



## Comparação da resistência à compressão em argamassa com diferentes teores de aditivo incorporador de ar

### Comparison of compressive resistance in mortar with different levels of air-entraining admixture

Luciane Marcelo Miscovicz<sup>1</sup>, Dyorgge Alves Silva<sup>2</sup>

#### RESUMO

Os aditivos incorporadores de ar são utilizados em argamassas para melhorar a trabalhabilidade e diminuir o consumo de água. Outro fator influenciado pelos aditivos é a resistência a compressão final da argamassa que é comprometida pelo aumento de vazios no material. Para avaliar tal comportamento, foram feitas 6 amostras de argamassa, sendo uma delas a referência, sem adição do material, e as demais com porcentagens de 0,2%, 0,5%, 1,0%, 1,5% e 2,0% de aditivo em relação a massa de cimento. Ainda no estado fresco, foram determinados o índice de consistência e o teor de ar incorporado, seguido pela moldagem de dois corpos de prova em cada amostra. Após o período de cura, onde o corpo de prova recebe as condições adequadas para adquirir resistência, os mesmos foram rompidos na prensa hidráulica para determinar a resistência aos 28 dias. A partir dos resultados ensaiados, notou-se que o aditivo utilizado além de aumentar o teor de ar conforme aumenta a porcentagem de aditivo, também aumentou a resistência a compressão para teores até 1,0%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ar incorporado. Argamassa. Resistência.

#### ABSTRACT

Air-entraining admixtures are used in mortars to improve workability and reduce water consumption. Another factor influenced by additives is the final compressive resistance of the mortar, which is compromised by the increase in voids in the material. To evaluate this behavior, 6 mortar samples were made, one of which was the reference, without the addition of the material, and the others with percentages of 0.2%, 0.5%, 1.0%, 1.5% and 2.0% of additive in relation to the mass of cement. Still in the fresh state, the consistency index and incorporated air content were determined, followed by the molding of two test specimens for each sample. After the curing period, when the specimen is given the right conditions to acquire strength, they were broken in the hydraulic press to determine the strength at 28 days. From the test results, it was noted that the additive used not only increased the air content as the percentage of additive increased, but also the compressive resistance for contents up to 1.0%.

**KEYWORDS:** Air-entraining. Mortar. Resistance.

## INTRODUÇÃO

Em definição da ABNT NBR 13529:2013, a argamassa é o resultado da mistura homogênea de um aglomerante inorgânico, agregado miúdo e água. No caso das argamassas aditivadas, há a alteração das propriedades no estado fresco ou endurecido causados pela combinação do material com um aditivo.

Um dos aditivos amplamente utilizados no preparo de argamassas é o incorporador de ar, principalmente para melhorar a trabalhabilidade. De acordo com Romano (2013), esta é a maneira mais simples de tornar uma argamassa mais leve, preenchendo o mesmo volume, por conta das bolhas geradas no estado fresco que viram vazios no estado endurecido.

<sup>1</sup> Bolsista do Projeto Barra Concreto. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, Paraná, Brasil. E-mail: lucianemiscovicz@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 9435150259053304.

<sup>2</sup> Docente no Curso de Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, Paraná, Brasil. E-mail: dyorggeasilva@utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8573369439574030>.



Romano *et al.* (2018) explicam que a argamassa sem aditivo possui ar incorporado naturalmente como resultado do cisalhamento na composição com a adição da água, devido a presença de ar na água sem tensoativos. Tais bolhas são instáveis, diferentemente das bolhas formadas pelos aditivos que apresentam ações de hidrofiliabilidade e hidrofobicidade. Polli *et al.* (2019) alerta para a diminuição da resistência mecânica na argamassa, devido à diminuição da aderência dos materiais ocasionada pela redução da superfície de contato.

O objetivo deste estudo é encontrar o ponto ótimo entre a taxa de incorporação de ar e a resistência da argamassa, considerando os requisitos técnicos e de ensaios estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### PREPARO DA ARGAMASSA

Para a composição da argamassa, foram utilizados os seguintes materiais: aglomerante - cimento Portland CP II Z 32, agregado miúdo - areia seca, água e aditivo incorporador de ar. Os materiais foram ensaiados seguindo as diretrizes das normas ABNT NBR NM 65:1998 e ABNT NBR NM 52:2009 para determinar suas respectivas massas específicas.

A quantidade de material necessária foi determinada a partir de cálculos matemáticos considerando o volume útil da cuba da argamassadeira e adicionando 30% para perdas devido a mudança de materiais de um recipiente para outro e demais fatores que possam interferir no volume total. Utilizou-se uma relação fixa de água/cimento igual a 1,22, para um traço de 1:6 (Cimento:Areia). Na tabela 1 são apresentadas as quantias de materiais utilizados em cada argamassa.

