

## DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSA MÚLTIPLO-USO COM INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO DE VIDRO\*

Mariana Gomes Pinto Cherene<sup>1</sup>  
Marilucia dos Santos Silva<sup>1</sup>  
Diogo Pereira dos Santos<sup>2</sup>  
Afonso Rangel Garcez de Azevedo<sup>3</sup>  
Markssuel Teixeira Marvila<sup>4</sup>  
Sergio Neves Monteiro<sup>5</sup>  
Lúcio José Terra Petrucci<sup>6</sup>

### Resumo

O aproveitamento de resíduo de vidro, vem sendo pesquisado a fim de minimizar os impactos gerados por ele. Diante disso, é possível identificar avanços significativos em relação à utilização de resíduo de vidro em matrizes cimentícias, favorecendo a destinação sustentável do resíduo e diminuição do consumo de cimento, em função da sua substituição parcial. Foram apresentados nesse trabalho resultados do aproveitamento do resíduo de vidro com substituição em massa, em frações de 0, 5, 10, 15 e 20% em relação ao cimento nas argamassas múltiplo-uso. Para as argamassas produzidas foram avaliados o índice de consistência, teor de ar incorporado, densidade e retenção de água. Diante dos resultados, permite-se concluir que a utilização do resíduo como adição em argamassas, proporcionou resultados que manteve proporcional a quantidade de água e a de resíduo adicionado e que o aumento do teor de ar incorporado trás como consequência a redução da massa específica.

**Palavras-chave:** Argamassa; Sustentável; Resíduo.

## DEVELOPMENT OF MULTIPLE MORTAR-USE WITH INCORPORATION OF GLASS RESIDUE

### Abstract

The use of glass residue has been researched in order to minimize the impacts generated by it. In view of this, it is possible to identify significant advances in the use of glass residue in cement matrixes, favoring the sustainable destination of the waste and reducing the consumption of cement, due to its partial replacement. Results of the use of the glass residue with mass substitution in fractions of 0, 5, 10, 15 and 20% in relation to the cement in the multiple-use mortars were presented. For the mortars produced, the consistency index, incorporated air content, density and water retention were evaluated. In view of the results, it can be concluded that the use of the residue as an addition in mortars, provided results that kept proportional the amount of water and that of added residue and that the increase of the incorporated air content consequently reduces the specific mass.

**Keywords:** Mortar; Sustainable; Residue.

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Candido Mendes, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Civil, doutorando em Estruturas, LECIV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro Civil, doutor em Estruturas, TER, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil.

<sup>4</sup> Engenheiro Civil, mestre em Estruturas, LECIV, UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

<sup>5</sup> Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade da Flórida, Gainesville, Flórida, Estados Unidos

<sup>6</sup> Engenheiro Civil, mestre e Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Candido Mendes, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A realização de ações voltadas para o desenvolvimento sustentável é incontestável. Através do aprimoramento da tecnologia é possível reciclar diferentes resíduos e subprodutos oriundos de outras indústrias e inseri-los em substituição ao uso dos recursos naturais no desenvolvimento de materiais construtivos. Dentre os benefícios obtidos na reciclagem, podem ser citados a redução do consumo de recursos naturais não renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados; redução do consumo de energia durante o processo de produção; e redução da poluição ao emitir menor consumo de gás carbônico a partir da diminuição do uso do Cimento Portland. [1]

A construção civil pode ocupar um papel de destaque no processo de desenvolvimento sustentável devido ao seu elevado potencial como indústria recicladora. O mesmo considera que o setor é um dos que mais apresenta possibilidades de aproveitamento de grandes quantidades de subprodutos industriais, pois sua cadeia produtiva abrange diferentes etapas e consome significativo volume de recursos materiais e energéticos. [2]

