



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS
INCORPORADAS COM PÓ DE VIDRO**

FELIPE AUGUSTO GOMES DE ALMEIDA

Orientadores: Dr^a. Carina Silvani
PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

Campina Grande-PB, 13/12/2018

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS
INCORPORADA COM PÓ DE VIDRO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

FELIPE AUGUSTO GOMES DE ALMEIDA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Federal de Campina Grande
como requisito para obtenção do grau de
bacharel em Engenharia Civil.

Área de habilitação: Materiais de
Construção.

Orientadores: Dr^a. Carina Silvani
PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

CAMPINA GRANDE – PB

Dezembro/2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

FELIPE AUGUSTO GOMES DE ALMEIDA

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS INCORPORADAS COM PÓ DE VIDRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em 13/12/2018 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Prof. Dr^a Carina Silvani
Doutora em Engenharia Civil – UFRS
Orientadora

Prof. Dr^a Ana Maria Gonçalves Duarte
Doutora em Ciências e Engenharia de Materiais – UFCG
Orientadora

Prof. Dr^a Aline Figueirêdo Nóbrega de Azeredo
Doutora em Engenharia Civil – UFPE
Membro Interno

Eduardo Antônio Guimarães Tenório
Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental – UFCG
Membro Interno

Tássila Ramos Porto
Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental – UFCG
Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida, por me abençoar e iluminar os meus caminhos e por me proporcionar saúde, sabedoria, discernimento e fé para seguir em busca dos meus objetivos durante toda minha vida.

Aos meus pais, Socorro Gomes e José Augusto, que sempre foram sinônimos de garra, fé e disposição para mim, por terem me proporcionado uma educação de qualidade e por sempre me dar apoio e acreditar no meu potencial. Especialmente à minha mãe, que me ensina a lutar dia após dia pelo dom da vida e a não desistir quando tudo parece não ter mais sentido.

À minha namorada, Sthefane Costa, que tanto me apoia e incentiva nos momentos mais difíceis da minha vida, por estar sempre presente em minha vida e me ajudar durante praticamente toda a construção da minha carreira acadêmica.

À professora Phd. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça por ter aceitado o convite para ser minha orientadora e por ter sido tão receptiva quanto a minha proposta de tema e por sempre estar disposta a me auxiliar, com boa vontade, quando preciso.

À Universidade Federal de Campina Grande por toda sua infraestrutura e corpo docente disponibilizados aos seus alunos e aos técnicos do Laboratório de Solos II e do Laboratório de Engenharia de Pavimentos da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da mesma por todo auxílio e paciência dedicados ao explicarem o correto procedimento para manuseio e execução dos ensaios necessários.

À empresa Vidro Center Temperados por não relutar em abrir suas portas e por me fornecer o material necessário para o desenvolvimento da minha pesquisa.

Por fim, aos meus amigos e colegas que estiveram presentes em minha vida de estudante e que de alguma forma puderam contribuir na minha caminhada.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida e meu socorro nas angústias, aos meus pais, Socorro Gomes e José Augusto, pelos ensinamentos de vida e à minha namorada, Sthefane Costa, por ser meu porto seguro e pelo seu auxílio neste trabalho.

Com muito amor e carinho.

“Somos engenheiros do nosso próprio projeto de vida.”

André Dias

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Argamassa de assentamento de alvenaria.	6
Figura 2: Relação e influência da resistência da argamassa na resistência da parede de alvenaria.	6
Figura 3: Interação entre argamassa de assentamento e bloco de alvenaria.....	7
Figura 4: Camadas das argamassas de revestimento.	8
Figura 5: Três alternativas para revestimento de paredes: (a) emboço, reboco e pintura, (b) camada única e pintura; (c) revestimento decorativo monocamada (RDM).	9
Figura 6: Execução de contrapiso.	10
Figura 7: Execução de revestimento cerâmico com argamassa colante.	10
Figura 8: Rejuntamento de revestimento cerâmico.	11
Figura 9: Execução de recuperação estrutural com argamassa.	11
Figura 10: Relação entre densidade de massa e teor de ar em argamassas no estado fresco.	13
Figura 11: Resíduos em forma de cacos armazenados antes de serem destinados à reciclagem. 16	
Figura 12: Água contaminada com pó de vidro proveniente do processo de lapidação das chapas.....	17
Figura 13: Resíduo de pó de vidro descartado no meio ambiente.....	18
Figura 14: Canaletas instaladas no piso da indústria para o escoamento da água contaminada com pó de vidro.....	19
Figura 15: Tanque para decantação do resíduo de pó de vidro.	19
Figura 16: Tanque que armazena a água que será reutilizada no processo após a decantação. ..	20
Figura 17: Moldagem dos corpos de prova de argamassa.....	25
Figura 18: Corpos de prova de argamassa desmoldados e identificados.	26
Figura 19: Amostras imersas em água para realização do ensaio de absorção.	27
Figura 20: Amostras secas em estufa para realização do ensaio de absorção.	27
Figura 21: Ensaio de resistência à compressão simples com prensa axial.	28
Figura 22: Ruptura de um dos corpos de prova de argamassa submetido ao ensaio de resistência à compressão simples.	28
Figura 23: Ensaio de absorção de água por imersão para argamassa com incorporação de 20% de pó de vidro.....	29
Figura 24: Ensaio de absorção de água por imersão para argamassa com incorporação de 20% de pó de vidro.....	30
Figura 25: Ensaio de resistência à compressão simples para argamassa com incorporação de 20% de pó de vidro.	31
Figura 26: Ensaio de resistência à compressão simples para argamassa com incorporação de 20% de pó de vidro.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para argamassas de paredes.	9
Tabela 2: Composição química do pó de vidro sem tratamento.	20
Tabela 3: Quantidade de material necessária para a moldagem de um corpo de prova.	25
Tabela 4: Classificação de argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos quanto a resistência à compressão.....	33

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

NBR – Normalização Brasileira

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABIVIDRO – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro

ANAVIDRO – Associação Nacional de Vidraçarias

PET – Politereftalato de etileno

RESUMO

A construção civil é um dos segmentos indicadores de crescimento econômico e social de um país. Seu avanço implicará em um maior consumo de argamassa, que é um material de extrema importância neste setor por possuir inúmeras aplicações como assentamento, vedação, impermeabilização, regularização e acabamento de superfícies. Dessa forma, vários estudos estão sendo desenvolvidos, visando à incorporação de materiais reciclados em misturas de argamassas com objetivo de melhorar suas propriedades físicas e mecânicas, dentre os resíduos gerados na indústria e na própria área de construção está o rejeito de vidro, que é um material que ganhou espaço nos âmbitos da arquitetura e da construção civil e tem sido utilizado em grande escala, pois além de ser resistente, transmite beleza, harmonia e leveza às construções atuais. No entanto, apesar do vidro ser um material totalmente reciclável, quando descartado no meio ambiente pode levar décadas para se decompor. Neste sentido, este estudo tem como principal objetivo avaliar o desempenho de argamassas incorporadas com pó de vidro. Foram moldados corpos de prova nas dimensões de 5 x 10 (cm) para estudo das propriedades físicas e mecânicas da argamassa de referência e com substituição da areia por teores de 20 e 30% de pó de vidro nas idades de 7,14 e 28 dias. Observou-se que as argamassas incorporadas com pó de vidro absorveram mais água que as de referência, porém a resistência à compressão obtida para as argamassas com os teores de incorporação em estudo foi superior ao obtido para a argamassa de referência. Foi verificado que, ocasionou um aumento da absorção nas argamassas.

PALAVRAS-CHAVE: Argamassa, resíduo, construção civil.

ABSTRACT

Civil construction is one of the indicators of economic and social growth in a country. Its advancement will imply a greater consumption of mortar, which is a material of extreme importance in this sector because it has many applications such as laying, sealing, waterproofing, regularization and surface finishing. In this way, several studies are being developed, aiming at the incorporation of recycled materials in mixtures of mortars. And among the waste generated in the industry and in the area of construction is glass, which is a material that has gained space in architecture and civil construction and has been used on a large scale, as well as being resistant, it transmits beauty, harmony and lightness to the present constructions. However, although glass is a fully recyclable material, when discarded in the environment can take decades to decompose. In this sense, this study has as main objective to evaluate the performance of mortars incorporated with glass powder. 5 x 10 cm will be molded to study the physical and mechanical properties of the reference mortar and with sand substitution at 20 and 30% glass dust at ages 7, 14 and 28 days. It was observed that the mortars embedded with glass powder absorbed more water than the reference mortars, but the compressive strength at both incorporation contents was greater than double when compared to the reference trait. It was verified that, it caused an increase of the absorption in the mortars.

Key words: Mortar, waste, civil construction.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	2
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Objetivo Geral	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC.....	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1 ARGAMASSA.....	4
2.1.1 Argamassa de assentamento de alvenaria	5
2.1.2 Argamassa de revestimento	7
2.1.3 Argamassa de contrapiso.....	9
2.1.4 Argamassa de revestimentos cerâmicos	10
2.1.5 Argamassa de rejuntamento	11
2.1.6 Argamassa de recuperação estrutural	11
2.2 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS.....	12
2.2.1 Estado fresco	12
2.2.2 Estado endurecido	14
2.3 VIDRO COMO COMPONENTE NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	15
2.3.1 Reciclagem do vidro.....	15
2.3.2 Resíduos do vidro.....	16
2.4 APLICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE VIDRO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	20
2.5 REAÇÃO ÁLCALI-SÍLICA.....	22
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1 MATERIAIS	24
3.2 MÉTODOS	24
3.2.1 Moldagem dos corpos de prova.....	25
3.2.2 Determinação das propriedades físicas e mecânicas das argamassas.....	26
3.2.2.1 Absorção de água por imersão	26
3.2.2.2 Resistência à compressão simples	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO.....	29
4.2 AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ARGAMASSAS	31
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	34

REFERÊNCIAS 35
ANEXOS 38

1. INTRODUÇÃO

É sabido que, nas últimas décadas, houve um considerável crescimento populacional, industrial e, conseqüentemente, da construção civil, o que contribuiu significativamente para o aumento dos resíduos sólidos, pois são atividades que, quanto mais crescem, mais geram resíduos e impactos ambientais (LICURGO & VIEIRA, 2015).

