

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



**FLÁVIA LEONEL DE QUEIROZ**

**INFLUÊNCIA DO TEOR DE SUBSTITUIÇÃO DA AREIA POR RESÍDUO DE  
REBOCO NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS**

**Uberlândia**

**2023**

FLÁVIA LEONEL DE QUEIROZ

INFLUÊNCIA DO TEOR DE SUBSTITUIÇÃO DA AREIA POR RESÍDUO DE  
REBOCO NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Engenharia  
Civil da Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte dos requisitos  
para obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Civil.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Eliane Betânia  
Carvalho Costa

Uberlândia  
2023

FLÁVIA LEONEL DE QUEIROZ

INFLUÊNCIA DO TEOR DE SUBSTITUIÇÃO DA AREIA POR RESÍDUO DE  
REBOCO NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Engenharia  
Civil da Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte dos requisitos  
para obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Civil.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Eliane Betânia  
Carvalho Costa

---

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dra. Eliane Betânia Carvalho Costa

---

Prof<sup>a</sup> Dra. Maria Cláudia de Freitas Salomão

---

Prof<sup>a</sup>. Me. Lais Sousa Leão

---

Aluna: Flávia Leonel de Queiroz

## RESUMO

A areia é um dos principais componentes utilizados na produção de argamassas e concretos. A crescente demanda por este produto tem provocado escassez mundial e, conseqüentemente, a elevação do seu custo, principalmente nos centros urbanos, além de que a extração da areia gera um grande impacto ambiental e social. Diante disso, tem crescido a procura por materiais alternativos para a substituição total ou parcial da areia. O presente trabalho tem como objetivo analisar a influência do teor de substituição da areia nas propriedades de argamassas por um resíduo de argamassa proveniente da etapa de sarrafeamento. Foram testados cinco tipos de argamassas com teores de substituição de 0; 25; 50; 75 e 100% da areia pelo resíduo. O traço em massa adotado para a argamassa de referência foi 1:4,5:0,7 (cimento, areia, água) e a quantidade de água e de cimento foi mantida constante para todas as misturas. As argamassas foram avaliadas no estado fresco e as propriedades físicas determinadas aos 28 dias. Os resultados indicaram que o resíduo apresentou partículas com dimensão superior a areia utilizada. A substituição da areia por 100% de resíduo de reboco não alterou as propriedades na argamassa.

**Palavras-chave:** Argamassa, Resíduo, Areia, Reboco, Substituição.

## **ABSTRACT**

Sand is one of the main components used in the production of mortars and concrete. The growing demand for sand has caused a worldwide shortage and, consequently, an increase in the sand cost, especially in urban centers. Moreover, the extraction of sand is associated with considerable environmental and social impact. In view of the fact, there is a growing demand for alternative materials that replace sand partially or totally. The present work analyzes how mortar's properties are influenced when replacing sand with mortar residues generated during its application. Five types of mortars were tested with substitution contents of 0; 25; 50; 75 and 100% of the sand by the residue. The mix proportion adopted for the reference mortar was, in mass, 1:4.5:0.7 (cement, sand, water). The amount of cement and water remained the same across all studied mixes. The mortars were evaluated in fresh state and their physical properties determined at day 28. The results indicated that the waste had particles larger than the sand used. The replacement of sand by 100% plaster residue did not alter the properties of the mortar.

