**REAPROVEITAMENTO DE REJEITOS DE VIDRO COMO AGREGADO EM ELEMENTOS À BASE DE CIMENTO: UMA ANÁLISE DA INFLUÊNCIA NA RESISTÊNCIA DO CONCRETO**

**Daniela Kunz (\*), José Gustavo Venâncio da Silva Ramos**

(\* ) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: dani-kunz@hotmail.com

**RESUMO**

O desenvolvimento sustentável na construção civil nos dias de hoje faz apelo a um uso racional dos materiais, incluindo a incorporação de reciclados. Uma vez que esse setor se apresenta como um dos maiores consumidores de materiais naturais em seus processos e produtos essa é uma visão cada vez mais justificada. Neste trabalho avaliam-se as propriedades do concreto com adição de resíduos de vidro através da utilização desse material para emprego como adição mineral em substituição parcial a areia, visando à produção de concretos para a construção civil. O vidro moído foi utilizado em substituição parcial ao agregado miúdo em teores que variaram de 10 a 70% (em massa). Foi avaliada a influência dessa substituição na resistência à compressão axial dos concretos produzidos. Os resultados obtidos indicaram que a substituição de 20% do vidro moído proporcionou um acréscimo na resistência à compressão do concreto, as substituições de 50 e 70% houve uma redução desse parâmetro em relação ao concreto de referência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto, areia, vidro, propriedades mecânicas.

**ABSTRACT**

The sustainable development in civil construction today calls for the rational use of materials, including the incorporation of recycled materials. Since this sector presents itself as one of the largest consumers of natural materials in its processes and products, this is an increasingly justified vision. In this paper we evaluate the mechanical properties of concrete with addition of glass waste through the use of this material for use as a mineral addition to partially replace Portland cement in order to produce concrete for construction. Pottery ground was used to partially replace Portland cement at levels ranging from 10 to 70% (by weight). We evaluated the workability and resistance to axial compression of concrete produced. The results indicated that replacing 20% Portland cement provided an increase in the compressive strength of concrete, the replacement of 50 and 70% of patients showed a reduction of this parameter in relation to the reference concrete.

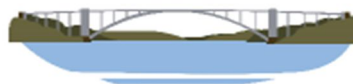
**KEY WORDS:** Concrete, sand, glass, mechanical properties.

**INTRODUÇÃO**

A escassez dos recursos naturais cada vez mais em destaque faz surgir a preocupação em desenvolver as atividades ligadas à engenharia civil voltadas à sustentabilidade, buscando alternativas no sentido de alcançar um equilíbrio entre os processos de extração e utilização dos recursos. Estas ações partem de investigações tecnológicas, que fomentam o desenvolvimento de novos materiais relacionados ao conceito de sustentabilidade (ROSÁRIO; TORRESCASANA, 2011).

Mesmo sendo uma das principais atividades para o desenvolvimento social e econômico de uma região, a construção civil é também uma grande geradora de impactos ambientais, seja pelo consumo e exploração de matérias primas, pela transformação de paisagens ou também pela geração de resíduos, impactos estes de caráter negativo. Segundo dados do Conselho Internacional da Construção (CIB), estima-se que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelo conjunto das atividades humanas sejam provenientes da construção civil (MMA, 2014).

O reaproveitamento dos resíduos sólidos e a redução do desperdício de materiais são fundamentais nesse setor, uma vez que além de produzir uma grande quantidade de resíduos, a construção civil também consome um grande percentual dos recursos naturais extraídos do planeta. Diversas alternativas envolvendo a reciclagem de resíduos vêm sendo pesquisadas. Como exemplo tem-se: reciclagem de resíduos de construção e demolição, reciclagem de escória de alto forno, reciclagem de sucata de aço, etc. A maior parte delas apresenta resultados favoráveis referentes ao aproveitamento dos resíduos sólidos gerados (ROSÁRIO; TORRESCASANA, 2011).



A incorporação destes resíduos em misturas à base de cimento, como os concretos, surge como uma alternativa que demonstra a preocupação com uma postura sustentável no sentido de diminuir este volume de resíduos. Este material é altamente utilizado nas obras de engenharia e se encontra em constante foco de pesquisas na área. Sua ampla aplicação se deve às características de durabilidade, facilidade de assumir formatos diferentes e versatilidade, sendo por isso utilizado de diversas formas, seja em peças estruturais, ou não estruturais (MARQUES; FIORITI; AKASAKI, 2012). A possibilidade de incorporação de resíduos em misturas à base de cimento é uma contribuição da construção civil para reciclagem de resíduos prejudiciais ao meio ambiente, podendo ainda melhorar o desempenho dos materiais com sua adição.

