

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO POR RESÍDUO DE VIDRO

José Ferreira Guedes Filho ¹
José Erick Duarte Almeida ²
Milena Cristina Rocha de Souza ³
Romário Glauber Fonseca Alves ⁴
Cícero Joelson Vieira Silva (Orientador) ⁵

RESUMO

Buscam-se atualmente diversas alternativas tecnológicas e de materiais que contribuam para a diminuição dos impactos ambientais causados pelas atividades do setor de construção civil, um grande consumidor de recursos naturais, principalmente dentro do próprio ciclo produtivo da área. Contudo, é também um dos setores que apresenta grande potencial para o reaproveitamento dos mais diversos tipos de resíduos. A utilização de resíduos de diferentes origens, principalmente como agregados em argamassas e concretos, produtos estes com vasta aplicação na construção civil, tem sido uma ótima alternativa para a economia de recursos naturais e diversificação da matéria-prima. Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar as propriedades de argamassas produzidas com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de vidro proveniente de embalagens, visto que menos da metade de vidro produzido no Brasil todos os anos é reciclado. Com o resíduo triturado foram produzidos quatro traços em massa na proporção 1:3 (cimento:agregado) com substituições de 0% (referência), 5%, 10% e 15% do agregado pelo vidro. Foram realizados ensaios de caracterização dos agregados e da argamassa, nos estados fresco e endurecido. Os resultados apontam que argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo apresentam melhoria em suas propriedades em comparação ao traço de referência, principalmente em relação a sua resistência mecânica e absorção de água. Ressalta-se ainda que os traços com 5% e 10% de substituição obtiveram o melhor desempenho, sendo que no traço de 15% constatou-se uma diminuição na resistência e um aumento na absorção de água.

Palavras-chave: Argamassa, Vidro, Propriedades, Reciclagem.

INTRODUÇÃO

O setor de construção civil tem causando grandes preocupações nos últimos anos, principalmente em decorrência da sua importância na transformação do meio ambiente. Já que além de ser um dos maiores consumidores dos recursos naturais, é também um gerador dos mais diversos tipos de resíduos. Com isso, tem surgido no setor um conjunto de práticas e

¹ Graduando de Engenharia Civil do Instituto Federal da Paraíba – Campus Cajazeiras, jose.ferreiratf@gmail.com;

² Graduando de Engenharia Civil do Instituto Federal da Paraíba – Campus Cajazeiras, erickduarte3@gmail.com;

³ Graduando de Engenharia Civil do Instituto Federal da Paraíba – Campus Cajazeiras, mc47117@gmail.com;

⁴ Graduando de Engenharia Civil do Instituto Federal da Paraíba – Campus Cajazeiras, romario.glauber@gmail.com;

⁵ Professor Mestre, Instituto Federal da Paraíba – Campus Cajazeiras, cjoelson@ymail.com.

procedimentos sustentáveis caracterizados pelo uso racional de recursos naturais e pelo tratamento adequado de resíduos sólidos gerados (LODI, GAMBIN & WEIT, 2014).

Os resíduos sólidos gerados e descartados de forma inadequada causam diversos problemas socioambientais, como a ocupação das vias urbanas, entupimento de sistemas de drenagem e esgotos, proliferação de vetores transmissores de doenças e a degradação da paisagem (OLIVEIRA, 2007). Uma alternativa viável para a diminuição desses inúmeros problemas é o reaproveitamento desses resíduos na construção civil, procurando não só a correta destinação desses resíduos como também a diminuição do consumo de recursos naturais. Uma das possibilidades de reciclagem é a incorporação de resíduos como agregados em misturas à base de cimento, de forma que as propriedades mecânicas e ambientais desses materiais não sejam comprometidas.

Dentre os muitos materiais utilizados largamente na construção civil, e também fora dela, está o vidro, porém a reciclagem desse material após a sua utilização é ainda deficiente no Brasil, já que em média são produzidas 980 mil toneladas de embalagens de vidro por ano no país, sendo que anualmente são reciclados cerca de 47% desse material descartado (CEMPRE, 2018). O que é muito preocupante, visto que este material leva cerca de 4 mil anos para se decompor. Como forma de diminuir a quantidade deste material no meio ambiente, diversos autores tem estudado a possibilidade de incorporação de vidro em argamassas e concretos, buscando diminuir o impacto causado pelo descarte desse material.

