



## Estudo do uso de resíduo de pó de vidro em substituição do agregado para argamassas

COSTA E SILVA, Angelo Just da (1); MARANHÃO, Amanda Gabriela Dias (2); ALENCAR, Luiz Antônio Araújo Coelho(3)

Universidade de Pernambuco, [angelo@tecomat.com.br](mailto:angelo@tecomat.com.br); Universidade Católica de Pernambuco, [amandamaranhao8@gmail.com](mailto:amandamaranhao8@gmail.com); Universidade Católica de Pernambuco, [luzantonioaraujodealencar@hotmail.com](mailto:luzantonioaraujodealencar@hotmail.com); Universidade Católica de Pernambuco

### RESUMO

Parte dos impactos ambientais referentes ao concreto está associada à produção de cimento Portland, especialmente devido ao alto teor de clínquer na mistura e emissão de gases na atmosfera. Ao reduzir a quantidade de clínquer da mistura com a utilização de adições pozolânicas de resíduos industriais, busca-se a união dos conceitos sobre sustentabilidade. A reutilização do vidro, um insumo potencialmente utilizável e econômico por conseguir agregar valor e fomentar a argamassa, tornando-a um material bastante resistente na aplicação a que se destina é uma solução plausível para tal problemática. Além disso, atualmente o descarte do vidro ainda é feito de maneira precária, devido principalmente à sua massa específica ser elevada, acarretando em um alto custo no seu transporte para um destino correto. Dessa forma, este trabalho visa estudar a utilização da sucata de vidro como agregado miúdo artificial na produção de materiais à base de cimento. Durante esse projeto foi analisada a possibilidade técnico-econômica para a produção de argamassa direcionada a revestimentos de alvenaria. Foram utilizadas, através de ensaios, argamassas com e sem o aditivo do pó de vidro no que se refere à consistência, densidade, resistência a tração e a compressão. A substituição do agregado natural por pó de vidro resultou, no estado fresco, em argamassas com menor densidade e maior índice de consistência, e no estado endurecido foram observados até ganhos no comportamento mecânico, o que sugere a realização de estudos mais aprofundados para avaliação do uso potencial desse resíduo.

**Palavras-chave:** Pó de vidro. Argamassa de revestimento. Resíduo.

### ABSTRACT

*Part of the environmental impacts related to concrete is associated with the production of Portland cement due to the high content of clinker in the mixture and emission of gases in the atmosphere. By reducing the amount of clinker in the mix with the use of pozzolanic additions of industrial waste, we seek to combine the concepts of sustainability. The reuse of glass, a potentially usable and economical input for achieving value addition and fostering the mortar, making it a very resistant material in the intended application is a plausible solution for such a problem. In addition, currently the disposal of glass is still done precariously, mainly due to its specific mass being high, causing a high cost in its transport to a correct destination. Thus, this work aims to study the use of glass scrap as an artificial small aggregate in the production of cement-based materials. During this project the technical-economic possibility for the production of mortar directed to masonry coverings was analyzed. Mortars with and without the glass powder additive were used in the tests for consistency, density, tensile strength and compression. The replacement of the natural aggregate by glass powder resulted, in the fresh state, in mortars with lower density and higher index of consistency, and in the hardened state were observed until gains in the mechanical behavior, which suggests the accomplishment of more studies for evaluation of the Potential use of this waste.*

**Keywords:** Glass. Coating mortar. Waste.

## 1 INTRODUÇÃO

Os componentes cimentícios usados para produção de concretos e argamassas representam o material de construção civil mais utilizado no mundo. Segundo Mehta (2002), a cada ano apenas a indústria de concreto utiliza 1,6 bilhões de

toneladas de cimento, 10 bilhões de toneladas de rocha e areia, e 1 bilhão de toneladas de água. Cada tonelada de cimento produzida requer 1,5 toneladas de calcário e consumos energéticos fósseis, é estimado que esses números venham a se multiplicar cada vez mais.

Considerando que cerca de 70% do volume de concretos e argamassas é composto por agregados, a substituição de materiais naturais por produtos artificiais, ou reciclados, representa um grande avanço no sentido de se reduzir o impacto ambiental da sua produção, contribuindo para o meio ambiente.