Nos últimos anos, segundo Licurgo & Vieira (2015), a implementação de políticas ambientais mais rigorosas fez com que as indústrias buscassem cada vez mais novas alternativas para a disposição dos seus resíduos sólidos, aumentando a credibilidade com os consumidores, apresentando propostas sustentáveis para esta disposição e para a reutilização dos mesmos.

Ainda de acordo com Licurgo, também afirmam que atualmente o tema sustentabilidade é de extrema importância em diversos setores, inclusive no da construção civil, e, cada vez mais, as indústrias estão buscando reduzir o consumo dos recursos naturais, substituindo-os pelos materiais que seriam descartados de forma inadequada na natureza.

Os componentes cimentícios utilizados para a fabricação de argamassas e concretos representam o material de construção mais consumido no mundo (COSTA & SILVA; MARANHÃO & ALENCAR, 2017). Os mesmos afirmam que cerca de 70% do volume de concretos e argamassas produzidos é composto por agregados e que a substituição de parte destes materiais naturais por produtos artificiais e/ou reciclados representam um grande avanço na redução do impacto ambiental.

Dentre os resíduos gerados na indústria e na construção civil está o vidro, que é um material que ganhou espaço nos âmbitos da arquitetura e da construção civil e tem sido utilizado em grande escala, pois além de ser resistente, transmite beleza, harmonia e leveza às construções atuais.

O vidro é um material totalmente reciclável, porém quando descartado no meio ambiente pode levar décadas para se decompor. Segundo o Portal Resíduos Sólidos (2013), só na Alemanha são reciclados cerca de 2 milhões de toneladas de vidros por ano, o que acarreta em economia de recursos naturais, energia e de geração de novos resíduos sólidos.

No Brasil, diversos estudos foram elaborados para a incorporação do vidro como material para a fabricação de cerâmicas vermelhas, argamassas e concretos, substituindo-o por parte do agregado miúdo e/ou cimento Portland. Entretanto, vários destes estudos estão relacionados a substituição dos cacos de vidros moídos (material que já é amplamente utilizado de outras formas na reciclagem) como agregados nas misturas, porém existe um resíduo em forma de lama que é proveniente do processo de lapidação do vidro e que, geralmente, é lançado no meio ambiente.

Tendo em vista a semelhança química observada por Filogônio et al., (2014) entre os dois tipos de resíduos e acreditando ser algo promissor no mercado da construção civil, pensou-se no desenvolvimento deste trabalho que visa estudar a substituição de parte dos materiais constituintes de uma argamassa pelo pó de vidro obtido através da lama proveniente da lapidação, sem prejudicar as propriedades de uso desta argamassa, quando comparada a uma convencional, apresentando-se como um material mais sustentável e, provavelmente, com um melhor custo benefício.

1.1 JUSTIFICATIVA

A utilização de resíduos na fabricação de materiais para a construção civil é algo promissor e que vem sendo amplamente estudado, tendo em vista que são utilizados recursos naturais para a fabricação destes e que substituí-los, além de gerar uma redução nos impactos ambientais, acarretará em economia nos custos de fabricação, desde que não haja prejuízo nas propriedades dos materiais.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como principal objetivo estudar as propriedades físicas e mecânicas de argamassas incorporadas com pó de vidro.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar o melhor teor de incorporação de pó de vidro;
- Caracterizar fisicamente a argamassa incorporada com pó de vidro;
- Caracterizar mecanicamente as argamassas incorporadas com pó de vidro.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

O texto deste Trabalho de Conclusão de Curso encontra-se em um volume único distribuído da seguinte forma:

[Capítulo 1] Introdução – Introdução, Justificativa, Objetivos da Pesquisa e Organização do Trabalho de Conclusão de Curso.

[Capítulo 2] Fundamentação Teórica – São abordados assuntos relacionados aos tipos e propriedades das argamassas, ao vidro, seus resíduos e a incorporação destes na construção civil, bem como à reatividade álcali-sílica nas misturas.

[Capítulo 3] Materiais e Métodos – São apresentados os materiais utilizados na pesquisa e relatados aspectos considerados importantes sobre os procedimentos da etapa experimental.

[Capítulo 4] Resultados e Discussões – São apresentados os resultados que se pretende obter com a incorporação do vidro a argamassa.

[Capítulo 5] Considerações Finais e sugestões para pesquisas futuras – São apresentadas as considerações acerca dos resultados obtidos e as sugestões para estudos futuros que possam complementar a pesquisa.

Por fim, estão as Referências, onde estão listadas as pesquisas citadas neste estudo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A construção civil é um dos segmentos indicadores de crescimento econômico e social de um país. Embora nos últimos anos o Brasil esteja passando por uma crise política e financeira que fez com que houvesse uma queda significativa neste setor, Petrônio Lerche Vieira - diretor executivo do Sindicato Nacional da Indústria da Construção Pesada - afirmou a Alvarenga (2017) no G1 – portal de notícias da Globo - que a economia está melhorando, porém a construção civil deve ser o último setor da indústria a se recuperar.

O fato é que, quando esse segmento voltar a crescer no país deve-se, cada vez mais, ter a preocupação com as técnicas e os materiais incorporados aos projetos, não apenas para otimizar os lucros, mas principalmente por questões de sustentáveis. Afinal, é preciso pensar em crescer gerando o mínimo possível de danos ao meio ambiente, sem refletir em prejuízos para as futuras gerações.

O possível avanço da construção civil implicará em um maior consumo de argamassa, que é um material de extrema importância neste setor por possuir inúmeras aplicações em construções, como assentamento, vedação, impermeabilização, regularização e acabamento de superfícies, por exemplo. (COSTA & SILVA; MARANHÃO & ALENCAR, 2017).

2.1 ARGAMASSA

A NBR 13281 (ABNT, 2005) define a argamassa como sendo uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, podendo ainda contar com a presença de aditivos e diz que as mesmas podem ser dosadas em obra ou em indústria e devem possuir propriedades de aderência e endurecimento. Geralmente, uma argamassa é constituída por areia, cimento Portland e água, porém muitas utilizam a cal para a obtenção de propriedades especiais.

Enquanto os aglomerantes inorgânicos têm a função de proporcionar resistência mecânica, cabe aos agregados o papel de dar mais volume e abrasividade à mistura e os aditivos possuem a função de proporcionar características específicas desejadas - seja em estado fresco ou endurecido -, como trabalhabilidade, deformabilidade, capacidade de absorver deformações e de reter água entre outras (COSTA & SILVA; MARANHÃO & ALENCAR, 2017).

A NBR 13281 (ABNT, 2005) classifica as argamassas quanto à suas funções em: assentamentos – alvenaria de vedação, estrutural e complementação da alvenaria –, realização de revestimento de paredes e tetos - interno e externo -, usos gerais, rebocos, decorações em camadas finas e em monocamadas.

Carasek (2007) classifica as argamassas com relação a vários critérios, sendo eles: quanto à natureza, ao tipo e ao número de aglomerantes, à consistência e à plasticidade da argamassa, à densidade da massa e à forma de preparo ou fornecimento. A mesma também classifica as argamassas quanto à sua função na obra, ou seja, para a construção de alvenarias, revestimento de paredes e tetos, revestimento de pisos, revestimentos cerâmicos e recuperação de estruturas.

2.1.1 Argamassa de assentamento de alvenaria

Esta argamassa é utilizada no levantamento das estruturas de alvenaria, seja ela de tijolos ou blocos, com o objetivo de formar um único elemento capaz de resistir a alguns esforços, como o vento, de modo que a carga seja distribuída por toda a área das unidades de alvenaria. Além disso, a argamassa possui a função de selar as juntas, promovendo um sistema de vedação para as águas de chuva (LIRA, 2017).

Para cumprir as funções supracitadas, Carasek (2007) afirma que trabalhabilidade, aderência, resistência mecânica e capacidade de absorver deformações são propriedades essenciais para as argamassas de assentamento de alvenarias. A Figura 1 ilustra a argamassa de assentamento de alvenaria.

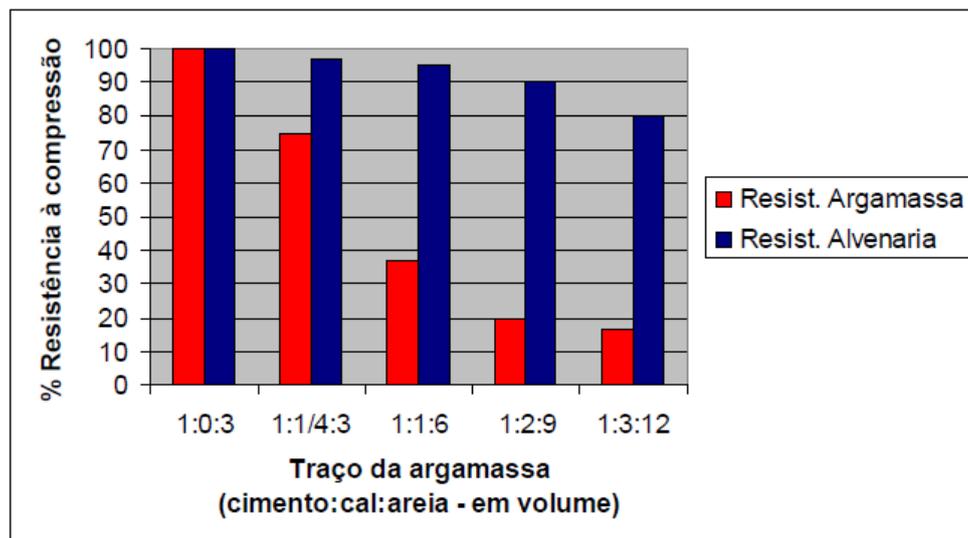
Figura 1: Argamassa de assentamento de alvenaria.