**Keywords:** Mortar, Waste, Sand, Plaster, Replacement.

## Lista de Figuras

Figura 1: Crescente demanda por areia podem elevar os preços e até a escassez global.....	8
Figura 2: Agregados utilizados (a): resíduo e (b) areia natural quartzosa.....	11
Figura 3: Procedimento de mistura adotado para homogeneização das argamassas.....	15
Figura 4: Avaliação das argamassas no estado fresco por meio da determinação do índice de consistência (a) e densidade de massa (b).....	15
Figura 5: Ensaio de módulo de elasticidade dinâmico das argamassas.....	17
Figura 6: Ensaio de resistência à tração na flexão.....	18
Figura 7: Ensaio de resistência à compressão.....	19
Figura 8: Determinação da massa da amostra saturada imersa em água utilizando balança hidrostática .....	20
Figura 9: Curva de distribuição granulométrica da areia e do resíduo.....	21
Figura 10: Índice de consistência das argamassas em função do teor de substituição de areia pelo resíduo.....	25
Figura 11: Módulo de elasticidade dinâmico ( $E_d$ ) em função do teor de substituição da areia pelos resíduos de argamassa, aos 28 dias.....	26
Figura 12: Resistência à tração na flexão ( $R_{tf}$ ) em função do teor de substituição da areia pelos resíduos de argamassa, aos 28 dias.....	27
Figura 13: Resistência à compressão ( $R_c$ ) em função do teor de substituição da areia pelos resíduos de argamassa, aos 28 dias.....	28

## Lista de tabelas

Tabela 1: Propriedades do cimento.....	10
Tabela 2: Traços unitários em massa das argamassas estudadas.....	14
Tabela 3: Análise da curva granulométrica.....	23
Tabela 4: Propriedades dos agregados.....	23
Tabela 5: Resultados dos ensaios no estado fresco.....	24
Tabela 6: Resultados do ensaio de absorção por imersão.....	29
Tabela 7: Resultados do ensaio de absorção por capilaridade.....	30
Tabela 8: Classificação das argamassas segundo a NBR 13281.....	31

## SUMÁRIO

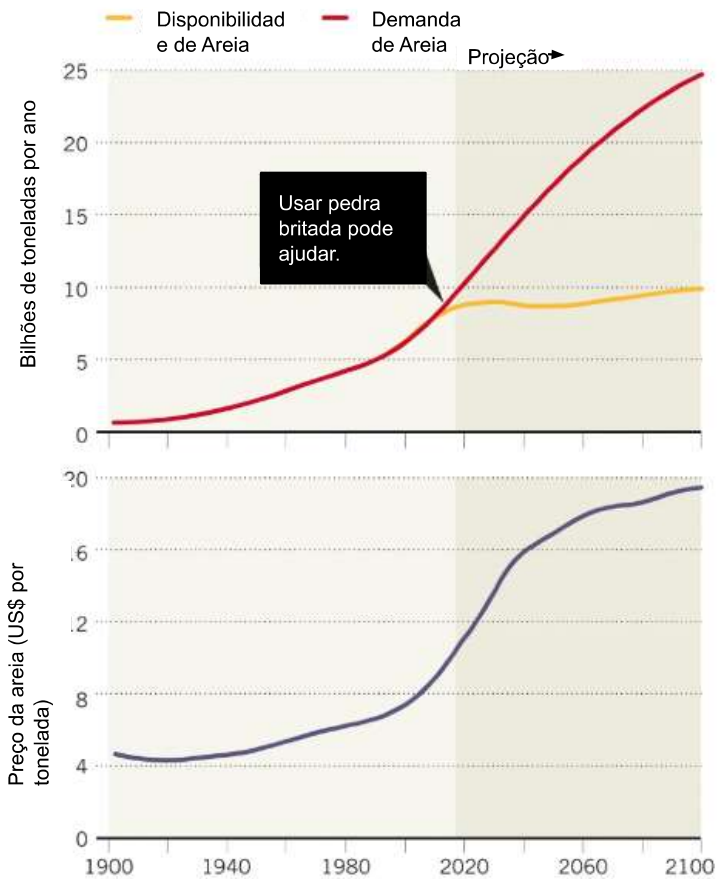
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2. PROGRAMA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>9</b>
2.1. Materiais.....	10
2.1.1. Cimento .....	10
2.1.2. Agregados.....	10
2.2. Produção de argamassas.....	14
2.3. Ensaio no estado fresco.....	15
2.4. Moldagem e cura dos corpos de prova .....	16
2.5. Ensaio no estado endurecido .....	16
2.5.1. Módulo de elasticidade dinâmico .....	16
2.5.2. Resistência à tração na flexão .....	17
2.5.3. Resistência à compressão .....	18
2.5.4. Absorção por imersão .....	19
2.5.5. Absorção por capilaridade.....	20
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>21</b>
3.1. Caracterização dos agregados.....	21
3.2. Propriedades das argamassas no estado fresco.....	24
3.3. Propriedades das argamassas no estado endurecido .....	26
3.3.1. Módulo de elasticidade dinâmico .....	26
3.3.2. Resistência à tração na flexão e à compressão .....	27
3.3.3. Absorção de água por imersão e por capilaridade.....	28
3.4. Classificação das argamassas segundo a NBR 13281 .....	30
<b>4. CONCLUSÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>32</b>