Uma das alternativas discutidas para isso é o vidro, pois, além de ser um material completamente reciclável, apresenta alta capacidade mecânica, e por isso tem sido empregado em grande escala em diversos componentes na construção civil. Contudo, por conta do seu comportamento frágil, não é possível utilizá-lo isoladamente como componente estrutural.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a influência da substituição total e parcial do agregado natural por pó de vidro para utilização em argamassas, a partir de ensaios laboratoriais para avaliação das propriedades físicas e mecânicas no estado fresco e endurecido, comparando com amostra de referência confeccionada apenas com agregado natural.

## **2 REVISÃO TEÓRICA**

A indústria da construção civil se sobressai como um grande consumidor de matérias-primas naturais, renováveis ou inclusive não renováveis. Levando em conta apenas a produção de argamassas e concretos, o Brasil consome aproximadamente 200 milhões de toneladas de agregados naturais.

Por outro lado, o país produz, anualmente, cerca de 890 mil toneladas de embalagens de vidro. Segundo Sichieri; Santos (2007), entende-se por vidro os produtos resultantes da fusão pelo calor de óxidos inorgânicos ou seus derivados e misturas, tendo como constituinte principal a sílica (óxido de silício) que, por resfriamento, enrijece sem cristalizar. A sua principal característica é ser moldável a uma determinada temperatura sem que sofra qualquer tipo de degradação (ORTIZ, 1996).

### **2.1 Argamassa de revestimento**

Segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005), entende-se por argamassa a mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou produzida em instalação industrial.

De uma maneira geral, numa argamassa os aglomerantes inorgânicos têm a função de proporcionar resistência mecânica, cabendo aos agregados dar volume e resistência à abrasão, enquanto os aditivos acabam proporcionando algumas características importantes no estado fresco e endurecido, como deformabilidade, capacidade de absorver deformações, retenção de água etc.

A produção das argamassas pode ser efetuada no próprio canteiro, ou ser oriundas de indústrias, de modo que já chegam à obra pré misturadas, sendo necessária apenas a colocação de água para adequada mistura e aplicação (BERTOLINI, 2010).

## 2.2 Vidro Reciclado

Via de regra, os resíduos de vidros normalmente utilizados são nos formatos de caco e grão. Os cacos funcionam como matéria-prima balanceada, substituindo o feldspato na mistura com a matéria-prima virgem. Dependendo do tipo e uso do material reciclado, ainda é notório algumas limitações, por exemplo, vidros espelhados não servem para a produção de novos vidros planos, vidros com proteção ao sol em óculos escuros, também acabam se tornando inúteis para a fabricação de novos vidros planos incolores. (VIDROPLANO, 2010).

Apesar de pouca expressão no ramo da construção civil no tocante a reciclagem e reutilização, tendo sua empregabilidade apenas no campo experimental ou em serviços não tão expressivos, o pó de vidro, que geralmente é utilizado por empresas de sinalização de trânsito para dar refletividade a tinta aplicada no asfalto de rodovias, possui um grande potencial de utilização como complemento do agregado miúdo, chegando a melhorar as propriedades das argamassas em até 20% (OLIVEIRA; BRITO; VEIGA, 2013).

## 3 Materiais e métodos

O presente estudo trata da avaliação da utilização do resíduo de vidro em substituição parcial do agregado miúdo utilizado em argamassas, utilizando material proveniente da usina de tratamento de resíduos sólidos existente no arquipélago de Fernando de Noronha.

### 3.1 Características dos materiais

Para a confecção dos traços (Figura 2) foram utilizados os materiais descritos a seguir (Tabela 1 e Figura 1):

Tabela 1 - Análise de caracterização física e química do cimento

Determinação		CPII-F-32	
Caracterização Física	Água para consistência normal (%)	28,8	
	Área específica Blaine (cm <sup>3</sup> /g)	3780	
	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	3,10	
	Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	*NI	
	Finura	Resíduo na peneira #200 (%)	2,60
		Resíduo na peneira #325 (%)	11,30
	Tempo de Pega	Início (min)	255
		Fim (min)	320
	Resistência à Compressão	3 dias (MPa)	26,4
		7 dias (MPa)	31,9
28 dias (MPa)		38,0	
Caracterização Química (%)	Perda ao fogo	4,06	
	Resíduo insolúvel	1,53	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,53	
	SiO <sub>2</sub>	18,52	
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,11	
	CaO	60,95	
	MgO	3,26	
	SO <sub>3</sub>	3,34	
	CaO livre	0,89	
	Equivalente alcalino em Na <sub>2</sub> O	*NI	

\*NI = Não Informado

Fonte: Fornecedor Cimpor

Figura 1 - Características da areia natural e do pó de vidro usados na pesquisa.