FONTE: Suaobra.com.br (2013).

Além disso, pesquisas comprovam que o aumento da resistência da alvenaria está diretamente relacionado com o da argamassa, conforme pode ser observado na Figura 2.

Figura 2: Relação e influência da resistência da argamassa na resistência da parede de alvenaria.

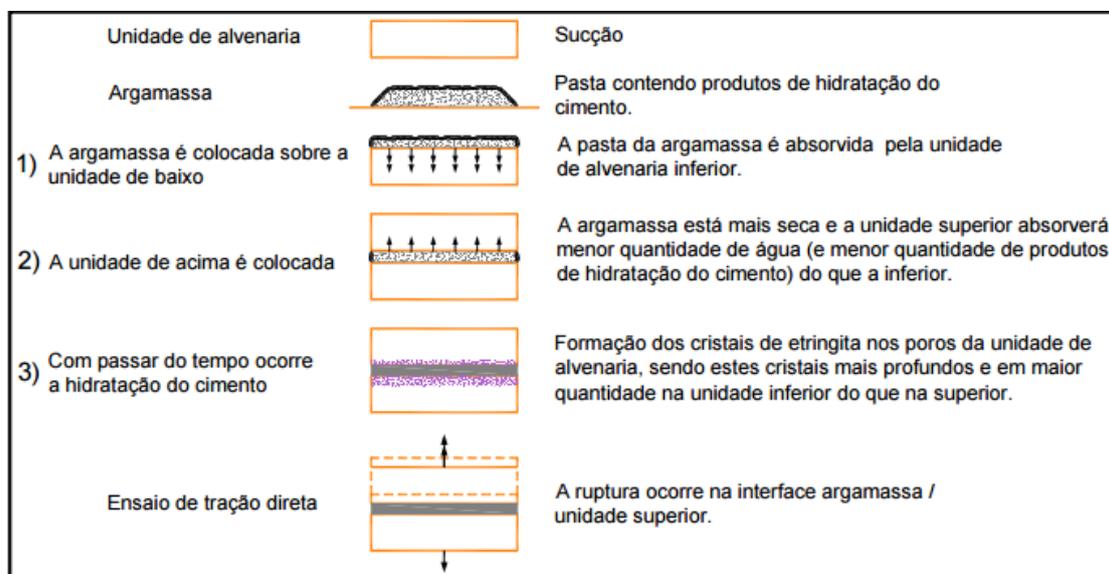


FONTE: Building Research Station, 1986, apud Carasek (2007).

A Figura 3 ilustra detalhadamente as etapas de interação entre a argamassa de assentamento e bloco de alvenaria, mostrando como se dá o comportamento da

argamassa quando está em contato com estes blocos e onde ocorre a ruptura no ensaio de tração direta.

Figura 3: Interação entre argamassa de assentamento e bloco de alvenaria.



FONTE: Carasek adaptada de Gallegos (1989).

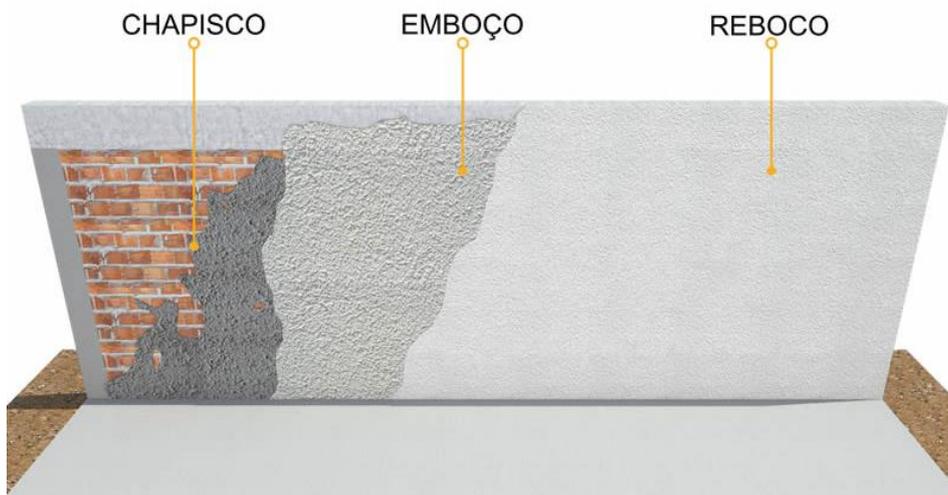
2.1.2 Argamassa de revestimento

A argamassa de revestimento é indicada tanto em ambientes internos quanto externos nas edificações, servindo como camada de regularização da alvenaria, podendo ser utilizada em paredes, tetos e muros, que, geralmente, irão receber acabamentos como pinturas, revestimentos cerâmicos, laminados, entre outros (CARASEK, 2007).

A mesma autora evidencia que as argamassas de revestimento também têm a função de proteger a estrutura contra os intemperismos. Além disso, servem como forma de integração entre os sistemas de vedação das edificações, contribuindo em torno de 30% com o isolamento térmico, 50% com o isolamento acústico, 70 a 100% do isolamento contra a infiltração da água, e também propõem segurança em caso de incêndios.

As argamassas de revestimento de paredes e tetos são classificadas quanto às camadas em chapisco, emboço, reboco, camada única e revestimento decorativo monocamada. A Figura 4 ilustra a diferença entre as aplicações das argamassas de revestimento de acordo com as camadas.

Figura 4: Camadas das argamassas de revestimento.



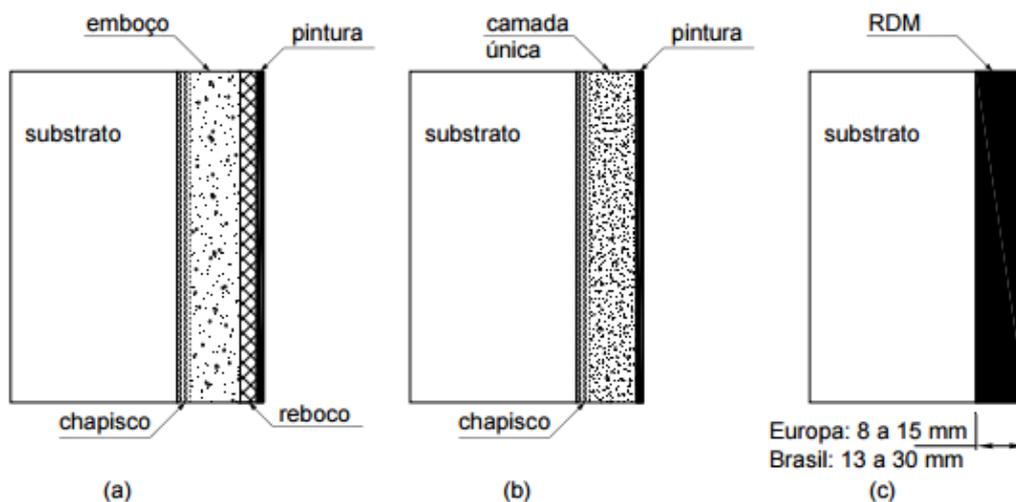
FONTE: blogparaconstruir.com.br (2017).

Segundo Carasek (2007):

- Chapisco: é a camada de preparo da base que possui a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento.
- Emboço: é a camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a base, com o objetivo de proporcionar uma superfície capaz de receber uma outra camada, seja ela de reboco ou revestimento decorativo.
- Reboco: é a camada de revestimento utilizada para cobrir o emboço com o objetivo de proporcionar uma superfície capaz de receber um revestimento decorativo ou que se constitua no acabamento final.
- Camada única: é o revestimento constituído de um único tipo de argamassa aplicado à base, sobre a qual é aplicada uma camada decorativa, como a pintura, por exemplo.
- Revestimento decorativo monocamada: é uma argamassa industrializada em que o revestimento é aplicado em uma única camada e possui as funções decorativa e de regularização, simultaneamente.

A Figura 5 representa a diferença entre três alternativas de revestimento de paredes.

Figura 5: Três alternativas para revestimento de paredes: (a) emboço, reboco e pintura, (b) camada única e pintura; (c) revestimento decorativo monocamada (RDM).



FONTE: Carasek (2007).

A NBR 13749 (ABNT, 2013) estabelece os valores limites para resistência de aderência à tração para os diferentes tipos de revestimentos argamassados de paredes de alvenaria, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1: Limites de resistência de aderência à tração (R_a) para argamassas de paredes.

Local	Acabamento	R_a (Mpa)
Interna	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,20$
	Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
Externa	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,30$
	Cerâmica	$\geq 0,30$

FONTE: ABNT (2013).

2.1.3 Argamassa de contrapiso

As argamassas para execução de contrapiso proporcionam a inclinação necessária aos ambientes, além de corrigir desníveis, embutir tubulações, suportar o revestimento do piso, resistir aos esforços sem apresentar ruptura e complementar os sistemas de impermeabilização. Estas argamassas têm como objetivo propor o acabamento, atendendo às necessidades especificadas em projeto, como resistência à

compressão, à abrasão, ao ataque de agentes químicos etc. (LIRA, 2017). Na Figura 6 observa-se a execução de um contrapiso.

Figura 6: Execução de contrapiso.



