amostras foram colocadas em estufa, à temperatura de $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, até constância de massas e resfriadas em dessecador à temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, para posteriormente determinar-se a massa seca (m_s).

Em seguida, foi feita a imersão parcial dos corpos de prova em água, posicionando-os sobre suportes, e preenchendo com água o dessecador, de modo que o nível da água permaneça constante a (5 ± 1) mm acima de sua face inferior, evitando a molhagem de outras superfícies.

Durante o ensaio, foram determinadas as massas saturadas (m_{sat}) dos corpos de prova com 3 horas, 6 horas, 24 horas, 48 horas e 72 horas, contadas a partir da colocação destes em contato com a água, sendo previamente enxugados com pano úmido. Após a última etapa, os mesmos foram rompidos por compressão diametral conforme a ABNT 7222, de modo a permitir a visualização da distribuição da água em seu interior.

A absorção de água por capilaridade foi calculada, segundo a seguinte expressão:

$$C = \frac{m_{sat} - m_s}{S} \quad (6)$$

Onde:

C é a absorção de água por capilaridade, expressa em gramas por centímetro quadrado (g/cm^2);

m_{sat} é a massa saturada do corpo de prova que permanece com uma das faces em contato com a água no período de tempo especificado, expressa em gramas (g);

m_s é a massa do corpo de prova seco, assim que este atingir a temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ expressa em gramas (g);

S é a área da seção transversal, expressa em centímetros quadrados (cm^2).

Resistência à Compressão

Figura 4: Ensaio de resistência à compressão.





Conforme define a NBR 5739, para execução do ensaio, utilizando amostras no mínimo 12 exemplares, foi determinado o diâmetro utilizado para o cálculo da seção transversal, pela média de dois diâmetros, medidos ortogonalmente na metade da altura do corpo de prova. Posteriormente, foi determinada a altura do corpo de prova, que foi medida sobre o eixo longitudinal, incluindo o capeamento.

Os 12 corpos de prova produzidos foram rompidos na idade de 28 dias, sendo o carregamento contínuo e sem choques, com velocidade de carregamento de (0,45 0,15) MPa/s que cessou quando houve uma queda de força que indicou sua ruptura.

A resistência à compressão foi calculada através da seguinte equação:

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2} \quad (7)$$

Onde:

f_c é a resistência à compressão, em megapascals;

F é a força máxima alcançada, em newtons;

D é o diâmetro do corpo de prova, em milímetros.

RESULTADOS

Os resultados finais médios obtidos nos ensaios estão apresentados na tabela a seguir:

Tabela 4: Resultados finais, valores médios.

Traço	Vidro (%)	Resistência à compressão 28 dias (MPa)	Desvio Padrão	Absorção de água por imersão e índice de vazios		Absorção de água por capilaridade
				A	Iv	C(g/cm ²)
1	-	35,31	2,02	3,92	9,52	1,37
2	-	45,08	2,95	4,04	9,94	2,06
3	5	39,61	2,09	4,75	11,48	1,97
4	10	43,43	2,27	3,97	9,73	1,63
5	15	39,31	2,27	4,99	12,08	2,06
6	20	37,32	1,67	4,43	10,74	1,97

Para os resultados de absorção de água por imersão e índice de vazios: pode-se observar pelos dados obtidos, NBR 9778, que quanto menor é a absorção de água, menor é o índice de vazios e maior é a massa específica seca. O traço 2 teve um aumento de 3% na absorção de água e 4% no índice de vazios, comparado ao traço 1 (controle), registrando um aumento significativo na resistência a compressão. Os traços 3, 5 e 6 também apresentaram um aumento tanto na absorção de água, como no índice de vazios, de aproximadamente 20%. O traço 4 foi o que apresentou resultados semelhantes ao do grupo controle.

Para os resultados de absorção de água por capilaridade NBR 9779: o traço 2, comparado ao traço 1 (controle) apresentou aumento expressivo na absorção de água, registrando um aumento significativo na resistência a compressão. Todos os outros traços



também apresentaram um acréscimo na absorção de água em relação ao traço 1 (controle) de 44% para o traço 3, 19% para o traço 4, 50% para o traço 5 e 44% para o traço 6.

Para os resultados dos ensaios de resistência à compressão: o traço 1 (controle) apresentou média de 35,3 MPa, inferior ao traço 2, que foi de 45,1 MPa, o que evidenciou um ganho de 28% na resistência à compressão devido ao aditivo plastificante polifuncional com composição básica de Naftaleno Sulfonado. Comprovou-se um aumento de resistência de 12% para o traço 3, 23% para o traço 4, 11% para o traço 5 e 6% para o traço 6. Nota-se que o acréscimo de vidro na dosagem do concreto reduz a resistência à compressão. Este efeito é evidente no traço 6, com 20% de acréscimo de vidro, em relação as outras porcentagens.