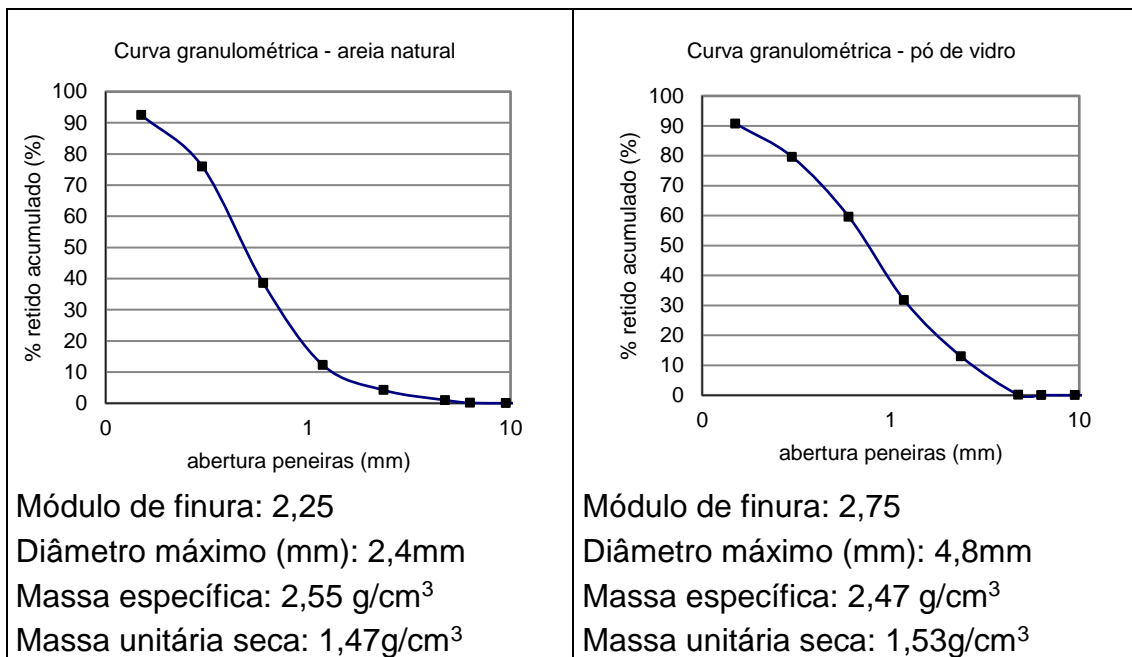


Figura 2 - Preparação da argamassa para realização dos ensaios.



Fonte: Autores (2017)

### 3.2 Definição dos traços

O estudo consiste na avaliação de três grupos de argamassa, sendo uma de referência (sem substituição), uma com substituição parcial da areia (50%), e outra com substituição total (100%), conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Especificação dos traços das famílias estudadas

Descrição	Agregado Reciclado (%)	Traço
Família 1	0	1:1:6:0
Família 2	50	1:1:3:3
Família 3	100	1:1:0:6

Fonte: Autores (2017)

### 3.3 Ensaios realizados

#### 3.3.1 Determinação do peso específico da argamassa

Feita através da relação do volume e do peso das amostras estudadas.

#### 3.3.2 Índice de consistência – método de *flow table*

A avaliação da consistência de argamassas em laboratório pode ser efetuada por meio de diferentes técnicas, especialmente através de medição da tensão associada à deformação (*squeeze flow*), ou a partir da análise do espalhamento da massa sobre uma mesa metálica padrão, moldada num tronco cônico de volume de  $463,29\text{cm}^3$  (Figura 3). A argamassa é moldada em três camadas sucessivas, com aproximadamente a mesma espessura, adensando-as com o auxílio de um soquete, com 15, 10 e 5 golpes respectivamente. Em seguida, aciona-se a manivela da mesa de forma a movimentá-la e fazendo com que a argamassa se espalhe, em uma repetição por segundo, totalizando 30 repetições.