FONTE: massareti.com.br (2018)

2.1.4 Argamassa de revestimentos cerâmicos

Também conhecida como argamassa colante, a argamassa de revestimentos cerâmicos possui a função de unir a peça cerâmica ao substrato, além de absorver as deformações naturais aos quais o sistema de revestimento estará sujeito (CARASEK, 2007). A Figura 7 ilustra a execução de revestimento cerâmico com argamassa colante.

Figura 7: Execução de revestimento cerâmico com argamassa colante.



FONTE: duarteconstrucoes.com.br (2011).

2.1.5 Argamassa de rejuntamento

A argamassa de rejuntamento possui a função de vedar as juntas do revestimento cerâmico, além de permitir que as peças possam ser substituídas com maior facilidade, ajustar os defeitos de alinhamento e absorver pequenas deformações deste sistema (CARASEK, 2007). A Figura 8 ilustra a execução do rejuntamento de um revestimento cerâmico.

Figura 8: Rejuntamento de revestimento cerâmico.



FONTE: biancogres.com.br (2018).

2.1.6 Argamassa de recuperação estrutural

As argamassas de recuperação de estruturas de concreto, segundo Carasek (2007) possuem a função de reconstituir a geometria de elementos estruturais em processo de recuperação. A Figura 9 ilustra a utilização argamassa de recuperação estrutural.

Figura 9: Execução de recuperação estrutural com argamassa.



FONTE: diprotec.com.br (2016)

2.2 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

As características das argamassas devem ser analisadas segundo seu estado fresco e endurecido. No estado fresco podem ser analisadas as propriedades de consistência, trabalhabilidade, coesão e tixotropia, retenção de água, densidade de massa e ar incorporado. No estado endurecido, são analisadas a resistência mecânica, capacidade de deformação, permeabilidade e aderência (SILVA, 2010).

2.2.1 Estado fresco

2.2.1.1 Consistência

Consistência é definida como sendo a capacidade que uma argamassa possui de resistir a uma deformação. Os principais fatores que influenciam nesta característica são: a relação água/aglomerante, aglomerante/agregado, a granulometria do agregado e a natureza e a qualidade do aglomerante (SILVA, 2010).

No Brasil, os procedimentos de ensaio para a determinação do índice de consistência de uma argamassa são definidos pela NBR 13276 (ABNT, 2016).

2.2.1.2 Trabalhabilidade

Trabalhabilidade é a propriedade que indica a facilidade com a qual as argamassas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, acabadas e consolidadas em estado homogêneo (ARANHA, 2017).

Afirma-se que uma argamassa é trabalhável quando a mesma se distribui facilmente quando assentada, não segrega durante o transporte, nem gruda na colher de pedreiro durante a aplicação, permanece plástica em um tempo suficiente para a conclusão da operação e não endurece quando entra em contato com superfícies absorptivas (SILVA, 2010).

2.2.1.3 Coesão e Tixotropia

A coesão está relacionada às propriedades físicas de atração entre as partículas sólidas da argamassa e às ligações químicas do aglomerante. (SILVA, 2010).

Segundo o mesmo autor, tixotropia é a propriedade na qual um material sofre reações isotérmicas e reversíveis quando muda do estado sólido para o estado gel.

2.2.1.4 Retenção de água

Retenção de água é definida como sendo a capacidade de uma argamassa manter sua trabalhabilidade quando exposta a situações que favoreçam a perda de água por evaporação ou sucção do substrato, de modo que a água deve permanecer tempo suficiente para que ocorram as reações de hidratação do cimento (SILVA, 2010).

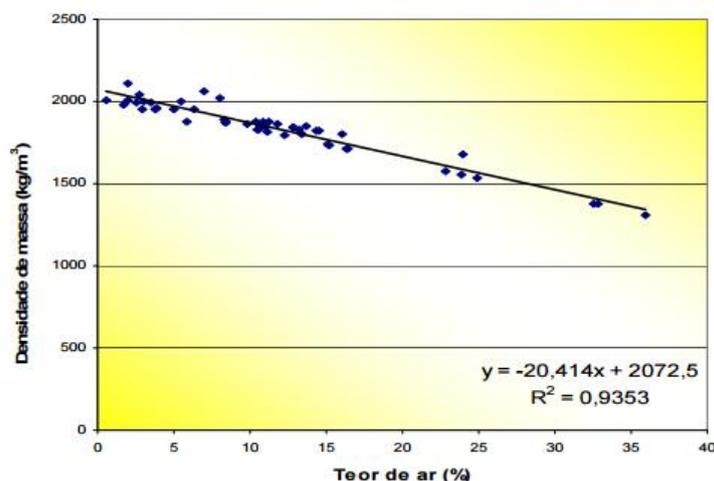
2.2.1.5 Densidade de massa e ar incorporado

A densidade de massa é a razão entre a massa da argamassa que ocupa um determinado recipiente e o seu volume, e é bastante utilizada para avaliar o seu rendimento e a sua influência em outras propriedades da argamassa (SILVA, 2010). A NBR 13278 (ABNT, 2005) é quem normatiza a determinação desta propriedade.

A mesma norma também é utilizada para calcular o ar incorporado na argamassa, de modo que é feita a comparação entre a densidade de massa teórica, que não leva em consideração a existência de vazios, com a densidade de massa medida.

A Figura 10 ilustra a relação entre a densidade de massa e o teor de ar incorporado em argamassas no estado fresco.

Figura 10: Relação entre densidade de massa e teor de ar em argamassas no estado fresco.



FONTE: Carasek (2007)

2.2.2 Estado endurecido

2.2.2.1 Resistência mecânica

Resistência mecânica é definida como a capacidade de um material resistir a esforços de tração, compressão e cisalhamento. Os fatores que influenciam tal propriedade nas argamassas são as características e as porções dos materiais utilizados na mistura sendo diretamente proporcional ao consumo de cimento (SILVA, 2010).

2.2.2.2 Capacidade de deformação

A capacidade de deformação, é a propriedade que a argamassa tem de se deformar devido a aplicação de um esforço sem que haja ruptura podendo retornar às suas dimensões iniciais quando não estiver mais sendo solicitada. Esta capacidade está diretamente relacionada ao módulo de elasticidade da argamassa (SILVA, 2010).

2.2.2.3 Permeabilidade

A permeabilidade é a capacidade que a argamassa endurecida possui de deixar a água fluir, seja infiltrada sob pressão, capilaridade ou difusão por vapor de água. Os principais fatores que influenciam nesta propriedade são a granulometria do agregado, o traço da argamassa e a utilização de aditivos químicos (SILVA, 2010).

2.2.2.4 Aderência

A aderência é a capacidade que a argamassa possui de se manter fixa ao substrato (ARANHA, 2017). É uma das principais propriedades da argamassa e os fatores que a influenciam são as condições do substrato, características e proporção dos materiais utilizados na mistura, técnica de execução entre outros. Também depende de propriedades do estado fresco da argamassa, como retenção de água - consistência e plasticidade, por exemplo (SILVA, 2010).

2.3 VIDRO COMO COMPONENTE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O vidro é o material resultante da fusão de uma mistura de diversos óxidos inorgânicos e possui como principais constituintes a sílica ou o dióxido de silício, que enrijece sem cristalizar após sofrer um processo de resfriamento (RIBEIRO, 2015).

Santos (2016) afirma que as propriedades do vidro dependem da sua composição, permitindo assim um conjunto de propriedades para atender a uma aplicação específica e que a variação dessa composição resulta em uma enorme variedade de tipos de vidro.

Segundo o Portal Resíduos Sólidos (2013) a adição de produtos e variação nos processos de produção determina características como forma, espessura, cor, transparência, resistência mecânica e outras, o que torna o vidro um dos materiais mais versáteis existentes.

Os vidros são classificados quanto a sua composição química em sodo-cálcico, boro-silicato e vidro ao chumbo (ABIVIDRO, 2010). Dentre estes, segundo Ribeiro (2015).

Em entrevista ao portal AECweb (2015), Lucien Belmonte, superintendente da ABIVIDRO (Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro) afirma que o setor da construção civil é o que mais consome vidro plano no Brasil, em torno de 60% do total. O mesmo também afirma que de 2008 a 2014 a fabricação de vidro no mercado nacional aumentou em 114%, devido ao forte investimento no setor.

2.3.1 Reciclagem do vidro

A ABIVIDRO (2015) afirma que nos últimos anos a reciclagem do vidro ganhou força devido aos grandes investimentos para promover e estimular o retorno das embalagens como matéria prima. A mesma também afirma que a reciclagem permite poupar matéria prima e energia, preservando assim a natureza, pois com um quilo de vidro se faz outro quilo de vidro sem emissão de CO₂ no meio ambiente.

Lucien Belmonte, em entrevista ao portal AECweb (2015), afirma que a reciclagem é muito maior no setor de embalagens do que de vidro plano e que no mercado deste existe uma perda geométrica proveniente do corte das chapas – que corresponde a 10% do total. O mesmo também afirma que o vidro é o único produto

com o ciclo todo fechado, ou seja, ao reciclá-lo o produto resultante será o mesmo de antes da reciclagem.

2.3.2 Resíduos do vidro

De fato, percebe-se que o vidro é um material 100% e infinitamente reciclável, porém existem dois tipos de resíduos gerados no processo de fabricação destes materiais que são extremamente perigosos se descartados no meio ambiente. Estes resíduos são em forma de cacos - ou pedaços - que, antes de reciclados, irão passar por um processo de moagem.

A Figura 11 mostra resíduos de uma têmpera de vidros, em forma de cacos, armazenados antes de serem recolhidos e destinados à reciclagem.

Figura 11: Resíduos em forma de cacos armazenados antes de serem destinados à reciclagem.



FONTE: Autoria própria (2018).