As adições ou substitutos parciais do cimento tornaram-se uma parte integrante da argamassa. O uso de adições é vantajoso, pois melhora as propriedades mecânicas e de durabilidade da argamassa pelo seu benéfico impacto na microestrutura do material. A variedade de outros resíduos ou materiais reciclados susceptíveis de serem usados como substitutos parciais de cimento estão disponíveis, e sua utilização em argamassa torna-se uma opção cada vez mais atraente, principalmente se questões ambientais estiverem em causa. [3]

O vidro é um material composto basicamente por sílica ou dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) onde esse composto corresponde à 70% da sua composição química do vidro no estado amorfo e uma menor percentagem de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) e cálcio ( $\text{CaO}$ ), o vidro apresenta uma composição favorável ao desenvolvimento da reação pozolânica. As adições minerais são materiais que apresentam reação pozolânica, que podem ser incorporados como substituição parcial do cimento em argamassas e concretos, de modo a reduzir o consumo de cimento em proporções que variam de 20 a 70 %. Estudos comprovaram que a utilização de adições minerais de pozolana atribui a materiais cimentícios aumento da durabilidade em ambientes ácidos, da resistência à compressão, e da impermeabilidade, além de vantagens ambientais e econômicas. [4]

Comparativamente com as cinzas volantes, o vidro tem mais  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{Na}_2\text{O}$ , mas menor quantidade de alumínio e ferro ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). [5]

A argamassa múltiplo-uso é composta por cimento, areia e cal. quando misturados com água, esses itens formam uma massa viscosa, plástica e adesiva.

Assim, este trabalho tem o objetivo, precisamente, em analisar a influência do uso do resíduo de vidro nas propriedades de estado fresco em argamassa múltiplo-uso. Neste estudo, utilizou-se o índice de consistência, teor de ar incorporado, densidade e retenção de água. Para isso, foi realizada a substituição do cimento pelo resíduo de vidro nas porcentagens de 0%, 5%, 10%, 15% e 20%.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Para esta pesquisa, o traço adotado foi de 1:1:4 (cimento: cal: areia), em massa.

Na produção das argamassas múltiplo-uso foram utilizados óxido de cálcio (cal), areia adquirida no próprio município de Campos dos Goytacazes, proveniente do Rio Paraíba do Sul, resíduo de vidro proveniente da indústria de lapidação de vidro, localizado no município de Rio das Ostras, do estado do Rio de Janeiro e água da rede de distribuição Águas do Paraíba da cidade de Campos dos Goytacazes.

Foram preparadas cinco misturas no traço, em massa, 1:1:4 (cimento: cal: areia), sendo utilizado os seguintes teores de resíduo de vidro, em relação à massa de cimento: 0%, 5%, 10%, 15% e 20%, mantendo constante a quantidade de areia e cal, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1.** Traços em relação à substituição do cimento pelo resíduo de vidro

Porcentagens	Cimento (g)	Cal (g)	Areia (g)	Resíduo (g)	Água (g)
0	300	300	1200	0	365
5	285	300	1200	15	370
10	270	300	1200	30	374
15	255	300	1200	45	383
20	240	300	1200	60	384

Os ensaios de consistência (flow table) no estado fresco, foram realizados de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2016) [6], que recomenda o índice de consistência  $260 \pm 5$  mm. Neste ensaio, utilizou-se uma forma tronco-cônica de 12,5 cm de diâmetro de base, 6,5 cm de altura e 8 cm de diâmetro de topo. A mesa circular deve ter um diâmetro de 50 cm e pesar 12,0 kg, além de uma altura de queda de 14 mm. Primeiramente realizou-se a mistura da argamassa. Em seguida efetuou-se a mistura e homogeneização dos materiais secos no saco plástico. A água a ser utilizada na mistura também foi inferida com o auxílio de um recipiente de laboratório. Logo após, os materiais secos foram colocados no solotest, sendo posteriormente acrescentada água à mistura, feita em velocidade lenta por 90 s. Passado esse tempo, um pano úmido foi colocado de forma a cobrir a argamassa, que ficou em descanso por 15 minutos. Após esse tempo, a argamassa foi novamente homogeneizada por 15 s em velocidade lenta. Após a mistura da argamassa, o molde foi colocado no centro da mesa e preenchido por três camadas sucessivas, com alturas aproximadamente iguais, e aplicados golpes moderados do soquete, sendo 15 golpes na primeira camada, 10 golpes na segunda e 5 golpes na terceira uniformemente distribuídos. Em seguida, foi realizado o rasamento da argamassa passando a régua metálica. Depois de retirado o molde, a manivela foi acionada, efetuando 30 quedas em 30 segundos. Dessa maneira, foi possível medir o espalhamento da argamassa, medido com uma régua em três direções diferentes, para identificar o índice de consistência. Na Figura 1 pode ser visto a mesa de consistência com o molde em tronco com a argamassa; ensaio de espalhamento da argamassa.