## 1. INTRODUÇÃO

A areia é um material que está presente nas edificações que habitamos, nos eletrônicos e até no copo em que bebemos água. Segundo Bendixen *et al.* (2019) o consumo mundial de areia é de aproximadamente de 32 a 50 bilhões de toneladas. Com o aumento da taxa de urbanização e da população mundial, o consumo de areia tem crescido, excedendo ao ritmo natural de renovação, o que pode levar a escassez nos próximos anos, como mostrado na Figura 1.

Figura 1: Crescente demanda por areia podem elevar os preços e até a escassez global



Fonte: Bendixen *et al.* (2019).

Nota: No primeiro gráfico da imagem a linha amarela representa a disponibilidade de areia e a vermelha a demanda de areia em bilhões de toneladas por ano. No segundo gráfico, a linha azul representa o custo por tonelada ao longo do tempo.

Além do aumento dos preços, o elevado consumo de areia natural gera diversos problemas ambientais e sociais. A sua extração é feita principalmente em leitos de rios, comprometendo o ambiente para uma variedade de espécies, diminuem o nível dos lençóis freáticos e aumentam a erosão de rios. Com a danificação dos rios, diversas famílias que vivem ao longo dos cursos d'água são prejudicadas, além da violência gerada pela extração ilegal.

No Brasil, a construção civil é o segundo maior empregador, a cadeia produtiva emprega mais de 11 milhões de pessoas e responde por 50% do investimento realizado no Brasil, segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (2020). Devido ao impacto decisivo sobre a economia e a qualidade de vida da população é um dos setores que mais têm atenção do governo federal e o desenvolvimento desta indústria, conseqüentemente, mantém o mercado de construção civil aquecido.

Atrelado a isso, pelo sistema de vedação vertical constituído de alvenaria e revestimento argamassado ser o mais utilizado no país, também sugere que a demanda por areia no país também irá crescer. Segundo Reis *et al.* (2014) estima-se que no ano de 2014, no Brasil, foram produzidas 377 milhões de toneladas de argamassa e que foram gerados 80 milhões de toneladas de resíduos somente na etapa de obra. Esses fatores indicam a importância da procura por materiais alternativos em substituição da areia e do reaproveitamento desse resíduo para redução do consumo de areia para uma produção sustentável.

Diante disto, o presente estudo tem como objetivo analisar a substituição parcial ou total do agregado natural por resíduo de argamassas proveniente da etapa de sarrafeamento de reboco para a produção de novas argamassas.

## **2. PROGRAMA EXPERIMENTAL**

Para avaliar o efeito da substituição da areia pelo resíduo de argamassa de reboco foram produzidos cinco tipos de argamassas considerando os teores de 0%; 25%; 50%; 75%; e 100%, sendo que substituições de até 100% são permitidas pela NBR 15116 para produção de argamassa de assentamento, revestimento e contrapiso. O traço, em massa, de referência adotado foi 1: 4,5: 0,7, (cimento: areia: água). A quantidade de água e cimento foram mantidas constantes. No estado fresco foram medidos os valores de índice de consistência e densidade de massa.

Aos 28 dias, foram realizados ensaios para determinação da resistência mecânica, módulo de elasticidade dinâmico, absorção de água por imersão e por capilaridade.