Entretanto, existe um outro tipo de resíduo que é denominado pó de vidro e este é proveniente do processo de lapidação das chapas de vidro sodo-cálcicos (vidros planos), que é o processo responsável pela retirada dos acabamentos cortantes, e do processo de furação e recorte das peças (SANTOS, 2016).

Em visita à empresa Vidro Center Temperados, localizada na cidade de Campina Grande – PB, verificou-se que, embora a empresa utilize máquinas com tecnologias

avançadas - que aproveitam a maior área possível das chapas de vidro antes do corte a fim de reduzir os desperdícios -, a mesma produz cerca de 2,5 toneladas mensais de resíduos em forma de cacos e 2 toneladas do resíduo de pó de vidro proveniente das lapidadoras, para uma fabricação de cerca de 8.000 m² de vidro temperado.

A Figura 12 mostra a água contaminada com pó de vidro proveniente do processo de lapidação das chapas.

Figura 12: Água contaminada com pó de vidro proveniente do processo de lapidação das chapas.



FONTE: Autoria própria (2018).

Esse resíduo, segundo a Associação Nacional de Vidraçarias - ANAVIDRO (2016) não possui serventia para a indústria vidreira devendo, portanto, ser tratado antes do descarte em aterros industriais. Contudo, pesquisas apontam que esse material pode ser utilizado como matéria prima em argamassas e cerâmicas (ANAVIDRO, 2016).

A Figura 13 ilustra o resíduo de pó de vidro que é descartado pela empresa visitada.

Figura 13: Resíduo de pó de vidro descartado no meio ambiente.

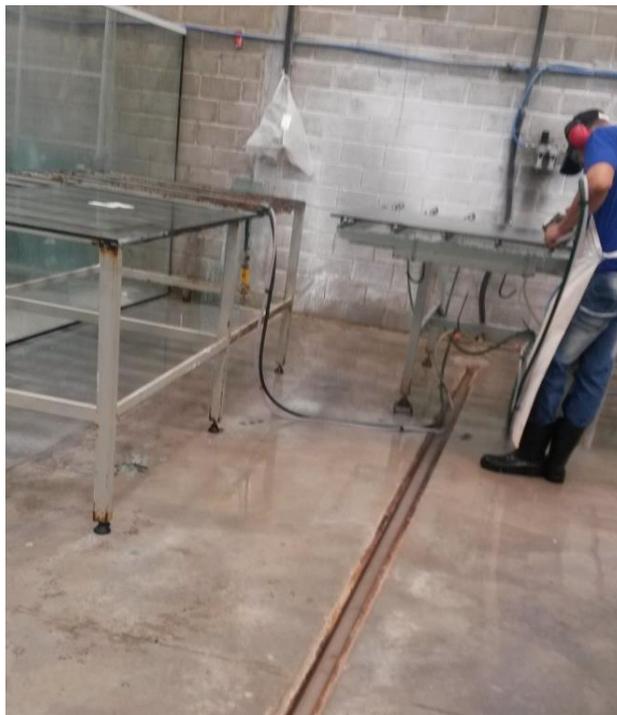


FONTE: Autoria própria (2018).

A fim de amenizar o consumo de água e reduzir a quantidade de água contaminada com o pó de vidro despejada no meio ambiente, a empresa possui dois pequenos tanques para fazer o tratamento da lama que sai contaminada com o pó de vidro, de modo que ela escoar por algumas canaletas instaladas no chão da indústria e é levada ao primeiro tanque, onde o pó decanta e o restante passa para um segundo tanque onde a água é armazenada para que possa ser reutilizada no processo de lapidação das chapas, essa água é reutilizada cerca de duas vezes.

As Figuras 14, 15 e 16 ilustram as canaletas instaladas para escoamento, o tanque de decantação da água contaminada com pó de vidro e o tanque que armazena a água que será reutilizada no processo, respectivamente.

Figura 14: Canaletas instaladas no piso da indústria para o escoamento da água contaminada com pó de vidro.



FONTE: Autoria própria (2018).

Figura 15: Tanque para decantação do resíduo de pó de vidro.



FONTE: Autoria própria (2018).

Figura 16: Tanque que armazena a água que será reutilizada no processo após a decantação.



FONTE: Autoria própria (2018).

Severo et al., (2016) utilizou o mesmo resíduo, proveniente da mesma empresa, em sua pesquisa e realizou a sua composição química conforme pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2: Composição química do pó de vidro sem tratamento.

Pó de vidro (sem tratamento)	SiO ₂ (%)	CaO(%)	Na ₂ O(%)	MgO(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Outros(%)
	69,73	12,20	11,77	3,61	1,88	0,81

FONTE: Severo et al., (2016).

2.4 APLICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE VIDRO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

As aplicações de resíduos de vidro em compostos de cimento Portland são possíveis pelo fato deste possuir uma natureza pozolânica, ou seja, quando utilizadas com o cimento Portland reagem com o hidróxido de cálcio na presença de água e forma compostos resistentes (RIBEIRO, 2015).

Várias pesquisas foram e vêm sendo desenvolvidas ao longo dos últimos anos neste âmbito, seja através da substituição parcial do resíduo pelo cimento Portland ou

pelo agregado miúdo na mistura. Thorns (2018) afirma que estamos utilizando tanta areia que ela realmente pode acabar e alerta para uma próxima crise de sustentabilidade. A mesma também certifica que somente no setor da construção civil são consumidos cerca de 25 bilhões de toneladas de areia e cascalho por ano, mas que isto não é tão surpreendente se comparar que tudo ao seu redor provavelmente tem este material em sua composição.

Filogônio et al., (2014) realizaram a caracterização da lama proveniente do processo de lapidação de vidros para a formulação de produtos de cerâmica vermelha e verificaram que o resíduo tem potencial, pois acelera o processo de densificação durante a queima, facilitando a formação vítrea e possibilitando a produção de um material com potencial para ser utilizado na construção civil.

Licurgo, Vieira & Monteiro (2014) também estudaram a adição do pó de vidro na fabricação de cerâmicas vermelhas, em substituição parcial da argila, e observaram que incorporações com 20% de resíduo apresentam uma melhor combinação de resultados, proporcionando redução da absorção de água e aumento da resistência à ruptura por flexão.

Ribeiro (2015) concluiu que as características nos estados fresco e endurecido das argamassas com o pó de vidro em substituição parcial do cimento foram semelhantes a argamassa de referência e que isto favorece o uso das argamassas com a incorporação deste resíduo. O mesmo também observou que a resistência à compressão foi superior nas idades de 63 e 91 dias e que a substituição de 20% do cimento na argamassa se mostrou a mais vantajosa, possibilitando uma economia de cimento de 74 kg/m³ de argamassa.

Santos (2016) estudou a influência da incorporação do pó de vidro em argamassa colante e concluiu que a substituição parcial do cimento e do agregado miúdo pelo resíduo não resultou em uma melhora considerável, entretanto, também não resultou em perdas significativas quando comparado a argamassa de referência.

Hespanhol & Alexandre (2016) estudou o desenvolvimento de uma argamassa colante com o resíduo de pó de vidro em substituição parcial do cimento e da areia e verificou que ambas incorporações geram argamassas capazes de serem utilizadas. Além disso, eles afirmam que a presença de água fez com que a aderência aumentasse

quando o resíduo substituíu o agregado miúdo, o que não ocorreu com a presença de temperatura na cura em estufa.

Oliveira et al., (2012) estudou o desenvolvimento de uma argamassa substituindo o agregado miúdo pelo resíduo de vidro moído. Verificou-se que há uma semelhança entre as curvas granulométricas da areia e do resíduo e que até 20% de substituição do agregado pelo resíduo é tecnicamente viável. Eles concluíram também que, na produção de argamassa, a incorporação do resíduo produziu resultados melhores e satisfatórios, quando comparados com os corpos de prova utilizados como referência.

Costa & Silva, Maranhão & Alencar (2017) também estudaram a utilização do resíduo de pó de vidro em substituição parcial e total do agregado na produção de argamassas direcionadas a revestimento de alvenaria. Eles observaram que, no estado fresco, a argamassa possuía menor densidade e maior índice de consistência e, no estado endurecido, os valores das resistências foram ligeiramente superiores às de referência, o que pode ser justificado pelo efeito pozolânico do resíduo.

Sauer (2013) estudou a potencialidade da aplicação de resíduos de vidro moídos em argamassa de concreto estrutural, em substituição ao cimento, e verificou que não surtiu efeitos positivos nas argamassas de recuperação estrutural, porém também não houveram perdas significativas nas propriedades físicas e mecânicas, demonstrando similaridade entre as argamassas na maioria dos casos. A mesma concluiu que o resíduo tem potencial utilidade neste âmbito, indicando a viabilidade da substituição de materiais como a sílica ativa pelo resíduo.

Antônio (2012) verificou as potencialidades do aproveitamento do pó de vidro na produção de concretos e afirma que a substituição do cimento pelo resíduo não surtiu efeitos positivos, porém também não houveram perdas significativas nas propriedades físicas e mecânicas com relação ao traço de referência. A mesma concluiu que é possível a utilização do resíduo neste âmbito, desde que seja feito um controle com relação aos teores utilizados e que a sua aplicação só seria viável em concretos com a inserção de aditivos que retardassem sua pega.

2.5 REAÇÃO ÁLCALI-SÍLICA

A reação álcali-sílica ou, de forma mais geral, álcali-agregado é o fenômeno no qual as partículas de cimento Portland sofrem expansão e fissuração devido às reações

químicas, na presença de umidade, entre os álcalis e os íons de hidroxila da pasta de cimento com certos minerais encontrados nos agregados (RIBEIRO, 2015).