**Figura 1.** Mesa de consistência com o molde em tronco e argamassa; ensaio de espalhamento da argamassa.

O ensaio de densidade de massa no estado fresco foi realizado seguindo o procedimento da NBR 13278 (ABNT, 2005) [7]. Inicialmente foram anotados o volume do recipiente cilíndrico de metal vazio ( $v_r$ ) e também a sua massa ( $m_v$ ). Neste ensaio foram preparadas as argamassas múltiplo-uso de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2016) [6] e respeitando o tempo de 15 minutos de descanso do material. Passado esse tempo, a argamassa foi introduzida no recipiente cilíndrico utilizando uma espátula em três camadas uniformes. Em cada camada foram aplicados 20 golpes ao longo do perímetro do recipiente. Rasou-se o recipiente e pesou-se o conjunto ( $m_c$ ). A densidade foi calculada de acordo com a equação 1.

$$d = 1000 * \frac{m_c - m_v}{v_r} \quad (1)$$

com:

$d$  é a densidade de massa da argamassa no estado fresco ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ );

$m_c$  é a massa do recipiente cilíndrico contendo a argamassa de ensaio (g);

$m_v$  é a massa do recipiente cilíndrico vazio (g);

$v_r$  é o volume do recipiente cilíndrico ( $\text{cm}^3$ ).

A Figura 2 mostra o ensaio de densidade.



**Figura 2.** Ensaio de densidade.

O ensaio de teor de ar incorporado foi realizado por meio do método pressométrico, segundo NBR NM 47 (ABNT, 2002) [8]. O medidor utilizado foi um recipiente cilíndrico metálico com fechamento completo por meio de tampa composta de válvulas de ar, chaves para injeção, saída de água e monômetro para

medição de pressão. O procedimento consistiu no preenchimento do recipiente de medição com a argamassa em três camadas adensadas manualmente com haste de adensamento aplicando-se 25 golpes por camada. Após o preenchimento rasou-se o recipiente e procedeu-se o fechamento do recipiente. Através de orifícios, foi injetada a água, de forma a expulsar o ar da argamassa. Na saída do ar, manômetros detectam o teor liberado e indicam o percentual de ar na mistura.

A figura 3 mostra o ensaio de teor de ar incorporado.



**Figura 3.** Ensaio de teor de ar incorporado.

O ensaio da retenção de água foi realizado de acordo com a NBR 13277 (ABNT, 2005) [9]. Para a realização desse ensaio foram necessários um funil de Buchner modificado e uma bomba de vácuo para aplicar sucção na argamassa. O método utilizado consiste na seguinte sequência: primeiramente, foi colocado o prato sobre o funil de ensaio, garantindo a estanqueidade entre eles; em seguida foi posicionado o papel-filtro umedecido no fundo do prato do equipamento. Com a torneira fechada, a bomba de vácuo foi acionada até que atingisse uma sucção de 51 mm de mercúrio. Logo após foi aberta a torneira do equipamento para a retirada do excesso de água do papel-filtro por 90 s. Em seguida o conjunto funil/papel-filtro úmido foi pesado e registrado a massa ( $m_v$ ). Preencheu-se o prato com a argamassa até acima da borda para o adensamento com soquete. Foram aplicados 16 golpes uniformemente junto à borda e 21 golpes uniformemente distribuídos na parte central da amostra. O excesso de argamassa foi retirado com uma régua metálica até a obtenção de uma superfície plana. Após a limpeza do excesso de argamassa, o conjunto com argamassa foi pesado, registrando-se a massa ( $m_a$ ). Em seguida, a torneira que controla a sucção foi aberta, aplicando uma sucção de 51 mm de mercúrio durante 15 minutos. Após esse tempo o prato do funil foi removido e pesou-se o conjunto registrando a massa ( $m_s$ ). Após a realização do procedimento experimental, o cálculo da retenção de água foi realizado aplicando a Equação 2.