Tabela 1 - Relação das massas de materiais utilizados

| Material   | REF. (g) | 0,2% (g) | 0,5% (g) | 1,0% (g) | 1,5% (g) | 2,0% (g) |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| CP II Z 32 | 419      | 419      | 419      | 419      | 419      | 419      |
| Areia seca | 2513     | 2513     | 2513     | 2513     | 2513     | 2513     |
| Água       | 511      | 510      | 509      | 507      | 505      | 503      |
| Aditivo    | 0        | 0,84     | 2,09     | 4,19     | 6,28     | 8,38     |

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Em uma adaptação da ABNT NBR 16541:2016, que determina o procedimento de mistura da argamassa de assentamentos e revestimentos, a mistura foi feita em argamassadeira eletromecânica digital na seguinte maneira: 1° - mistura dos materiais secos por 5 s em velocidade baixa, 2° - adição de 75% da água e mistura em velocidade baixa por 2 min, 3° - cuba retirada e limpa nos contornos internos com auxílio de espátula em no máximo 30 s, 4° - adição do restante da água (com aditivo, quando for o caso) e mistura em velocidade alta por 60 s.



## ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

O índice de consistência é normatizado pela ABNT NBR 13276:2016. Para realizar o ensaio foram utilizadas uma mesa de adensamento por choque automática (*Flow Table*) com programação de 1 golpe por segundo por 30 s, tronco cônico preenchido com a argamassa em três camadas de altura similares, haste de adensamento para golpear as camadas 1, 2 e 3 por 15, 10 e 5 vezes, respectivamente, régua metálica para fazer o rasamento e o paquímetro para medir o espalhamento da argamassa imediatamente após a mesa finalizar seu processo. Para cada argamassa, foram feitas 3 medições, sendo que o índice é dado pela média delas.

## TEOR DE AR INCORPORADO

Para o ensaio de teor de ar incorporado, foi seguido o método gravimétrico descrito na ABNT NBR 13278:2005. Primeiramente é calibrado o recipiente (diâmetro de 7 cm e altura 8 cm) utilizado no ensaio aferindo a massa do recipiente vazio com placa de vidro ( $m_v$ ) e posteriormente com ele cheio e rasado com a placa de vidro ( $m_a$ ). O volume é dado pela diferença entre o recipiente cheio e ele vazio, assumindo que 1 g é equivalente a 1 cm<sup>3</sup>.

Para cada argamassa feita foi enchido o mesmo recipiente em 3 camadas de alturas similares, onde cada camada recebeu 20 golpes com espátula a 90°. Com o recipiente cheio, ele foi soltado três vezes a uma altura de 3 cm da bancada e rasado com a espátula. Por fim, o recipiente cheio foi pesado ( $m_c$ , dados apresentados na tabela 4).

Os valores anteriormente citados são necessários para encontrar a densidade de cada argamassa. A densidade das argamassas é dada pela Eq. (1), já a densidade teórica (estimativa que não considera os vazios, somente os materiais) é dada pela Eq. (2).

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

onde:

$m_c$  é a massa pesada do recipiente com a argamassa;  
 $m_v$  é a massa do recipiente vazio com a placa de vidro;  
 $v_r$  é o volume do recipiente.

$$d_t = \frac{\sum m_i}{\sum \frac{m_i}{\gamma_i}} \quad (2)$$

onde:

$m_i$  é a massa de cada material utilizado para produzir a argamassa;  
 $\gamma_i$  é a massa específica do respectivo material.

O teor de ar incorporado é dado pela Eq. (3). Os resultados constam na tabela 4.

$$A = 100 * \left( 1 - \frac{d}{d_t} \right) \quad (3)$$



## RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Após os ensaios no estado fresco, cada argamassa produzida foi moldada em dois corpos de prova de 5 x 10 cm (apenas dois devido à disponibilidade de moldes) e colocada em câmara úmida para o período de cura. Passados 28 dias, os corpos de prova foram medidos e rompidos em prensa hidráulica (velocidade de 0,5 kN/s), conforme ABNT NBR 13279:2005. Para determinar a resistência, é necessário dividir a força máxima pela área de aplicação. Como todos os corpos de prova apresentaram diâmetro de 5 cm, a força foi dividida por 19,63 cm<sup>2</sup>.

## RESULTADOS

### ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

É possível observar na tabela 2 a média para as medidas da espalhabilidade em cada traço. Houve crescimento em todos os teores, exceto em 0,2%.

**Tabela 2 - Índice de consistência aferidos para cada argamassa**

| Medida           | REF. (mm) | 0,2% (mm) | 0,5% (mm) | 1,0% (mm) | 1,5% (mm) | 2,0% (mm) |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| L <sub>1</sub>   | 259,1     | 251,0     | 275,3     | 287,7     | 288,0     | 290,0     |
| L <sub>2</sub>   | 255,7     | 247,6     | 266,6     | 290,5     | 284,1     | 296,1     |
| L <sub>3</sub>   | 253,0     | 244,0     | 274,2     | 287,7     | 286,4     | 290,4     |
| L <sub>méd</sub> | 256,0     | 248,0     | 272,0     | 289,0     | 286,0     | 292,0     |

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

### TEOR DE AR INCORPORADO

Os respectivos valores de massa e volume estão apresentados na tabela 3.