O mesmo afirma que, dependendo do tempo, da temperatura e da dimensão das partículas, todos os silicatos, minerais de sílica ou sílica em estado amorfo – como é o caso do pó de vidro – podem reagir com as soluções alcalinas da pasta de cimento. Este fenômeno também depende do consumo de cimento nas misturas e das quantidades de álcalis presentes no aglomerante.

Ele também indica que o uso de materiais pozolânicos em substituição ou como adição ao cimento, influenciado por condições de umidade e temperatura, podem atuar no controle da expansão devido à reação álcali-sílica.

A adição de vidro finamente moído ($<75\mu\text{m}$) no concreto produzido resultou na melhoria de suas propriedades mecânicas em função das reações pozolânicas e, para maiores granulometrias, o concreto apresentava problemas de expansão devido à reação álcali-sílica. (Ribeiro, 2015)

Matos & Sousa-Coutinho (2012), Shyan & Xu (2006) e Shi *et al.*, (2005) mostram a atuação dos resíduos de vidro como supressores da reação álcali-sílica, reduzindo significativamente a expansão em argamassas e concretos.

Portanto, deve-se atentar que, dependendo da granulometria e quantidade de incorporação do resíduo de pó de vidro nas misturas, a reação álcali-sílica pode ser potencializada devido a presença de álcalis no cimento e de sílica no resíduo ou que a argamassa pode melhorar suas propriedades pela atividade pozolânica do resíduo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Os materiais usados na pesquisa serão:

- Cimento: O cimento utilizado na pesquisa foi o CP II Z 32 de massa específica de $2,91 \text{ g/cm}^3$ e módulo de finura de 2,84%.
- Agregado miúdo: Areia quartzosa retirada do leito do Rio Paraíba com módulo de finura de 2,42%, diâmetro máximo de 2,36 mm, massa específica de $2,618 \text{ g/cm}^3$, massa unitária no estado solto de $1,429 \text{ g/cm}^3$ e teor de materiais pulverulentos de 0,07%;
- Cal: Cal hidratada dolomítica, apresentando como principais compostos o óxido de cálcio e óxido de magnésio, sem partículas superiores a $100 \mu\text{m}$, significando que a cal possui um elevado teor de finos, apresentando para o diâmetro de $5 \mu\text{m}$ um percentual de 54,30%;
- Água: Destinada ao consumo humano fornecido pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA);
- Pó de vidro: Será utilizado o pó de vidro proveniente do processo de lapidação de uma fábrica local de vidros temperados com módulo de finura de 2,84%, diâmetro máximo de 0,6 mm, massa específica de $2,50 \text{ g/cm}^3$ e massa unitária no estado solto de $0,83 \text{ g/cm}^3$.

3.2 MÉTODOS

A metodologia utilizada para realização da pesquisa está descrita a seguir:

Inicialmente foi realizado o estudo da dosagem, visando obter as propriedades exigidas pelas normas da ABNT. Sequencialmente foram determinados os teores de pó de vidro a serem utilizados e procedeu-se com a moldagem dos corpos de prova.

Para a moldagem dos corpos de prova, foi utilizado o traço 1:2:9 (cimento:cal:areia) e um fator água/cimento igual a 2,18. Foram utilizados teores de incorporação de 20 e 30% de pó de vidro em substituição ao agregado miúdo. Os dados para a moldagem dos corpos de prova para os ensaios estão nas Tabelas

Tabela 3: Quantidade de material necessária para a moldagem de um corpo de prova.

Argamassa	Cimento (g)	Cal (g)	Areia (g)	VIDRO EM PÓ (g)	Água (mL)
REFERÊNCIA	33	66	296,96	0	71,93
20% VIDRO	33	66	237,57	59,39	71,93
30% VIDRO	33	66	207,87	89,09	71,93

FONTE: Autoria própria (2018).

Para o ensaio de resistência à compressão simples, foram moldados 3 corpos de prova para cada tipo de argamassa e para as idades de 7, 14 e 28 dias. Já para o ensaio de absorção por imersão, foram utilizados 2 fragmentos dos corpos de prova após a execução do ensaio de resistência à compressão simples para as mesmas idades.

3.2.1 Moldagem dos corpos de prova

Foram moldados corpos de prova cilíndricos com dimensões de 5cm x 10cm. A moldagem seguiu os procedimentos previstos na NBR 7215 (ABNT, 1997), sendo a colocação da argamassa feita em quatro camadas, aplicando 30 golpes uniformes com soquete normal em cada camada. Após 24 horas da moldagem, os mesmos foram desmoldados, identificados e colocados na areia úmida.

Figura 17: Moldagem dos corpos de prova de argamassa.



FONTE: Autoria própria (2018).

Figura 18: Corpos de prova de argamassa desmoldados e identificados.



FONTE: Autoria própria (2018).

Os procedimentos de moldagem e desmoldagem e cura dos corpos de prova da argamassa em estudo foram realizados no Laboratório de Solos II da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande.

3.2.2 Determinação das propriedades físicas e mecânicas das argamassas

3.2.2.1 Absorção de água por imersão

Ensaio realizado com o intuito de determinar a absorção de água, por meio de imersão, das argamassas em seu estado endurecido. O mesmo é regido pela NBR 9778 (ABNT, 2009).

Para a realização do ensaio foi necessário realizar pesagens das amostras nos estados saturado (M_{sat}) e seco em estufa (M_s).

Figura 19: Amostras imersas em água para realização do ensaio de absorção.



FONTE: Autoria própria (2018).

Figura 20: Amostras secas em estufa para realização do ensaio de absorção.



FONTE: Autoria própria (2018).

3.2.2.2 Resistência à compressão simples

Técnica utilizada para a verificação da resistência à compressão de argamassas feitas de cimento Portland, em seu estado endurecido. Todo o procedimento é feito através de uma adaptação da NBR 7215 (ABNT, 1997), que especifica a determinação de resistência à compressão de cimento Portland, e que foi modificada para a mensuração desta propriedade em argamassas. A prensa utilizada para realização deste ensaio deve atuar a uma velocidade de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s, como preconiza a NBR 7215 (ABNT, 1997).

Figura 21: Ensaio de resistência à compressão simples com prensa axial.



FONTE: Autoria própria (2018).

Figura 22: Ruptura de um dos corpos de prova de argamassa submetido ao ensaio de resistência à compressão simples.



FONTE: Autoria própria (2018).

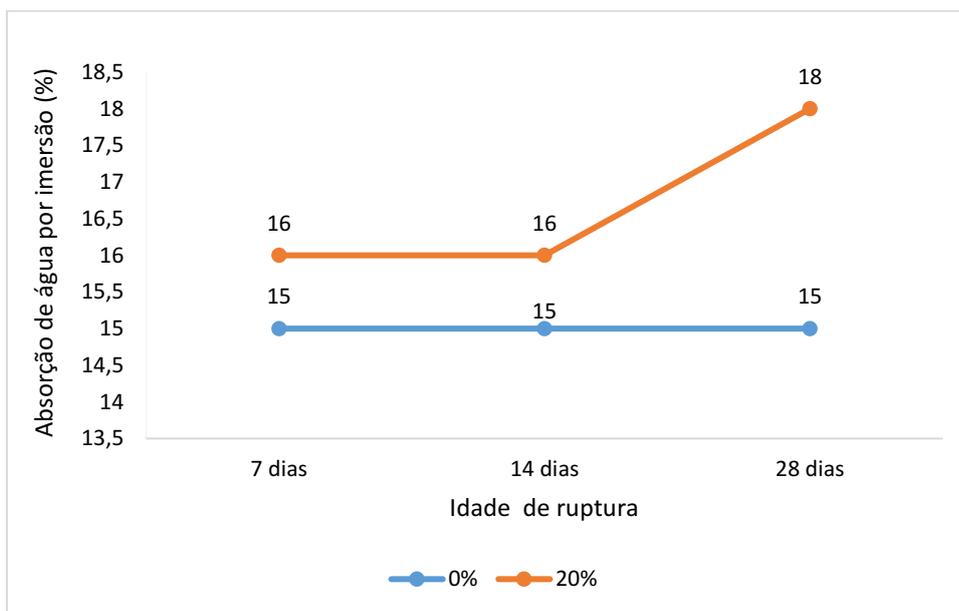
Os ensaios realizados para determinação das propriedades físicas e mecânicas das argamassas estudadas nessa pesquisa foram realizadas no Laboratório de Engenharia de Pavimentos da Universidade Federal de Campina Grande.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO

A Figura 23 apresenta os resultados obtidos para a absorção de água por imersão da argamassa de referência e para a argamassa incorporada com 20% de pó de vidro em substituição do agregado miúdo.

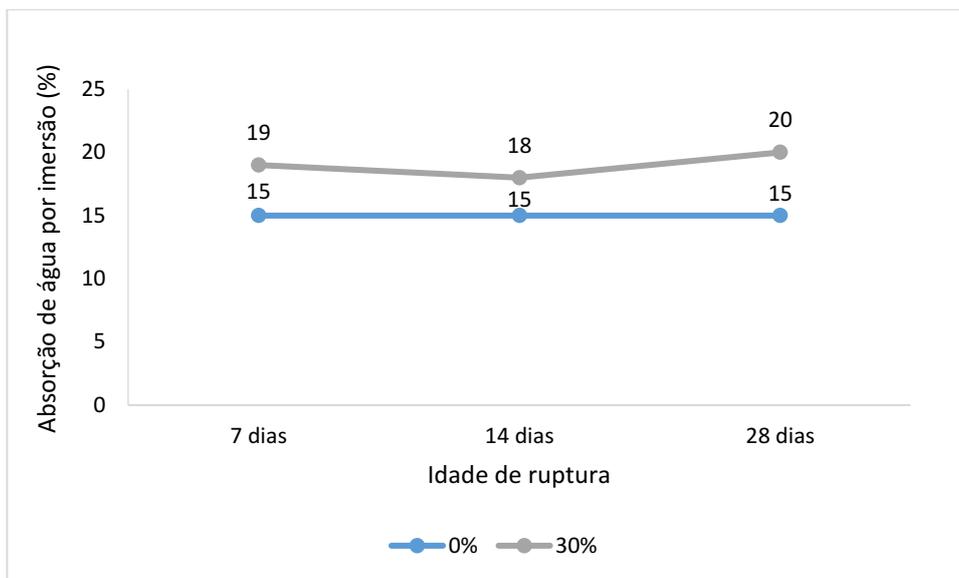
Figura 23: Ensaio de absorção de água por imersão para argamassa com incorporação de 20% de pó de vidro.