Figura 3 - Argamassa sobre a mesa para execução do *Flow Table*



Fonte: Autores (2017)

Após os golpes, mede-se o diâmetro da argamassa espalhada em três locais distintos ao longo do perímetro (Figura 4 e Figura 5), em mm.

Figura 4 Medição do diâmetro do espalhamento da amostra



Fonte: Autores (2017)

Figura 5 – Detalhe da medição do diâmetro de espalhamento



Fonte: Autores (2017)

### 3.3.3 Ensaio de resistência à tração (corpos de prova prismáticos)

Após a moldagem de corpos de prova prismáticos em moldes metálicos, nas dimensões 4cm x 4cm x 16cm (Figura 6), é efetuado ensaio em máquina para ensaio à tração e de compressão conforme NBR NM ISO 7500-1 (ABNT, 2004), no mínimo classe 1. Os dispositivos de ensaio à tração e compressão devem ser capazes de aplicar carga uniforme, sem choque de 50 e 500 N/s, respectivamente.

Figura 6 - Corpos de prova prismáticos para ensaio de resistência à tração e compressão



Fonte: Autores (2017)

### 3.3.4 Ensaio de resistência à compressão (corpos de prova cilíndricos)

De acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996), a moldagem dos corpos de prova cilíndricos foi feita em forma metálica com dimensões de 50mm de diâmetro e 100mm de altura (Figura 7). Preenchidos com argamassa misturada mecanicamente em quatro camadas. Cada camada foi adensada com 30 golpes de soquete. Após esse processo foi feito o ensaio na máquina de compressão de carga contínua, em conformidade com a NBR 6156 (ABNT, 1983).

Figura 7 - Corpos de prova prismáticos e cilíndricos



Fonte: Autores (2017)

O desmolde dos corpos de prova ocorreu 24 horas após sua fabricação. Os mesmos foram colocados na água durante 21 dias para cura úmida e, então, levados ao laboratório para realização dos ensaios, conforme a Figura 8.

Figura 8 - Realização do nivelamento da superfície com a solução de enxofre



Fonte: Autores (2017)

Antes de realizar os ensaios de tração e compressão no laboratório, é preciso marcar três apoios nos corpos de prova prismáticos, assim como o nivelamento das bases dos corpos de prova cilíndricos para que a carga se distribua uniformemente quando aplicada.

Os corpos de prova cilíndricos são nivelados com a utilização de uma resina de enxofre com metacaulim a 10%, aquecida a  $135^{\circ}\text{C} \pm 7$ , conforme Figura 9.

Figura 9 - Superfície nivelada com solução de enxofre



Fonte: Autores (2017)

Os corpos de prova prismáticos foram ensaiados à tração e à compressão conforme NBR 13.279 (ABNT, 2005), ao passo que os corpos de prova cilindros foram ensaiados apenas a compressão em conformidade com NBR 7215 (ABNT, 1996), vide Figuras 10,11 e 12.

Figura 10 - Ensaio a tração do corpo de prova prismático



Fonte: Autores (2017)



Figura 11 - Ensaio de resistência à compressão do corpo de prova prismático



Fonte: Autores (2017)

Figura 12 – Ensaio de resistência à compressão do corpo de prova cilíndrico



Fonte: Autores (2017)

## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1. Estado fresco

Os resultados de consistência e densidade mostraram que, com o uso do resíduo, a argamassa se tornou menos densa e mais plástica, conforme se pode observar nas Tabelas 3 e 4. Verifica-se que, na medida em que é aumentada a quantidade de pó de vidro na mistura, as famílias sofreram um leve decréscimo na densidade e pequeno aumento no índice de consistência.

Tabela 3 – Cálculo das densidades

Descrição	Volume (m <sup>3</sup> )	Peso (kg)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
Família 1	0,0001962	0,4013	2.045,36
Família 2	0,0001962	0,4001	2.039,25
Família 3	0,0001962	0,3980	2.028,54

Fonte: Autores (2017)

Tabela 4 – Diâmetros e índice de consistência

Descrição	Diâmetros (mm)			Média
	1	2	3	
Família 1	210	215	208	211
Família 2	220	220	225	221
Família 3	230	225	232	229

Fonte: Autores (2017)

#### 4.2. Estado endurecido

Para os corpos prismáticos os resultados de resistência à tração indicam uma pequena perda para quanto maior a adição de pó de vidro na argamassa, permanecendo dentro dos parâmetros aceitáveis da NBR 13.279 (ABNT, 2005). Observa-se essa tendência na tabela 5.