$$R_a = \left[ 1 - \frac{m_a - m_s}{AF(m_a - m_v)} \right] * 100 \quad (2)$$

Sendo AF, o fator água/argamassa fresca determinado pela Equação 3.

$$AF = \frac{m_w}{m + m_w} \quad (3)$$

Com:

$R_a$  é a retenção de água (%);

$m_a$  é a massa do conjunto com argamassa (g);  
 $m_s$  é a massa do conjunto após a sucção (g);  
 $m_v$  é a massa do conjunto vazio (g);  
 $m_w$  é a massa total de água acrescentada à mistura (g);  
 $m$  é a soma das massas dos componentes anidros (g).

A figura 4 mostra o ensaio da retenção de água.



Figura 4. Ensaio da retenção de água.

## 2.1 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 5 apresenta a variação da quantidade de água de acordo com a variação da porcentagem de resíduo de vidro.

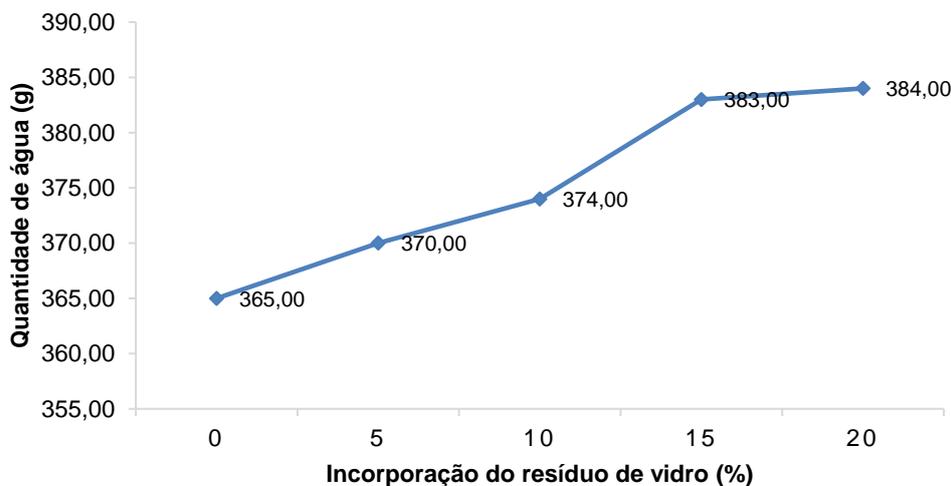
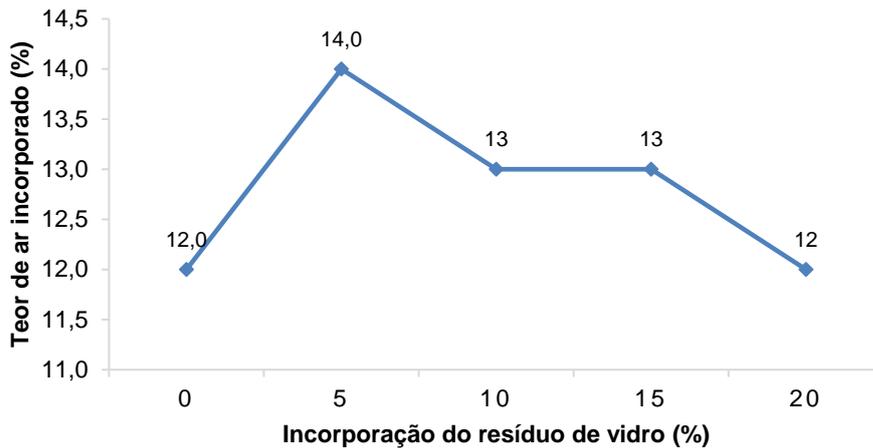