O uso de vidro como agregado fino no concreto já foi estudado em diversos países. A Austrália, por exemplo, utiliza o vidro moído derivado do lixo em concretos para construção (LOPEZ; AZEVEDO; BARBOSA, 2005). No Brasil, este tipo de recurso ainda não é valorizado uma vez que o aterro é uma opção de destinação muito barata e a disponibilidade de matéria-prima para materiais de construção é abundante.

Assim, o desenvolvimento deste trabalho acompanha as considerações propostas por Silva *et al* (2001), que fundamentam o interesse na reciclagem com base em quatro aspectos: economicamente, através da redução dos custos para a produção de materiais e componentes para a construção civil, agregando valor ao resíduo e diminuindo os gastos com a construção de aterros; tecnicamente, a partir da melhoria dos requisitos de desempenho; de proteção ao meio ambiente, propiciando uma redução na poluição e uma diminuição na extração de matérias-primas; e socioeconomicamente, reduzindo os custos na construção civil e gerando novos empregos à população envolvida no processo de reciclagem.

Desta forma, os resíduos provenientes do vidro enquadram-se em todas as características descritas. Visando atingir os objetivos apresentados por Silva *et al* (2001), este estudo tem como proposta avaliar a viabilidade da adição de resíduo vítreo na fabricação de concreto, apresentando assim uma alternativa para o reaproveitamento deste resíduo.

## OBJETIVOS

Atualmente, o aproveitamento de resíduos na construção civil tem sido estimulado, uma vez que esse setor se apresenta como um dos maiores consumidores de materiais naturais em seus processos e produtos. Neste trabalho analisou-se a viabilidade da substituição parcial do agregado natural miúdo pelo agregado proveniente de resíduo de vidros na produção de concreto, avaliando a resistência à compressão axial do concreto.

## METODOLOGIA

### Área de estudo

Os procedimentos utilizados para a realização da pesquisa experimental foram divididos em cinco etapas específicas:

#### 1ª Etapa:

Fase preparatória, onde a amostra de vidro foi coletada e preparada. O resíduo de vidro utilizado na confecção dos concretos foi fornecido pela empresa Paiver Lajes, localizada na cidade de Toledo, Paraná. A empresa adquire o material em vidraçarias da região, e realiza seu processamento através de uma máquina moedora de vidro até que toda a quantidade apresente uma granulometria inferior a 4,76 milímetros, de forma a aproximar a distribuição granulométrica do material à apresentada pela areia. A figura 1 representa as máquinas para moer e separar o vidro:

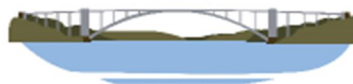


Figura 1: Máquinas moedora e separadora de vidro. Fonte: Autores do Trabalho.

### 2ª Etapa:

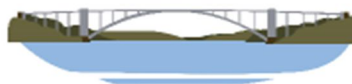
Caracterização dos materiais: agregados naturais (areia e brita), agregado reciclado (vidro) e cimento, utilizados para a preparação do concreto, por meio de ensaios laboratoriais. O ensaio de caracterização granulométrica foi feito baseado na NBR NM 248 (ABNT, 2003). O ensaio tem como objetivo classificar as partículas de uma amostra através de seus tamanhos e de suas frações correspondentes a cada tamanho. A determinação da massa específica aparente do agregado miúdo foi realizada conforme NBR NM 52 (ABNT, 2009). Para os agregados graúdos a determinação da massa específica aparente foi feita conforme os procedimentos da NBR NM 53 (ABNT, 2009).

### 3ª Etapa:

Para o cálculo do traço do concreto, foi utilizado o método de dosagem da ABCP (ABCP, 2005). Definiu-se o valor de abatimento de 100 mm, resistência de projeto ( $f_{ck}$ ) de 30 MPa aos 28 dias e um desvio padrão de qualidade na produção do concreto de 5,5%, quando o concreto é feito em massa, com cuidados medianos. Com isto, determinou-se o traço do concreto utilizado neste trabalho: 1:1,20:2,36:0,43 (sendo os valores correspondentes ao cimento, areia, brita e água, respectivamente). O trabalho propôs analisar cinco variações de porcentagem de substituição da areia por vidro, em massa.

### 4ª Etapa:

A mistura dos concretos do experimento foi realizada em betoneira de eixo inclinado, com capacidade para 260 litros, imprimada com argamassa de cimento, a fim de evitar que a água da mistura fosse absorvida pelas paredes internas, anteriormente secas. A ordem de colocação dos materiais na betoneira em movimento foi mantida constante para todas as misturas. 1) 100% da brita mais aproximadamente 25% da água; 2) 100% do cimento; 3) 100% da areia; 4) 100% do resíduo de vidro; 5) Adição do restante da água até obter uma boa trabalhabilidade, aferida pelo ensaio de abatimento de tronco de cone segundo a NBR 67 (ABNT, 1998). A figura 2 representa a produção do concreto.