A maioria destes estudos apontam a existência de duas propriedades muito interessantes e contraditórias do vidro, quando este é finamente moído e incorporado a misturas cimentícias: o efeito de fíler e a incorporação de ar (BRITO, OLIVEIRA & VEIGA, 2012). O efeito de fíler aumenta a resistência mecânica do cimento, ao preencher seus espaços vazios e o tornando-o mais denso. Enquanto que a incorporação de ar na mistura resulta em um aumento dos vazios e, por consequência, na diminuição na resistência. Constata-se ainda que a presença e influência de cada uma dessas propriedades dependem, principalmente, da granulometria do vidro utilizado.

Borges et al. (2017) incorporou lã de vidro moída com dimensões máximas inferiores a 0,1 mm em concreto, constatando uma diminuição significativa de sua resistência e aumento da quantidade de água absorvida, resultado do aumento do número de vazios pelo efeito da incorporação de ar. Em outro trabalho, onde se utilizou partículas de vidro muito finas na produção de blocos de concreto para pavimentação, também foi observado uma diminuição da resistência, bem como um aumento da absorção de água (LODI, GAMBIN & WEIT, 2014).

Também em outro trabalho, desenvolvido por Brito, Oliveira e Veiga (2012), foram utilizadas partículas com granulometria máxima de 0,15 mm, desta vez incorporadas a argamassas, onde foram obtidos bons resultados quanto a resistência e a absorção de água, mas não em todos os traços analisados pelo autor.

Apesar da maioria dos autores aqui citados terem utilizado em suas pesquisas resíduos muitos finos (menores que 0,15 mm), existem ainda aqueles que trabalharam com outras faixas granulométricas e obtiveram excelentes resultados. Por exemplo, na pesquisa desenvolvida por Lopez, Azevedo e Barbosa Neto (2005), foi incorporado vidro com dimensões variando de 0,15 mm a 0,3 mm, resultando em melhora nas propriedades do concreto, como aumento da resistência mecânica e diminuição da absorção de água.

Com isso, o intuito deste trabalho é investigar a incorporação de resíduo de vidro como substituto parcial do agregado miúdo em argamassas, utilizando partículas com tamanhos entre 0,3 mm e 1,2 mm, uma faixa granulométrica ainda pouco estudada, buscando contribuir para o desenvolvimento de uma nova alternativa para a disposição desse resíduo, diminuindo o volume de material descartado no meio ambiente.

METODOLOGIA

A pesquisa se dividiu em quatro etapas, na primeira etapa fez-se uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de dar base ao trabalho bem como determinar quais as dimensões das partículas de vidro a serem utilizadas, o traço da argamassa e as porcentagens de substituição. Na segunda etapa, foi feita a caracterização dos agregados miúdos. Na terceira etapa foi feita a mistura dos materiais, onde se realizou os ensaios de caracterização da argamassa no estado fresco e a moldagem dos corpos de prova. Por fim, na quarta etapa, foram realizados os ensaios de caracterização da argamassa no estado endurecido.

Primeira Etapa: Pesquisa Bibliográfica e Escolha do Traço

Para a mistura da argamassa, foi utilizado o cimento Portland comum, CP II Z 32, o agregado miúdo empregado foi areia natural e a água utilizada é proveniente da rede pública de distribuição da cidade de Cajazeiras, Paraíba. Determinou-se que só seria utilizado o resíduo com dimensões superiores a 0,3 mm e inferiores a 1,2 mm, visto que a maioria das pesquisas utilizam partículas fora dessa faixa granulométrica. Foi utilizado o traço em massa

de 1:3 (cimento:agregado miúdo), em que se substituiu o agregado natural por vidro, nas porcentagens de 0% (referência), 5%, 10% e 15%. Em cada traço foi adicionada a quantidade de água necessária para que a mistura atingisse a consistência desejada, sendo que para todos os traços o fator água/cimento variou de 0,6 a 0,7. As quantidades de material utilizadas na mistura de cada um dos traços estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1 – Quantidade de material utilizada em cada traço