Tabela 5 – Resultados resistência à tração corpos de prova prismáticos

Descrição	Resistência à tração (MPa)			Média
	CP 01	CP 02	CP 03	
Família 1	1,60	1,93	1,90	1,81
Família 2	1,40	1,69	1,55	1,55
Família 3	1,65	1,70	1,40	1,58

Fonte: Autores (2017)

Por sua vez, os testes de compressão foram positivos para os dois tipos de corpos de prova, de modo que a utilização do pó de vidro mostrou-se eficaz para o ganho de resistência a compressão, observando-se um leve aumento em consequência à adição do produto em reuso, como se pode ver nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 – Resultados resistência à compressão corpos de prova prismáticos

Descrição	Resistência à compressão (MPa)			Média
	CP 01	CP 02	CP 03	
Família 1	6,3	6,1	6,4	6,23
Família 2	7,0	6,6	7,9	7,17
Família 3	7,4	7,5	7,3	7,40

Fonte: Autores (2017)

Tabela 7 – Resultados resistência à compressão corpos de prova cilíndricos

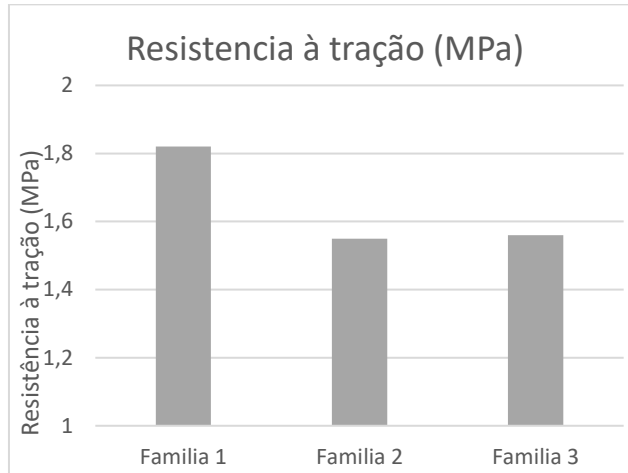
Descrição	Resistência à compressão (MPa)		Média
	CP 01	CP 02	
Família 1	6,3	5,5	5,75
Família 2	5,5	6,0	5,75
Família 3	6,4	6,7	6,55

Fonte: Autores (2017)

Ainda, para efeito de análise, podemos considerar a variação das médias dos resultados de cada família para os ensaios de resistência à tração dos corpos de

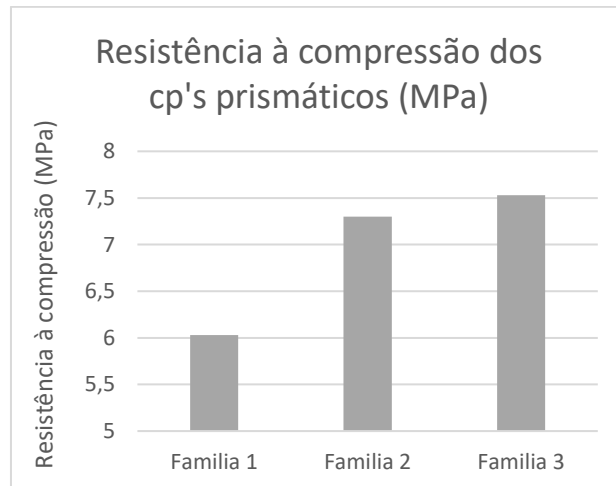
provas prismáticos e resistência à compressão dos corpos de prova prismáticos e cilíndricos (Figuras 13, 14 e 15).