**Figura 2: Preparação do concreto. Fonte: Autores do Trabalho.**

Logo após a mistura, os corpos de prova foram moldados de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2008), em formas cilíndricas de diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm e adensados manualmente. Finalizada a moldagem, estes foram mantidos em temperatura ambiente, no laboratório, por aproximadamente 24 horas.

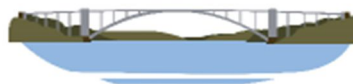
Após as 24 horas, os corpos de prova foram retirados das formas e colocados em câmara úmida até a data da ruptura.

#### **5ª Etapa:**

Realização do ensaio de compressão axial dos concretos produzidos. O ensaio de compressão de corpos de prova é normatizado pela NBR 5739 (ABNT, 2007), e teve como objetivo determinar a resistência do concreto referência e do concreto dosado com as diferentes porcentagens de vidro. A figura 3 representa a máquina utilizada para a realização do ensaio.



**Figura 3: Máquinas para o ensaio de rompimento dos corpos-de-prova. Fonte: Autores do Trabalho.**



## RESULTADOS

### Determinação do traço

Na Tabela 1 apresentam-se os traços e as respectivas quantidades de materiais utilizadas.

**Tabela 1. Quantidade de materiais utilizada em cada traço.**

Fonte: Autores do trabalho.

Traço	Vidro (%)	Cimento (kg)	Areia (kg)	Vidro (kg)	Brita (kg)	Água (l)
0% vidro	0	11,97	14,37	0	28,25	5,15
10% vidro	10	11,97	12,93	1,44	28,25	5,15
20% vidro	20	11,97	11,48	2,87	28,25	5,15
50% vidro	50	11,97	7,85	7,85	28,25	5,15
70% vidro	70	11,97	4,311	10,06	28,25	5,15

Observa-se que quanto maior a porcentagem de vidro em substituição, maior o impacto positivo em relação à incorporação de materiais reciclados no concreto. Sendo a quantidade de vidro incorporada de 1,44 kg para o traço com 10%, 2,87 kg para o traço com 20%, 7,85 kg para o traço com 50% e 10,06 kg para o traço com 70%.

### Resistência à compressão do concreto

A resistência à compressão do concreto é a sua principal propriedade, e neste trabalho a mesma foi determinada através do ensaio de compressão uniaxial. Os valores das médias de resistência à compressão são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2. Resistência média à compressão do concreto**

Fonte: Autores do trabalho.

% de Substituição	Resistência à compressão (Mpa)	
	7 dias	28 dias
0%	37,15	43,63
10%	28,39	35,57
20%	34,50	45,01
50%	25,93	37,60
70%	23,70	34,86

Pode-se observar que todos os concretos apresentaram resultados satisfatórios quanto à resistência à compressão, pois atingiram os 30 Mpa determinados no cálculo do traço. Isso significa que todos podem ser utilizados para fins estruturais. É possível notar que o concreto com 20% de substituição apresentou a maior resistência à compressão entre os demais (45,01MPa), representando um aumento de 3,16% em relação ao concreto sem vidro.

A figura 4 representa os valores obtidos para as resistências de maneira gráfica.

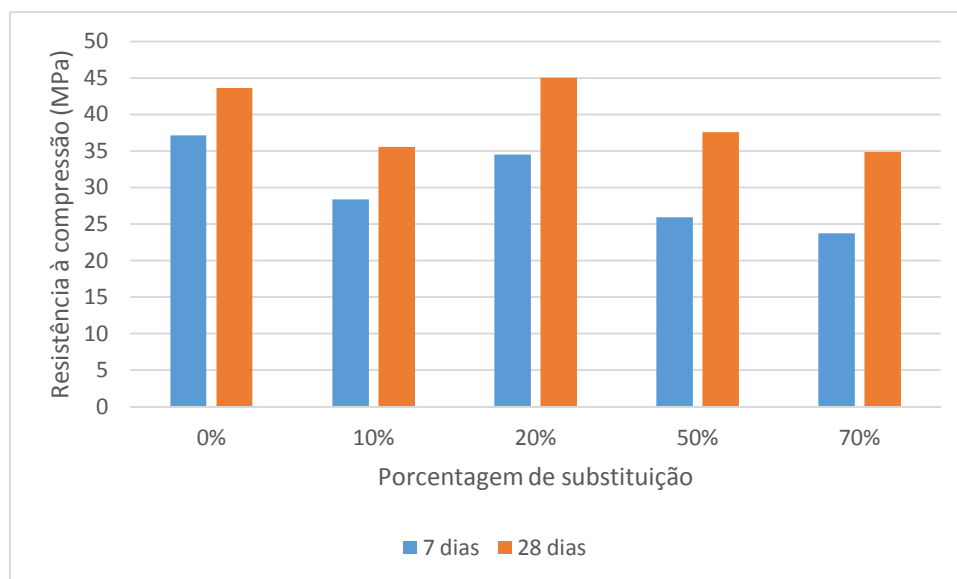
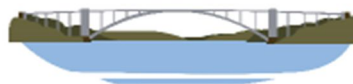


Figura 4: Resistência média à compressão do concreto. Fonte: Autores do Trabalho.