Figura 5. Gráfico da quantidade de água em relação ao teor de resíduo incorporado na argamassa no estado fresco

Os resultados apresentados na figura 3, mostram que quanto maior o teor de resíduo incorporado, maior foi o consumo de água, de forma a manter o índice de consistência de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2016) [6], que recomenda o índice de consistência  $260 \pm 5$  mm. De modo que mantenha a trabalhabilidade das argamassas.

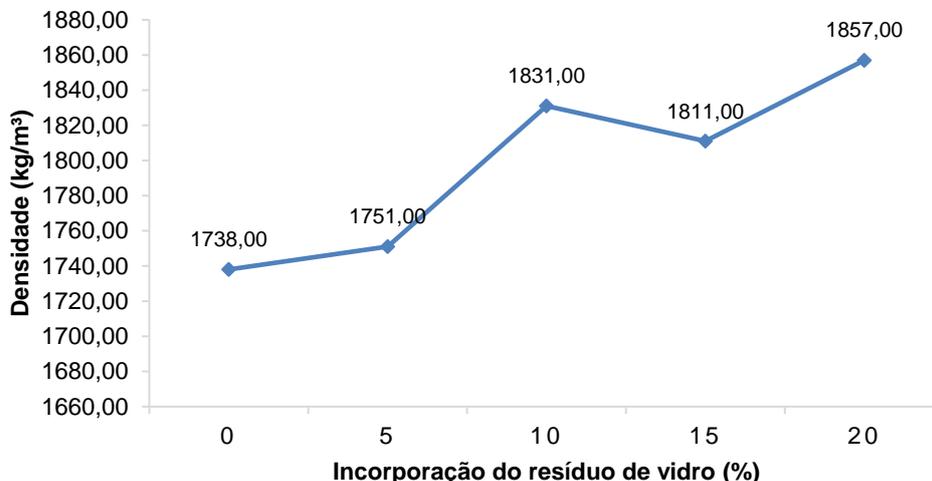
A figura 6 apresenta os resultados do ensaio de teor de ar incorporado.



**Figura 6.** Gráfico do teor de ar incorporado nas argamassas

Observa-se que a argamassa que contém 5% de incorporação do resíduo, apresentou maior teor de ar incorporado em relação às demais. Tendo visto, que esse ensaio é um parâmetro que influencia bastante na trabalhabilidade, a argamassa de 5% de resíduo, mostrou uma maior trabalhabilidade e o tempo em que se mantém trabalhável. Isto possibilita reduzir o esforço durante a sua aplicação, resultando em maior produtividade. Vale ressaltar, que o ar incorporado acarreta vazios, prejudicando a resistência mecânica.