Traço	Cimento (g)	Areia (g)	Vidro (g)	Fator a/c
I – 0%	330	990	0	0,70
II – 5%	330	940,5	49,5	0,60
III – 10%	330	891	99	0,62
IV – 15%	330	841,5	148,5	0,68

Fonte: Dados da pesquisa.

Segunda Etapa: Caracterização dos Agregados

Os procedimentos de caracterização dos agregados miúdos compreenderam os ensaios de granulometria, conforme da NBR NM 248 (ABNT, 2003), massa específica, segundo a NBR NM 52 (ABNT, 2009), e massa unitária, NBR NM 45 (ABNT, 2006).

Terceira Etapa: Argamassa no Estado Fresco

Na terceira etapa, a mistura da argamassa se deu conforme o recomendado pela NBR 16541 (ABNT, 2016) e foi feito o ensaio de densidade de massa, seguindo a NBR 13278 (ABNT, 2005). Em seguida, os corpos de prova de argamassa foram moldados no formato de cilindros, com diâmetros de 5 cm e altura de 10 cm, e depois de 24 horas foram colocados em tanques para a realização da cura, como prescrito pela NBR 9479 (ABNT, 2006).

Quarta Etapa: Argamassa no Estado Endurecido

Depois de 28 dias de cura, os corpos de prova foram retirados dos tanques e colocados em uma estufa à temperatura de 105 °C durante 24 horas, para a retirada do excesso de água. Depois de secos, iniciaram-se os ensaios com a argamassa no estado seco, que compreenderam o ensaio de densidade de massa aparente, conforme NBR 13280 (ABNT,

2005), absorção de água por capilaridade, segundo a NBR 15259 (ABNT, 2005) e resistência a compressão simples, NBR 13279 (ABNT, 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados gerais de todos os resultados da pesquisa estão apresentados de forma resumida na Tabela 2, referente aos agregados, e na Tabela 3, referente às argamassas. A discussão dos resultados é feita nos tópicos seguintes.

Tabela 2 – Caracterização dos agregados miúdos (valores médios)

Caracterização dos Agregados			
Ensaio		Areia	Vidro
Massa específica (kg/m³)		2632	2308
Granulometria	Módulo de finura	2,73	-
	Dimensão Máxima Característica	2,4 mm	-
Massa Unitária (kg/m³)	Natural	1468	1135
	Compactada	1614	1198

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 3 – Caracterização da argamassa no estado fresco e endurecido (valores médios)

Caracterização da argamassa no estado fresco e endurecido						
Ensaio			Porcentagens de substituição			
			0%	5%	10%	15%
Estado Fresco	Densidade de massa (kg/m³)		2139	2162	2249	2162
Estado Endurecido	Absorção de água (g/cm²)	10 min	0,061	0,066	0,061	0,056
		90 min	0,234	0,214	0,163	0,270
	Resistência a Compressão Simples (MPa)		15,13	23,32	22,67	18,97
	Densidade Aparente (kg/m³)		1841	1952	1943	1880

Fonte: Dados da pesquisa.

Densidade de Massa (Estado Fresco)

Em todos os traços com substituição da areia por resíduo foi constatado um aumento nos valores de densidade quando comparados ao traço de referência. É possível notar que a densidade aumentou com a quantidade de resíduo, atingindo seu valor máximo no traço com

10% de substituição e depois começando a decair. Isso pode ser explicado pela propriedade de fíler das partículas de vidro, que ocupam os espaços vazios entre os grãos de areia, aumentando assim a densidade. Contudo, a diminuição dessa densidade a partir dos 15% de substituição pode ser atribuída ao efeito de incorporação de ar do vidro, que começa a se sobressair sobre o efeito fíler.