## 2.1. Materiais

### 2.1.1. Cimento

Foi utilizado o cimento Portland CPV-ARI composto por clínquer, sulfato de cálcio e material de carbonático de acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018), devido a sua pureza (ausência de compostos de escórias, pozolanas), porém, neste estudo não será avaliado os efeitos do tipo de cimento utilizado para a produção das argamassas. Na Tabela 1 estão apresentadas as propriedades físicas e mecânicas do cimento utilizado e as referências normativas utilizadas em sua determinação.

Tabela 1: Propriedades do cimento

Propriedade	Valor	Referência
Superfície específica (cm <sup>2</sup> /g)	5200	ABNT NBR 16372:2015
Resistência à compressão (MPa)	1 dia	ABNT NBR 7215:2019
	3 dias	ABNT NBR 7215:2019
	7 dias	ABNT NBR 7215:2019
	28 dias	ABNT NBR 7215:2019
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	3,06	NBR 16916: 2021

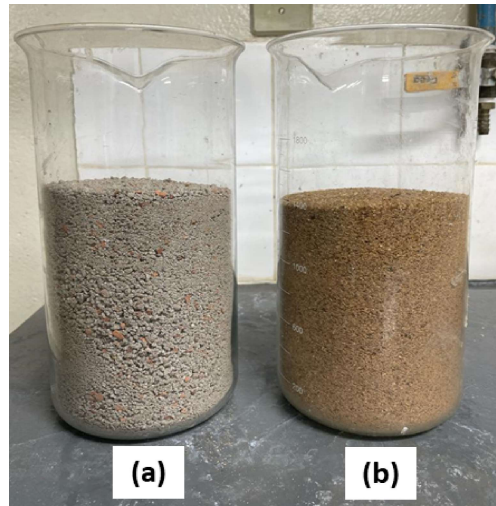
Fonte: Spini (2021).

### 2.1.2. Agregados

Foi utilizado areia e/ou resíduo de reboco como agregados. O resíduo de argamassa foi coletado em obra, na cidade de Uberlândia-MG, é constituído da sobra de argamassa produzida pelo sarrafeamento do reboco externo e interno, com traço em massa é 1:7:0,4 (cimento, areia, cal), a quantidade de água não foi dimensionada pela equipe da obra. A areia natural quartzosa foi obtida comercialmente na cidade de Uberlândia-MG como é mostrada na Figura 2b.

Previamente aos ensaios, ambos os agregados foram secos em estufa e submetidos ao peneiramento em peneira de abertura de 4,75 mm, utilizando-se a fração passante (Figura 2a).

Figura 2: Agregados utilizados (a) resíduo e (b) areia natural quartzosa



Fonte: Autor (2023).

Para a caracterização dos agregados foram realizados ensaios para determinação da densidade, massa unitária, teor de material pulverulento e análise granulométrica. Essas propriedades são fundamentais para a análise comparativa entre os agregados, definição da dosagem de substituição e traço da argamassa.

A determinação da densidade e da absorção de água foram realizadas conforme os procedimentos estabelecidos pela NBR 16916 (ABNT, 2021). Para o cálculo da densidade utilizou-se da Equação 1 e para a absorção de água a Equação 2.

$$\rho_{SSS} = \frac{m_B}{V - V_a} \quad (1)$$

$$Abs = \frac{m_B - m_A}{m_A} \quad (2)$$

em que:  $\rho_{sss}$ , é a densidade do agregado na condição saturada superfície seca, em gramas  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $m_B$  é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;  $V$ , é o volume do frasco, em  $\text{cm}^3$ ;  $V_a$ , é o volume de água adicionado ao frasco, determinado, em  $\text{cm}^3$ ,  $m_A$  é a massa da amostra seca em estufa a  $(105 \pm 5)$  °C, em gramas.