Conforme resultados obtidos, verifica-se que há um aumento nos índices de absorção de água para argamassa com incorporação de 20% de pó de vidro em substituição do agregado miúdo quando comparada a argamassa de referência. Enquanto a argamassa de referência manteve-se constante com 15% de absorção em todas as idades, houve um aumento a um teor de 7% para as idades de 7 e 14 dias e 20% para 28 dias.

A Figura 24 apresenta os resultados do ensaio de absorção de água por imersão de argamassas incorporadas com 30% de pó de vidro.

Figura 24: Ensaio de absorção de água por imersão para argamassa com incorporação de 20% de pó de vidro.



Conforme resultados apresentados na Figura 24, observa-se que também há um aumento nos índices de absorção de água para argamassa com incorporação de 30% de pó de vidro em substituição do agregado miúdo quando comparada a argamassa de referência. Aos 7 dias o aumento foi de 27% - quase o quádruplo do aumento proporcionado pela substituição de 20% do agregado miúdo por pó de vidro. Já aos 28 dias, o pó de vidro proporcionou um aumento de 33% na absorção.

O aumento da absorção de água devido à incorporação do pó de vidro ocorre devido à característica higroscópica deste resíduo, de modo que o mesmo absorve água e não a libera. Este aumento também está relacionado à finura do material, conforme observou-se em sua granulometria, possui um diâmetro máximo bastante inferior ao da areia, fazendo-se necessário um maior consumo de água para envolver as partículas.

Observou-se ainda na execução da mistura da argamassa que o pó de vidro apresentou uma maior absorção de água, pois, mantendo-se constante o traço e o fator água/cimento, a mistura mostrou-se mais difícil de ser executada e a argamassa passava a ter um aspecto de “farofa” conforme o aumento da incorporação do resíduo.

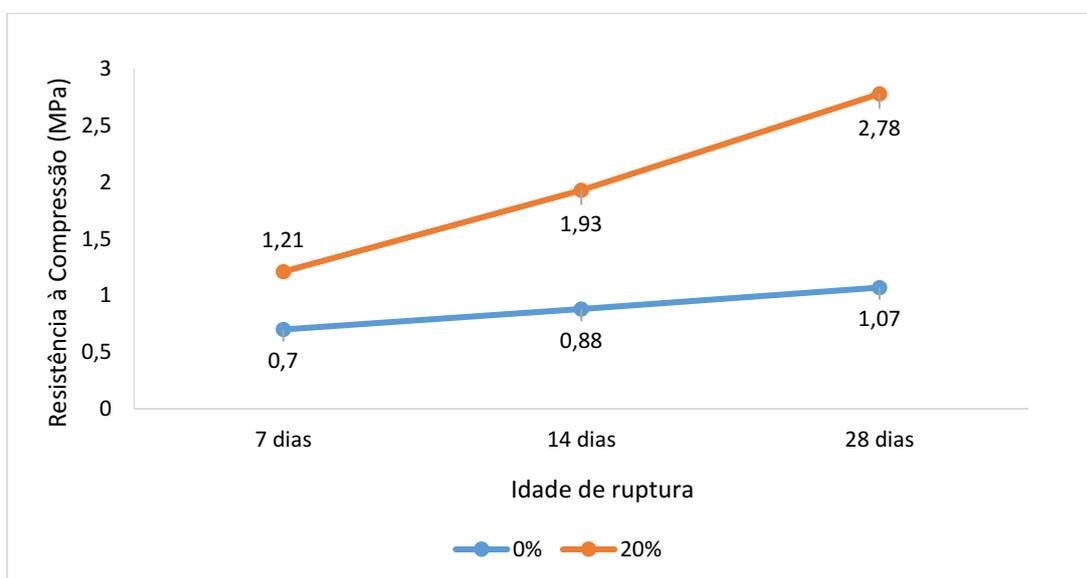
Os dados obtidos justificam corroboram Santos (2016), que avaliou a absorção de água com 10% e 15% deste mesmo resíduo e observou que o crescimento da absorção seria natural conforme o aumento da incorporação do pó de vidro, pois ocorre

um aumento na área superficial dos componentes da mistura fazendo com que a água livre fique adsorvida nas partículas.

4.2 AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ARGAMASSAS

A Figura 25 apresenta os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão simples para as argamassas incorporadas com 20% de pó de vidro em substituição do agregado miúdo demonstram um aumento bastante considerável na resistência, quando comparado com a argamassa de referência.

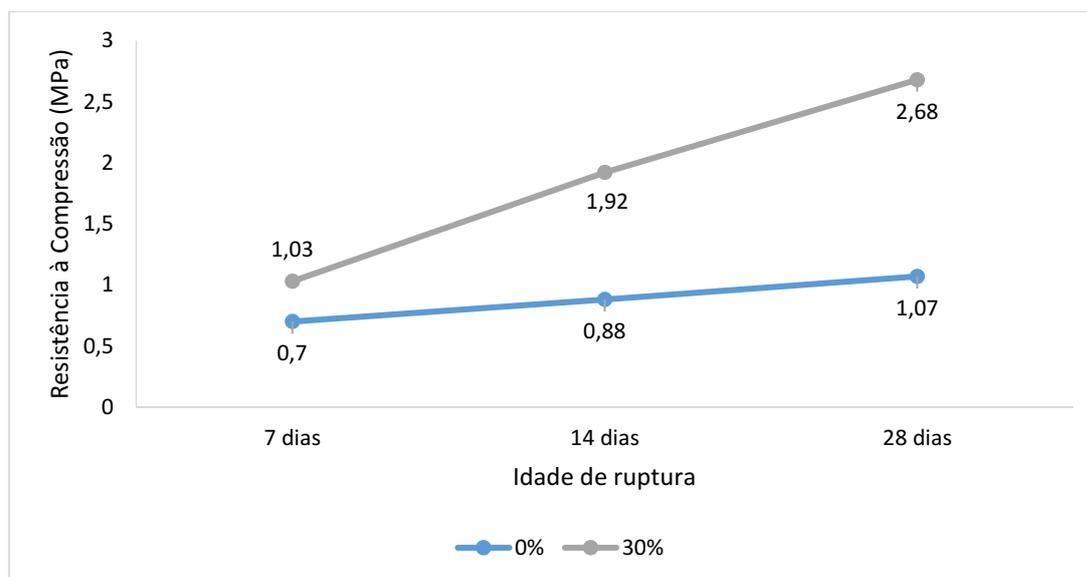
Figura 25: Ensaio de resistência à compressão simples para argamassa com incorporação de 20% de pó de vidro.



Pode-se observar que, na argamassa com 20% de teor de incorporação, aos 7 dias a resistência à compressão simples já era 73% maior e que aos 14 e 28 dias já era mais que o dobro quando comparada à argamassa de referência.

A Figura 26 mostra os resultados obtidos para argamassas com 30% de teor de incorporação do pó de vidro em substituição do agregado miúdo.

Figura 26: Ensaios de resistência à compressão simples para argamassa com incorporação de 20% de pó de vidro.



Observa-se que houve uma diminuição na resistência à compressão simples considerando a argamassa com 20% de incorporação, sendo esta mais considerável aos 7 dias. Contudo, ainda se obteve resultados consideravelmente superiores aos da argamassa de referência, especificamente aos 14 e 28 dias que ainda ultrapassa o dobro.

Esses resultados mostram que a incorporação do pó de vidro gera um aumento considerável na resistência à compressão simples das argamassas, conforme observado também por Costa & Silva; Maranhão & Alencar (2017), que estudaram a utilização do resíduo de pó de vidro em substituição parcial e total do agregado na produção de argamassas direcionadas a revestimento de alvenaria.

O aumento na resistência está diretamente relacionado à composição química do material, que possui um elevado teor de sílica, gerando uma interação química entre o resíduo e a matriz cimentícia, o que potencializa a reação pozolânica da mistura.

Porém, deve-se analisar até que ponto esta incorporação pode ser benéfica, pois, conforme houve um aumento no teor de incorporação do resíduo, a resistência passou a diminuir. Essa redução deu-se pelo aumento da absorção de água, pois quanto maior ela for, menor será a quantidade de água disponível para a hidratação do cimento.

Logo, imagina-se que misturas com teores inferiores aos que foram testados possam gerar resultados ainda mais satisfatórios no que diz respeito à compressão

simples, pois tenderá a diminuir a absorção de água e, provavelmente, aumentar a resistência da argamassa.

As argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos quanto são classificadas quanto a sua resistência à compressão simples segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005), conforme Tabela 3.

Tabela 4: Classificação de argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos quanto a resistência à compressão.

Classe	Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	Método
P1	≤ 2,0	ABNT NBR 13279
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	> 8,0	

FONTE: ABNT (2005).

As resistências à compressão aos 28 dias encontradas nos ensaios foram de 2,78 e 2,68 MPa, para as incorporações de 20 e 30% de pó de vidro, respectivamente. Ambos resultados se enquadram como argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos classe P3.