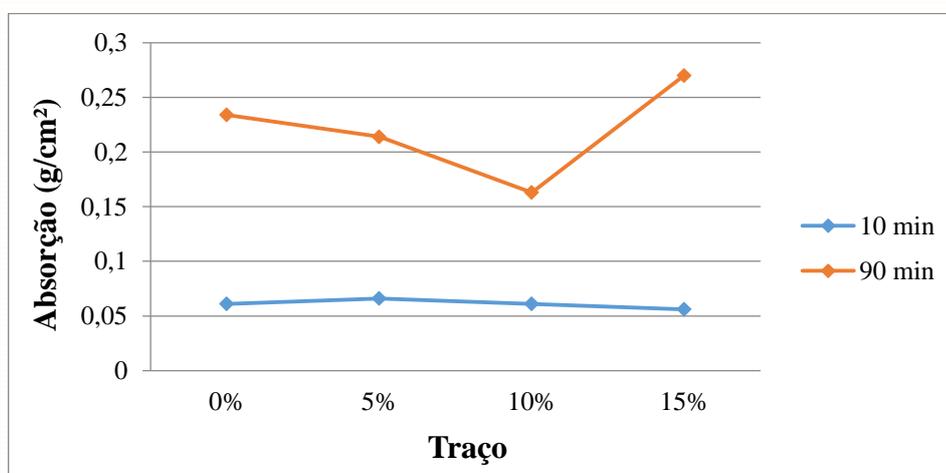
Densidade de Massa (Estado Endurecido)

Os resultados do ensaio de densidade em massa aparente no estado endurecido são semelhantes aos dos encontrados no estado fresco, visto que todos os traços com agregado miúdo de vidro possuem densidade maior que o traço de referência. O traço com 5% de substituição apresentou maior densidade que o traço de 10%, apesar dos dois valores serem muito próximos. Esse aumento é decorrente do efeito fíler mencionado anteriormente. Além disso, também houve uma diminuição da densidade nos 15% de substituição, o que já era esperado visto o resultado obtido na argamassa no estado fresco.

Absorção de Água por Capilaridade

Os resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade seguem o mesmo padrão dos demais ensaios, como pode ser visto no gráfico da Figura 1.

Figura 1 – Gráfico da absorção de água por capilaridade



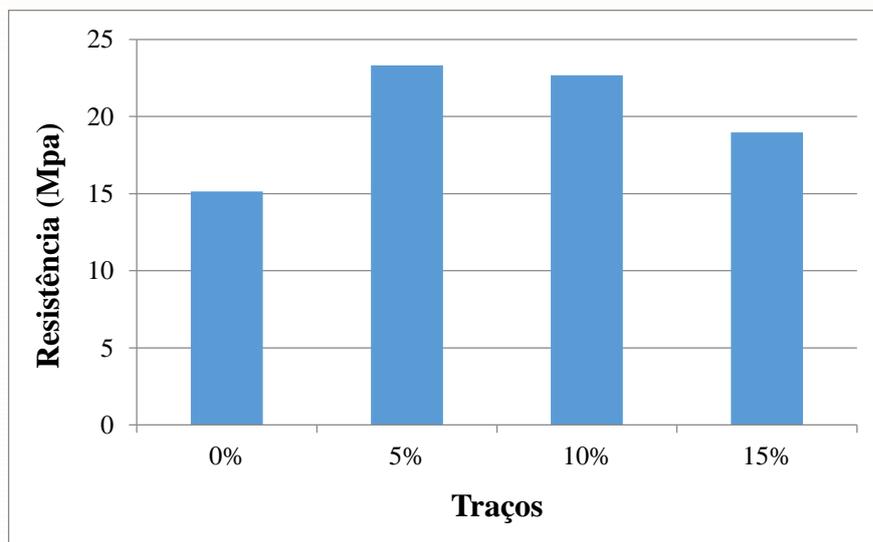
Fonte: Dados da pesquisa.