A massa unitária e o índice de vazios foram determinadas conforme método de ensaio estabelecido pela NBR NM 45 (ABNT, 2006). Foram feitas três determinações para a massa unitária e o resultado dimensionado a partir da Equação 3, sendo apresentado como resultado final a média das três aferições. O cálculo do índice de vazios é dimensionado a partir da Equação 4.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (3)$$

em que:  $\rho_{ap}$  é a massa unitária do agregado, em  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $m_{ar}$  é a massa do recipiente mais o agregado, em kg;  $m_r$  é a massa do recipiente vazio, em kg;  $V$  é o volume do recipiente, em  $\text{m}^3$ ;

$$E_v = \frac{100 \times [(d_1 \times \rho_w) - \rho_{ap}]}{d_1 \times \rho_w} \quad (4)$$

em que:  $E_v$  é o índice de vazios, em %;  $d_1$  é a densidade do agregado seco, em  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $\rho_w$  é a densidade da água, em  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $\rho_{ap}$  é a massa unitária média do agregado, em  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

O teor de material pulverulento foi determinado conforme a NBR 16973 (ABNT, 2021). As amostras de agregados foram previamente secas em estufa a 100°C. O processo de “lavagem” da amostra (1000 g) foi realizado em peneira de abertura de 75  $\mu\text{m}$ , efetuado até que a água ficasse translúcida. Então, as amostras foram secas em estufa. O cálculo do teor de material pulverulento foi realizado de acordo com a Equação 5.

$$m = \frac{m_i - m_f}{m_i} \quad (5)$$

em que:  $m$  é a porcentagem de material mais fino que a peneira de 75  $\mu\text{m}$  por lavagem;  $m_i$  é a massa original da amostra seca; em gramas;  $m_f$  é a massa da amostra seca após a lavagem, em gramas.

A análise granulométrica seguiu a NBR NM 248 (ABNT, 2001), adotando-se a massa da amostra de 1000 g. Para o ensaio, foram utilizadas peneiras com abertura de 4,75; 2,36; 2,00; 1,18; 0,6; 0,42; 0,3; 0,25; 0,15 e 0,075 mm e um agitador mecânico por 10 minutos. A partir das curvas granulométricas foram determinados os parâmetros D10, D50 e D90, o coeficiente de não uniformidade e o coeficiente de curvatura.

Segundo Allen-Hazen (1930) o diâmetro efetivo é a abertura da peneira para a qual temos 10% do peso total de todas as partículas menores que ele (os 10% de partículas que são mais finas que o diâmetro efetivo) e esse parâmetro fornece uma indicação sobre a permeabilidade das areias. O parâmetro D50 está relacionado à mediana da distribuição e corresponde ao diâmetro médio de partícula ( $D_m$ ). O parâmetro D90, está relacionado ao diâmetro de corte da curva de distribuição acumulada em 90% (os 90% de partículas que são mais finas que o diâmetro que o diâmetro correspondente).

O coeficiente de não uniformidade ( $C_{nu}$ ), definido por Allen-Hazen (1930), é obtido pela razão entre os diâmetros correspondentes a 60% e 10% de material passante na curva de distribuição granulométrica. Os agregados que apresentem  $C_{nu}$  menores que 5 são considerados uniformes, entre 5 e 15 medianamente uniformes e maiores que 15, não uniformes.

Outro fator determinado foi o coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) que mede a graduação do solo com base nos diâmetros D10, D30 e D60. Segundo Pinto (2006) se o agregado apresenta valores entre 1 e 3 ele é bem graduado e valores menores que 1 ou maiores que 3, mal graduado. Os coeficientes de não uniformidade e de curvatura foram determinados conforme as Equações 6 e 7, respectivamente.

$$C_{nu} = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (6)$$

$$C_c = \frac{D_{30}^3}{D_{10} \times D_{60}} \quad (7)$$

em que:  $C_{nu}$  é o coeficiente de não uniformidade, adimensional;  $C_c$  é o coeficiente de curvatura, adimensional;  $D_{60}$  diâmetro do grão correspondente a 60 % mais fino, em milímetros;  $D_{10}$  é o diâmetro do grão correspondente a 10 % mais fino, também denominado diâmetro efetivo, em mm;  $D_{30}$  é o diâmetro do grão correspondente a 30 % mais fino, em mm.