CONCLUSÃO

Pode-se concluir que a substituição de areia por vidro como agregado miúdo na composição do concreto com aditivo plastificante polifuncional (composição básica de Naftaleno Sulfonado) obtiveram resultados satisfatórios nos ensaios realizados.

O traço 4 com substituição de 10% de areia por vidro como agregado miúdo com aditivo plastificante polifuncional apresentou um resultado de resistência a compressão de 43 MPa, com respostas semelhantes para os ensaios de absorção de água e índice de vazios em relação ao traço de controle.

A adição de vidro como agregado miúdo na composição do concreto revelou resultados promissores para os ensaios realizados, principalmente com relação à resistência à compressão. A incorporação do resíduo de vidro como agregado miúdo na composição do concreto poderá diminuir a quantidade de resíduos gerados pela sociedade com sua reciclagem.

AGRADECIMENTO

A esta universidade, seu corpo docente, direção, administração e ao meu orientador, pela oportunidade e apoio na elaboração desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6467/87**: determinação do inchamento de agregado miúdo. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: argamassa e concreto endurecidos - determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248/03**: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45/06**: determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.



BARRO/SO, L.B, et al. **Argamassa alternativa produzida com resíduos**. 2008. 7f. 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSM, Santa Maria, 2008.

BURIN, R. **Avaliação da utilização de sucata de vidro como agregado miúdo artificial na produção de materiais cimentícios**. 2009. 15f. 16º Concurso Falcão Bauer, Sinduscon, Goiás, 2009.

FÁVERO, et al. **Avaliação da utilização da sucata de vidro como adição mineral frente à sílica ativa e como agregado miúdo artificial na produção de materiais à base de cimento**. 2009. 79f. Trabalho de diplomação (Engenharia Civil) – Escola de engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

FENSTERSEIFER, C.A.J, et al. **Aproveitamento de vidro moído em traços de argamassa e concreto**. 2010. 2f. Universidade Federal de Santa Maria – Santa Maria, 2010.

GOMES, C. C, et al. **Propriedades mecânicas do concreto com adição de vidro reciclado**. 2011. 14f. UNESC- Universidade do Extremo Sul Catarinense – Santa Catarina, 2011.

JÚNIOR, E.J.P.M, et al. **Increasing the compressive strength of Portland cement concrete using flat glass powder**. 2014. 14f. Departamento de Mecânica e Materiais – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, IFMA, Maranhão, 2014.

KOLLER, D.R.P, et al. **Avaliação da resistência à compressão de argamassas produzidas com vidro moído**. 2007. 8f. Trabalho de iniciação científica (Engenharia Ambiental) – UNIFRA, Santa Maria, 2007.

KRUGER, F.R, et al. **Incorporação de vidro plano moído em substituição ao cimento e ao agregado miúdo (areia) em argamassas de concreto**. 2002. 2f. 31ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química (SBQ) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2002.

LÓPEZ, A.R, et al. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino**. 2005. 7f. Artigo. – UNISC, Santa Cruz do Sul, 2005.

NASCIMENTO, W.F, et al. **Caracterização de compósitos de concreto utilizando agregado miúdo do vidro**. 2014. 8f. XI Congresso nacional de meio ambiente de Poços de Caldas - Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia, ICET, Poços de Caldas, 2014.

RIGHI D, et al. **Análise de concretos produzidos com vidro moído quando submetidos à elevadas temperaturas**. 2012. 13f. XXXV Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural, Rio de Janeiro, 2012.

RIGUI, D, et al. **Efeitos da substituição de areia por vidro moído no comportamento de concretos em elevadas temperaturas**. 2011. 8f. Engenharia Estudo e Pesquisa – Programa de Bolsa de Desenvolvimento Acadêmico (PBDA), Universidade Federal do Pampa, 2011.

SILVA, A.J.C, et al. **Utilização de vidro reciclado para produção de concreto verde em Fernando de Noronha**. 2011. 10f. Tese (Engenharia Civil) – UNICAP, Vitória, 2011.

SILVA, A.L.B, et al. **Concreto especial produzido a partir da substituição parcial do cimento Portland por resíduos de vidro**. 2013. 8f. IX Congresso de Iniciação Científica do IFRN – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2013.