Passados 10 minutos depois de iniciado o ensaio, é possível ver que praticamente não existe diferença significativa entre a quantidade de água absorvida por cada uma das argamassas ensaiadas. Contudo, depois de decorridos 90 minutos, tem-se uma diferença bastante significativa entre os resultados. Conforme aumenta a quantidade de resíduo, a quantidade de água absorvida diminui como resultado da diminuição dos vazios dentro da argamassa. Entretanto, após os 10% de substituição, o contrário começa a ocorrer, visto que o traço de 15% foi aquele que absorveu mais água, consequência do aumento do volume de vazios na argamassa.

Resistência à Compressão Simples

Os valores de resistência à compressão das argamassas rompidas aos 28 dias de idade estão expressos no gráfico da Figura 2. Todos os traços com resíduo de vidro tiveram resistências superiores em comparação ao traço de referência, sendo que os traços de 5% e 10% obtiveram as maiores resistências. No traço de 15% a resistência já diminuiu, apesar disso, ela continua sendo superior ao traço de referência.

Figura 2 – Gráfico de resistência à compressão aos 28 dias



Fonte: Dados da pesquisa.

Esse aumento de resistência se deve ao aumento da densidade nas argamassas com incorporação de vidro, que foi superior ao valor de referência em todos os traços, resultado do preenchimento dos vazios por partículas de vidro. No traço de 15%, a quantidade de vazios

começa a aumentar, proporcionando uma menor densidade e, conseqüentemente, uma menor resistência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir que a utilização do resíduo de vidro, de dentro da faixa granulométrica estudada (0,3 mm a 1,2 mm), em substituição a areia em argamassas é pertinente, pois além de melhorar as propriedades da argamassa também é uma alternativa para a destinação final desse resíduo. Todas as argamassas com resíduo apresentaram um melhor desempenho em comparação com a argamassa de referência, exceto pela argamassa com 15% de substituição, que absorveu mais água do que a argamassa sem resíduo.

As argamassas com 5% e 10% de substituição foram as que apresentaram melhor desempenho, ambas com resultados muito próximos e apresentando resistência à compressão significativamente superior a argamassa de referência. Contudo, aos 15% de substituição, essas propriedades começam a regredir, sendo a argamassa com 15% de vidro aquela que absorveu a maior quantidade de água no ensaio de absorção por capilaridade. Logo, é de se esperar que para porcentagens maiores que 15% essas propriedades continuem a decair, sendo esta hipótese a ser confirmada em futuras pesquisas.

Logo, conclui-se que a incorporação de resíduo de vidro em argamassas é viável, contribuindo para a melhora das propriedades das mesmas, minimizando os impactos causados pela sua disposição na natureza. Contudo, ainda é necessária a realização de futuras pesquisas para se determinar outras propriedades das argamassas feitas com o resíduo estudado, como degradação, durabilidade e viabilidade econômica, com o objetivo de tornar realidade a utilização deste agregado alternativo.

REFERÊNCIAS

LODI, A. L. G.; GAMBIN, G. R.; WEIT, M. L. **Incorporação de Resíduos Vítreos na Fabricação de Blocos de Concreto Para Pavimentação Intertravada**. 2014. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

OLIVEIRA, J. C. de. **Indicadores de potencialidades e desempenho de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil em pavimentos flexíveis**. 2007. 167 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Vidro**. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro>>. Acesso em 18 de set. 2018.

BRITO, J.; OLIVEIRA, R.; VEIGA, R. Redução do teor de cimento em argamassas com incorporação de agregados finos de vidro. **Revista de Engenharia Civil**, Universidade do Minho, v. 44, p.5-29, 2012.

BORGES, P. R. et al. Incorporação de Resíduo de Lã de Vidro em Concreto. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, São Paulo, v. 14, n. 4, p.373-379, 2017.

LOPEZ, D. A. R.; AZEVEDO, C. A. P. de; BARBOSA NETO, E. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino. **Cerâmica**, São Paulo, v. 51, n. 320, p. 318-324, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 248**: Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 52**: Agregado miúdo: Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 45**: Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13278:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9479:** Argamassa e concreto: Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13280:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15259:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Determinação da resistência a tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.