**Tabela 3 - Massas pesadas e volume calculado**

|                                       |        |
|---------------------------------------|--------|
| <b>m<sub>v</sub> (g)</b>              | 209,04 |
| <b>m<sub>a</sub> (g)</b>              | 614,37 |
| <b>v<sub>r</sub> (cm<sup>3</sup>)</b> | 247,49 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Com estes valores, foram determinadas as porcentagens de teor de ar incorporado em cada porcentagem de aditivo utilizada. É possível observar um crescimento pequeno nas porcentagens de 0,2% e 0,5% em relação ao teor de ar do traço referência. Já para o teor de 1,0% houve um significativo aumento de incorporação, seguido por um aumento tímido para os demais teores.



**Tabela 4 – Densidades e teor de ar incorporado obtidos para cada argamassa**

| Fator                      | REF.   | 0,2%   | 0,5%   | 1,0%   | 1,5%   | 2,0%   |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $m_c$ (g)                  | 774,46 | 761,82 | 725,58 | 670,95 | 661,60 | 644,05 |
| $d$ (g/cm <sup>3</sup> )   | 2,23   | 2,23   | 2,23   | 2,23   | 2,23   | 2,23   |
| $d_t$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 2,06   | 2,01   | 1,88   | 1,68   | 1,65   | 1,58   |
| A (%)                      | 7,51   | 9,58   | 15,52  | 24,46  | 26,00  | 28,93  |

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

## RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Com resultados apresentados na tabela 5, surpreendentemente, todos os teores de ativos utilizados ultrapassaram a resistência do traço referência. A porcentagem que obteve maior resistência foi a de 1,0%. Porém, em contato com a empresa fornecedora do aditivo, não foi informado qual componente ou procedimento levou a tal resultado.

**Tabela 5 - Força máxima aplicada e resistência máxima dos corpos de prova**

| Fator     | REF. | 0,2% | 0,5% | 1,0% | 1,5% | 2,0% |
|-----------|------|------|------|------|------|------|
| $F_1$     | 2,19 | 6,69 | 5,38 | 6,14 | 3,44 | 3,73 |
| $F_2$     | 3,38 | 3,58 | 5,78 | 3,35 | 5,96 | 4,31 |
| $R_1$     | 1,12 | 3,41 | 2,74 | 3,13 | 1,75 | 1,90 |
| $R_2$     | 1,72 | 1,82 | 2,94 | 2,72 | 3,04 | 2,20 |
| $R_{méd}$ | 1,42 | 2,62 | 2,84 | 2,93 | 2,39 | 2,05 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

## CONCLUSÃO

O presente artigo demonstrou que o aditivo incorporador de ar utilizado confere maior resistência para teores até 1,0% de aditivo incorporado e para o intervalo de percentuais ensaiados, não houve perda de resistência por conta da utilização do aditivo. Para o percentual de 1,0%, o aditivo foi capaz de incorporar 24,46% de ar na argamassa, onde o traço de referência possuía apenas 7,51% de ar incorporado.

Desta forma, conclui-se que o melhor percentual para utilização do aditivo em argamassas de revestimento é de 1,0% em relação a massa de cimento.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Diretoria de Relações Empresariais e Comunitárias – DIREC da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, campus Guarapuava. Agradeço a UTFPR pela oportunidade, pelos materiais disponibilizados para os ensaios e principalmente pela contemplação do projeto no edital conjunto PROREC PROGRAD N° 01/2022, do qual fui bolsista.



Agradeço ao Prof. Me. Dyorgge Alves Silva pela oportunidade de participar do projeto, pelos ensinamentos repassados ao longo do período e apoio nas atividades. Aos colegas Caroline Krauczuk, Fabio Luiz Bucholdz Dimbarre e Paúl José Miranda Melo pelo auxílio com o laboratório e ensaios, meus sinceros agradecimentos.

### Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

### REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR NM 65:** Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2002.

ABNT (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.

ABNT (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.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 13529:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 16541:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016.

POLLI, Felipe Hartman et al. Influência da ação combinada de aditivos, incorporador de ar e estabilizador de hidratação, nas propriedades da argamassa estabilizada por até 48 horas. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 28, p. e13236, 2023.

ROMANO, Roberto Cesar de Oliveira. **Incorporação de ar em materiais cimentícios aplicados em construção civil**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ROMANO, Roberto Cesar de Oliveira et al. Incorporação de ar em materiais cimentícios: uma nova abordagem para o desenvolvimento de argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 2, p. 289–308, 2018.