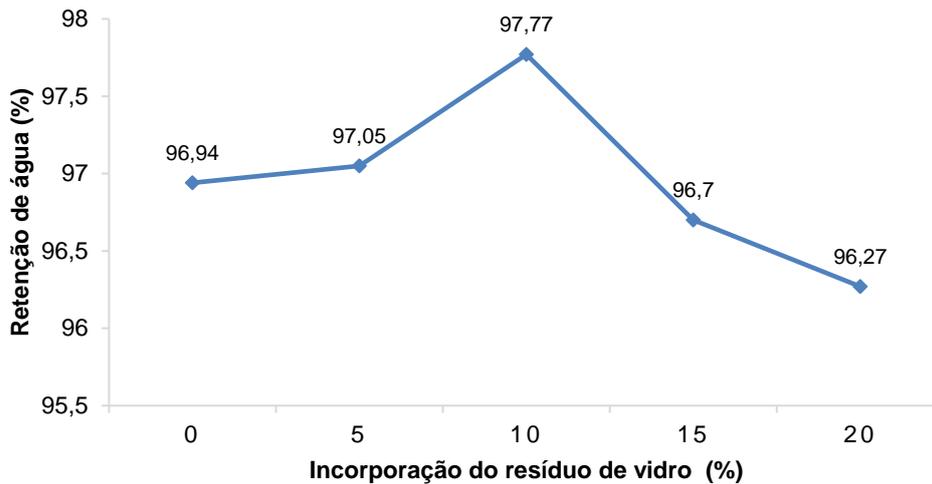
A figura 7 mostra os resultados do ensaio de densidade.



**Figura 7.** Gráfico da densidade de massa no estado fresco

De acordo com os resultados da figura acima, observa-se que a argamassa com 20% de resíduo, apresentou maior densidade com 1857,00 Kg/m<sup>3</sup>, uma vez que a mesma apresentou o menor teor de ar incorporado. Enquanto a de menor densidade foi a argamassa referência com 1738 Kg/m<sup>3</sup>.

A figura 8 mostra os resultados de retenção de água nos traços em estudo.



**Figura 8.** Gráfico da capacidade de retenção de água.

Observa-se nos resultados da figura acima que apenas os teores de 5% e 10%, apresentam melhor retenção de água, em relação a 0%. Desse modo a trabalhabilidade, que é influenciada por esse parâmetro, varia de acordo com cada adição do resíduo [9].

### 3 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que:

- Os resultados dos ensaios de consistência, mostra que quanto maior a quantidade de resíduo, maior foi o consumo de água, devido ao fato que quanto mais fino é o material, maior será sua área de contato, assim, consumindo mais água.
- Com os resultados obtidos no ensaio de teor de ar incorporado, conclui-se que as argamassas com incorporação de resíduo do vidro apresentaram teores de ar incorporado relativamente maiores à argamassa de referência, sendo tal propriedade aumentando com o teor de substituição.
- De acordo com os ensaios de densidade, percebe-se que as argamassas com o resíduo de vidro apresentam uma maior densidade em relação a argamassa sem a adição do resíduo. A maior densidade encontrada foi com o traço de 20% de resíduo, com 1637 Kg/m<sup>3</sup>.
- Os resultados do ensaio de retenção de água, mostram que a retenção de água foi influenciada pela adição de resíduos de vidro, que obtiveram resultados não uniformes. Necessitando assim, de um aprofundamento de pesquisa.

### REFERÊNCIAS

- 1 JHON, V. M.; Reciclagem de resíduos na construção civil [tese]. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo; 102p, 2000.
- 2 SILVA, J. G.; Análise do ciclo de vida de tijolos prensados de escoria de alto-forno [dissertação]. Espírito Santo: UFES, Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.

- 3 CAIJUN,SHI, KEREN ZHENG.; A review on the use of waste glasses in the production of cement and concrete. Resources, Conservation and Recycling 52, 234-247p, 2007.
- 4 AHMAD SHAYAN AIMIN XU.; Performance of glass powder as a pozzolanic material in concrete: A field trial on concrete slabs. Cement and Concrete Research 36, Vermont South, Victoria, Austrália, 457-468p, 2006.
- 5 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005, 3p.
- 6 Associação Brasileira de Normas Técnicas. 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, 4p.
- 7 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 47: Concreto – Determinação do teor de ar em concreto fresco – Método pressométrico. Rio de Janeiro, 2002, 23p.
- 8 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005, 3p.
- 9 Azevedo, A.R.G., Alexandre, J., Zanelato, E.B., Marvila, M.T., 2017. Influence of incorporation of glass waste on the rheological properties of adhesive mortar. Construction and Building Materials. 148, 359-368