Oliveira, Brito & Veiga (2013) estudaram incorporações de 5%, 10% e 15% de pó de vidro em argamassas de revestimento cimentícias e obtiveram melhoras nas resistências mecânicas à medida em que foi-se adicionando o material para 28 e 90 dias de idade. As melhoras obtidas com as incorporações também foi de cerca do dobro.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os estudos realizados referentes ao uso do pó de vidro proveniente do resíduo do processo de lapidação em substituição parcial do agregado miúdo natural em argamassas, chegou-se às seguintes conclusões:

- Analisando as propriedades físicas e mecânicas analisadas para os teores de 20% e 30% de incorporação de pó de vidro em substituição ao agregado miúdo, foi possível observar que a argamassa com incorporação de 20% de pó de vidro apresentou um melhor desempenho quando comparada a de 30%, pois o aumento na absorção de água foi menor e obteve-se valores de resistência à compressão simples superiores;
- A substituição parcial do agregado miúdo por pó de vidro gerou um aumento da absorção de água em relação com a argamassa de referência, apresentando uma maior absorção no teor de 30% de incorporação. Portanto, quanto maior o teor de incorporação do resíduo, maior será a absorção de água e, provavelmente, isto influenciará negativamente nas propriedades mecânicas da mistura. Portanto, é de suma importância que se faça testes com teores de incorporação superiores para que esta hipótese seja verificada;
- Observou-se ainda que, durante a mistura, a incorporação do pó de vidro alterou consideravelmente o aspecto físico da argamassa, de modo que, as mesmas passaram a apresentar um aspecto de “farofa” semelhante às argamassas utilizadas para execução de contrapisos;

5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Avaliar a resistência ao ataque por sulfatos de argamassas incorporadas com pó de vidro;
- Analisar a resistência à ação da chuva e do sol de argamassas com incorporação de pó de vidro;
- Avaliar a microestrutura de argamassas incorporadas com pó de vidro;
- Analisar a trabalhabilidade de argamassas incorporadas com pó de vidro;
- Avaliar a aderência à tração e a resistência ao arrancamento de argamassas incorporadas com pó de vidro.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **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, 2005.

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

AECweb. **Fabricação de vidros no Brasil cresce 114% em seis anos**. [S.I.], 2015. Disponível em: < https://www.aecweb.com.br/ent/cont/n/fabricacao-de-vidros-no-brasil-cresce-114-em-seis-anos_197_10540>. Acesso em: 21 de maio de 2018.

Alvarenga, Darlan. **Construção civil se retrai em 2017 e segura recuperação da economia**. [S.I.], 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/construcao-civil-se-retrai-em-2017-e-segura-recuperacao-da-economia.ghtml>>. Acesso em: 21 de abril de 2018.

Antônio, Aline Pignaton. **Potencialidades do aproveitamento do resíduo de estação de tratamento de efluentes do processo de lapidação do vidro sodo-cálcico na produção de concretos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Espírito Santo, 163fls, 2012.

Aranha, Felipe de Brito. **Estudo da aderência incorporada com politereftalato de etileno micronizado**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade Federal de Campina Grande, 63fls, 2017.

Associação Nacional de Vidraçarias. **Aprenda como reciclar e descartar cacos e pó de vidro**. São Paulo – SP, 2016. Disponível em: <<http://www.anavidro.com.br/aprenda-como-reciclar-e-descartar-cacos-e-po-de-vidro/>>. Acesso em: 21 de maio de 2018

Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro. **Guia: Reciclagem do Vidro**. [S.I.], 2015. Disponível em: <https://abividro.org.br/manual_abividro.pdf>. Acesso em: 21 de maio de 2018.

Carasek, Helena. Argamassas. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. ISAIA, GC (Organizador/Editor). São Paulo: IBRACON, 2007.

Costa e Silva, Angelo Just da; Maranhão, Amanda Gabriela Dias; Alencar, Luiz Antônio Araújo Coelho. **Estudo do uso do resíduo de pó de vidro em substituição do agregado para argamassas**. Conferência Nacional de Patologia e Recuperação de Estrutura – CONPAR, Recife – PE, 2017.

Filogônio, P. H. C. et al. **Caracterização da lama da lapidação de vidros sodo-cálcicos para a formulação de produtos de cerâmica vermelha.** Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Cuiabá – MT, 2014.

Hespanhol, Luana Ribeiro; Alexandre, Jonas. **Desenvolvimento de argamassa colante com agregado de pó de vidro.** VIII Congresso Fluminense de Iniciação Científica e Tecnológica, Campos dos Goytacazes - RJ, 2016.

Licurgo, Juliana Simões Chagas; Vieira, Carlos Maurício Fontes. **Aproveitamento de resíduo da etapa de lapidação de vidro em cerâmica vermelha.** 70º Congresso Anual da ABM, Rio de Janeiro – RJ, 2015.

Licurgo, J. S. C.; Vieira, C. M. F.; Monteiro, S. N. **Aproveitamento de resíduo da etapa de lapidação de vidro em cerâmica vermelha.** Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes – RJ, 2014.

Lira, Matheus Oliveira. **Aplicação da MEV na investigação da distribuição de partículas de PET micronizado em argamassa para revestimento e assentamento.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade Federal de Campina Grande, 63fls, 2017.

Oliveira, Maria Cleide Ribeiro de et al. **Argamassa produzida com resíduo de vidro substituindo o agregado miúdo.** VII Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, Palmas – TO, 2012.

Oliveira, Renata; Brito, Jorge de; Veiga, Rosário. **Incorporação de agregados finos de vidro em argamassa.** Teoria e Prática na Engenharia Civil, n. 21, p. 25-39. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2013.

Portal Resíduos Sólidos. **Definição de Resíduos da Construção Civil no Brasil.** [S.I.], 2015. Disponível em: <<https://portalresiduossolidos.com/definicao-de-residuos-da-construcao-civil-no-brasil/>>. Acesso em: 17 de maio de 2018.

Portal Resíduos Sólidos. **Reciclagem de vidro.** [S.I.], 2013. Disponível em: <<https://portalresiduossolidos.com/reciclagem-de-vidro/>>. Acesso em: 17 de maio de 2018.

Ribeiro, Anderson Osvaldo. **Estudo de resíduo da lapidação de vidro para incorporação em argamassas de cimento Portland.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Uberlândia, 87fls, 2015.

Santos, Diogo Pereira dos. **Influência do resíduo de vidro nas propriedades de uma argamassa colante.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual do Norte Fluminense, 135fls, 2016.

Sauer, Aline Silva. **Estudo do potencial de aplicação do resíduo de vidro laminado em argamassa de recuperação estrutural.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Espírito Santo, 180fls, 2013.

Severo, W. K. G. et al. **Estudo da peneira molecular SBA-15 preparada com pó de vidro como fonte de sílica alternativa.** Congresso Brasileiro de Cerâmica, Águas de Lindóia – SP, 2016.

Silva, João; De Brito, J.; Veiga, R. **Recycled red-clay ceramic construction and demolition waste for mortars production.** *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 22, n. 3, p. 236-244, 2010.

Thorns, Ella. **A próxima crise da sustentabilidade: nós estamos usando tanta areia que ela pode realmente acabar [The Next Sustainability Crisis: Humans Are Using So Much Sand That We May Actually Run Out].** [S.l], 2018. Traduzido por: Souza, Eduardo. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/893075/a-proxima-crise-da-sustentabilidade-nos-estamos-usando-tanta-areia-que-ela-pode-realmente-acabar>>. Acesso em: 23 de maio de 2018.

ANEXOS

Anexo A: Resistência a compressão simples de corpos de prova para a idade de 7 dias.

Resistência à Compressão Simples (MPa) - 7 dias					
% Pó de Vidro	CP	Res. Compressão (MPa)	Res. Compressão Média (MPa)	Desvio Relativo	Nova Res. Comp. Média (MPa)
0%	1	0,74	0,7	5,7%	0,7
	2	0,69		1,4%	
	3	0,68		2,9%	
20%	1	1,09	1,17	6,8%	1,21
	2	1,23		5,1%	
	3	1,19		1,7%	
30%	1	1,17	1,07	9,3%	1,03
	2	1,04		2,8%	
	3	1,01		5,6%	

FONTE: Autoria própria (2018).

Anexo B: Resistência a compressão simples de corpos de prova para a idade de 14 dias.

Resistência à Compressão Simples (MPa) - 14 dias					
% Pó de Vidro	CP	Res. Compressão (MPa)	Res. Compressão Média (MPa)	Desvio Relativo	Nova Res. Comp. Média (MPa)
0%	3	0,86	0,88	2,3%	0,88
	4	0,90		2,3%	
	5	0,88		0,0%	
20%	3	1,8	1,99	9,5%	1,93
	4	1,93		3,0%	
	5	2,23		12,0%	
30%	3	1,7	1,88	9,6%	1,92
	4	2,01		6,9%	
	5	1,92		2,1%	

FONTE: Autoria própria (2018).

Anexo C: Resistência a compressão simples de corpos de prova para a idade de 28 dias.

Resistência à Compressão Simples (MPa) - 21 dias					
% Pó de Vidro	CP	Res. Compressão (MPa)	Res. Compressão Média (MPa)	Desvio Relativo	Nova Res. Comp. Média (MPa)
0%	7	1,13	1,07	5,6%	1,07
	8	1,03		3,7%	
	9	1,04		2,8%	
20%	7	3	2,78	7,9%	2,78
	8	2,56		7,9%	
	9	2,78		0,0%	
30%	7	2,68	2,53	5,9%	2,68
	8	1,99		21,3%	
	9	2,92		15,4%	

FONTE: Autoria própria (2018).

Obs.:

	Segundo a NBR 7215 (1997), se o desvio absoluto for superior a 6%, desconsiderar amostra e fazer média com demais amostras.
--	---