Observando a Figura 4, pode-se notar que traço padrão atendeu à expectativa de dosagem quanto à elaboração de um concreto que extrapolasse os 30 MPa de resistência à compressão aos 28 dias.

O aumento de resistência pode estar ligado a um ajuste da relação água-cimento 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, ficando próximo ao ideal. Segundo Neville e Brooks (2013), quando a relação água-cimento é maior do que a ótima, a pasta tem maior probabilidade de se separar dos grãos de agregados, comprometendo a aderência destes componentes no concreto. Já para um fator água cimento menor do que o ótimo há possibilidade de gerar uma falta de uniformidade no concreto e da pasta não ser adesiva o suficiente.

Para a perda de resistência dos concretos com o índice de 50% e 70% de substituição por vidro pode estar envolvida com a reação álcali-silica. Esta reação é prejudicial ao concreto, uma vez que produz um gel higroscópico expansivo que compromete a resistência mecânica destes, causando, assim, sua ruptura.

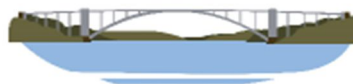
## CONCLUSÕES

Observou-se, portanto, indícios de viabilidade de utilização do vidro em substituição da areia no concreto nas condições apresentadas. Tal medida pode fornecer uma maneira viável para destinação dos rejeitos provenientes da indústria de vidro. Além disso, esta utilização do vidro reduziria o consumo de areia, um recurso natural que, apesar de abundante, é finito e demanda longos processos geológicos para ser formado.

Logo, esta pesquisa demonstra a viabilidade técnica da substituição do agregado fino por vidro moído. Entende-se aqui também, que serão necessárias novas pesquisas para a avaliação de todo o potencial da utilização do vidro moído como material agregado ao concreto. Por outro lado, o uso de vidro reciclado como material agregado fino no concreto, estaria colaborando com a conservação de recursos naturais, com a diminuição da quantidade de lixo aterrada, assim como com o desenvolvimento de um material novo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABCP. **Associação Brasileira de Cimento Portland**. 2005. Disponível em: Acesso em: 08 abr.2017.
2. Associação Brasileira De Normas Técnicas - ABNT. NBR 67 **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
3. Associação Brasileira De Normas Técnicas - ABNT. NBR 5738 **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.



4. Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. NBR 5739 **Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
5. Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. NBR NM 52 **Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, ABNT, 2009.
6. Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. NBR NM 53 **Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
7. Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. NBR NM 248 **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
8. Lopez, D. A. R, Azevedo, C. A. P. , Barbosa Neto, E. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino**. Cerâmica [online]. 2015, vol.51, n.320, pp.318-324. Disponível em: Acesso em: 25 mar. 2017.
9. Marques, A. C., Fioriti, C. F., Akasaki, J. L. **Resistência Mecânica do Concreto Adicionado de Borracha de Pneu Submetido à Elevada Temperatura**. Anais das XXXII Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural. Campinas. São Paulo, v. 6, n. 1, p. 82-97, 2012. Disponível em: <[revista.fct.unesp.br/index.php/topos/article/download/2506/2239](http://revista.fct.unesp.br/index.php/topos/article/download/2506/2239)> Acesso em: 25 mar. 2017.
10. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Cidades Sustentáveis**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/item/8059>> Acesso em: 25 mar. 2017.
11. Neville, A. M., Brooks, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2ª ed. BOOKMAN, 2013.
12. Rosário, T, Torrescasana, C. E. N. **Tijolo de solo-cimento produzidos com resíduos de concreto**. 2011. 15 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Comunitária da Região de Chapecó. Chapecó, 2011. Disponível em: <<https://www.unochapeco.edu.br/static/data/portal/downloads/1508.pdf>> Acesso em: 25 mar. 2017.
13. Silva, E.F., Liparizi, F. B., Vasconcelos, A. R. **Estudo da viabilidade sobre a substituição de agregados naturais por agregados provenientes da reciclagem de entulho de concreto**. Seminário “Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: Materiais Reciclados e suas Aplicações”. São Paulo – SP, 2001.