Figura 13 – Média da resistência à tração dos corpos de prova prismáticos



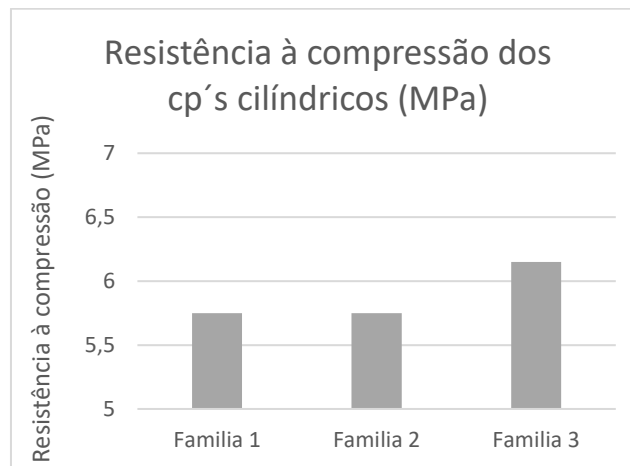
Fonte: Autores (2017)

Figura 14 – Média da resistência à compressão dos corpos de prova prismáticos



Fonte: Autores (2017)

Figura 15 – Média da resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos



Fonte: Autores (2017)

## 5 CONCLUSÕES

Conforme anteriormente descrito, o uso de resíduos como material de substituição aos agregados na confecção de concretos e argamassas é uma prática muito importante e desejada no meio técnico, na medida em que reduz o consumo de produtos naturais, além de diminuir o desperdício.

Assim, o presente estudo teve por objetivo avaliar o comportamento de argamassa com substituição parcial e total da areia por resíduo de vidro, tanto no que se refere às propriedades no estado fresco como endurecido.

De maneira geral, foi observado pequenas alterações nas propriedades estudadas, porém, insuficientes para inviabilizarem seu uso. Tendo como base comparativa a argamassa de referência (sem substituição).

No estado fresco, percebeu-se que o emprego do pó de vidro, ao contrário do que se esperava, resultou numa argamassa com maior espalhamento, o que favorece a aplicação em campo, associado a uma menor densidade.

Quanto aos ensaios no estado endurecido, os valores de resistência das amostras com resíduo provaram-se um pouco superiores às de referência, o que pode ser justificado por algum efeito pozolânico decorrente da ação do vidro.

Trabalho publicado por Barbosa et al (2010) com uso do pó de vidro reciclado em substituição total e parcial dos agregados naturais em peças de concreto também resultaram em valores de resistência mecânica similares às amostras de referência. Em argamassas, destaca-se o estudo apresentado por Oliveira et al. (2013), que encontraram valores de resistência à compressão e tração até superiores para amostras com substituição do agregado natural pelo pó de vidro. Ambos artigos corroboram com os dados obtidos na presente pesquisa.

Importante destacar que o estudo avaliou exclusivamente algumas propriedades mecânicas e no estado fresco das amostras, de modo que não foram efetuadas avaliações quanto à durabilidade. Contudo, os resultados encontrados com os materiais utilizados nessa pesquisa indicaram bom comportamento do resíduo de pó de vidro, o que sugere a realização de novos

e mais aprofundados estudos para avaliar o seu potencial emprego como substituição aos agregados naturais em argamassas de cimento.

## REFERÊNCIAS

MEHTA, P. K. 2002. **Greening of the Concrete Industry for Sustainable Development**. Concrete International, Vol. 24, No. 7, July 2002.

SICHERI; SANTOS. **Vidros para construção**. In: Isaia, G.C. (ed.). Materiais de Construção Civil. São Paulo: IBRACON, 2005. V. 2, cap. 21, 2005.

Ortiz, S.A. **O Vidro e as Embalagens de Vidro**. CETEA/ITAL, Campinas, Brasil, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.281**: Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

BERTOLINI, Luca. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. Tradução Leda Maria Marques Dias Beck - Título Original: Materiali da costruzione v.2 : degrado, prevenzione, diagnosi, restauro.

Revista "**O Vidroplano**" - Edição 447 (março/2010).

OLIVEIRA, R.; BRITO, J.; VEIGA, R. **Incorporação de agregados finos de vidro em argamassa**. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.21, p.25-39. Universidade Técnica de Lisboa. Maio, 2013

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **NBR NM-ISO 7500-1**: Máquinas de ensaio de tração/compressão – Calibração do sistema. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004. 17 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da Resistência à Compressão. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6156**: Máquina de ensaio de tração e compressão - Verificação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1983. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.279**: Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos – Determinação da Resistência à Tração na Flexão e à Compressão. Rio de Janeiro, 2005.

BARBOSA, F.R.; MOTA, J.M.F.; COSTA E SILVA, A.J. **Utilização de vidro reciclado para produção de concreto verde em Fernando de Noronha**. 52º Congresso Brasileiro do Concreto (Ibracon), 52CBC, 2010.