## 2.2. Produção de argamassas

Para o preparo da mistura utilizou-se o procedimento descrito na NBR 13276 (ABNT, 2016). Foram elaborados cinco traços de argamassa para avaliar a influência do resíduo em substituição à areia, sendo: uma de referência (AREF) com 0% de resíduo e outras com os teores de 25, 50, 75 e 100% de substituição em relação à massa de areia, denominadas A25, A50, A75 e A100, respectivamente. A partir de estudo prévio de caracterização do resíduo e da areia, foi adotado o traço unitário 1:4,5:0,7 (cimento: areia: água) em massa para a argamassa referência. Os teores de água e cimento foram mantidos constantes em todas as misturas. Na Tabela 2 estão indicados os traços unitários das argamassas estudadas.

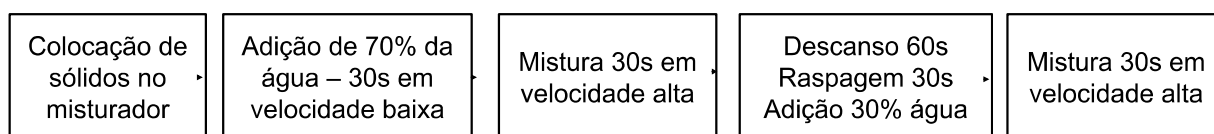
Tabela 2 - Traços unitários em massa das argamassas estudadas

Argamassa	Materiais			
	Cimento	Areia	Resíduo	Água
REF	1	4,500	0	0,700
A25	1	3,375	1,125	0,700
A50	1	2,250	2,250	0,700
A75	1	1,125	3,375	0,700
A100	1	0	4,500	0,700

Fonte: Autor (2023)

Antes da mistura, foi feita uma homogeneização prévia dos sólidos. A mistura foi feita com auxílio de argamassadeira planetária de bancada de acordo com os procedimentos da NBR 16541 (ABNT, 2016), conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Procedimento de mistura adotado para homogeneização das argamassas



Fonte: Autor (2023).

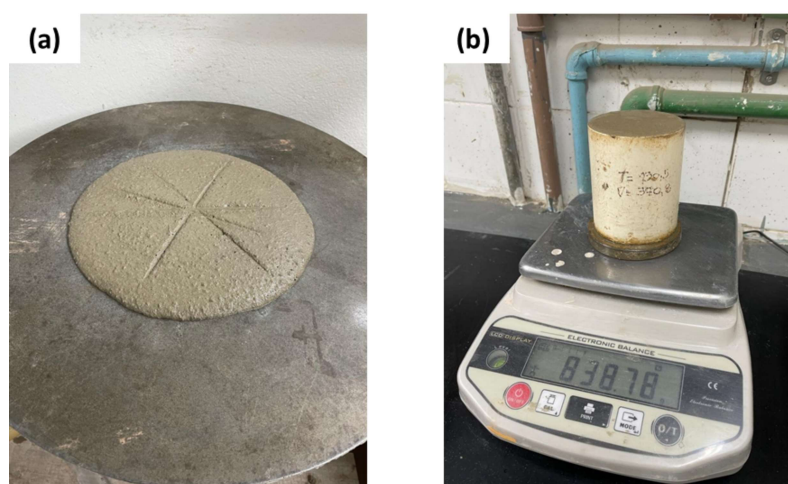
### 2.3. Ensaio no estado fresco

Após a mistura das argamassas, foi determinado o índice de consistência (Figura 4a) conforme os procedimentos da NBR 13276 (ABNT, 2016) sendo o resultado a média da leitura dos três diâmetros. Seguindo a metodologia da NBR 13278 (ABNT, 2005) determinou-se a densidade de massa (Figura 4b) com auxílio de um recipiente cilíndrico de PVC com volume de 370,15 cm<sup>3</sup> e o teor de ar incorporado para cada mistura, calculado conforme a Equação 8:

$$A = 100 \times \left( 1 - \frac{d}{d_t} \right) \quad (8)$$

em que:  $A$  é o teor de ar incorporado na argamassa, em %;  $d$  é o valor da densidade de massa da argamassa, em g/cm<sup>3</sup>;  $d_t$  é o valor da densidade de massa teórica da argamassa, em g/cm<sup>3</sup>.

Figura 4: Avaliação das argamassas no estado fresco por meio da determinação do (a) índice de consistência e (b) densidade de massa



Fonte: Autor (2023).



## 2.4. Moldagem e cura dos corpos de prova

De acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005) foram moldados corpos de prova com auxílio de fôrmas prismáticas de aço com medidas de 40 x 40 x 160 mm (altura x espessura x comprimento). A argamassa foi colocada nos moldes com o auxílio da espátula, em duas camadas de alturas aproximadamente iguais, recebendo cada camada trinta golpes uniformes feitos através da mesa de consistência. Após o adensamento, foi feito o rasamento do topo dos corpos-de-prova com uma espátula metálica. Estes permaneceram em temperatura de  $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  em laboratório por 24 horas até a desmoldagem. No total, foram moldados trinta corpos de prova, seis para cada tipo de argamassa. Após a desmoldagem, os corpos foram imersos em água durante 28 dias.

## 2.5. Ensaio no estado endurecido

Após 28 dias, foram realizados ensaios de módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração na flexão, resistência à compressão e absorção por imersão e por capilaridade. Para cada ensaio foram utilizados três corpos de prova de cada argamassa. A seguir, são apresentados a metodologia utilizada bem como os métodos de cálculo.

### 2.5.1. Módulo de elasticidade dinâmico

O ensaio do módulo de elasticidade dinâmico foi realizado de acordo com o procedimento recomendado pela NBR 15630 (ABNT, 2008), utilizando equipamento de ultrassom UPV, modelo 58-E48 da marca Controls, com transdutores (receptor e transmissor) de 50 mm de diâmetro e frequência de 54 kHz, com resolução de  $0,01 \mu\text{s}$  (Figura 5).

Figura 5: Ensaio de módulo de elasticidade dinâmico das argamassas



Fonte: Autor (2023)

O módulo de elasticidade dinâmico a partir da velocidade de propagação de ondas, utilizando as Equações 9 e 10:

$$V = \frac{L}{t} \quad (9)$$

em que:  $V$  é a velocidade de propagação da onda ultrassônica, em mm/ $\mu$ s, arredondado à segunda casa decimal;  $L$  é a distância entre os pontos de acoplamento dos transdutores, em mm;  $t$  é o tempo registrado pelo mostrador digital, em  $\mu$ s.

$$E_d = V^2 \times \rho \times \frac{(1 + \mu) \times (1 - 2\mu)}{1 - \mu} \quad (10)$$

em que:  $E_d$  é o módulo de elasticidade dinâmico expresso, em MPa;  $V$  é a velocidade de propagação da onda ultrassônica, em mm/ $\mu$ s;  $\rho$  é a densidade de massa aparente do corpo de prova, em kg/m<sup>3</sup>;  $\mu$  é o coeficiente de Poisson, cujo valor adotado foi igual a 0,2.

### 2.5.2. Resistência à tração na flexão

Para a determinação da resistência à tração na flexão foi utilizada máquina universal de ensaios (Instron 5982) conforme critérios apresentados pela NBR 13279 (ABNT, 2005), sendo testados três corpos de provas para cada argamassa avaliada.

O corpo de prova prismático foi posicionado de modo que a face rasada não ficasse em contato com os dispositivos de apoio e de carga, conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6: Ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: Autor (2023).

A resistência à tração na flexão foi calculada segundo a Equação 11.

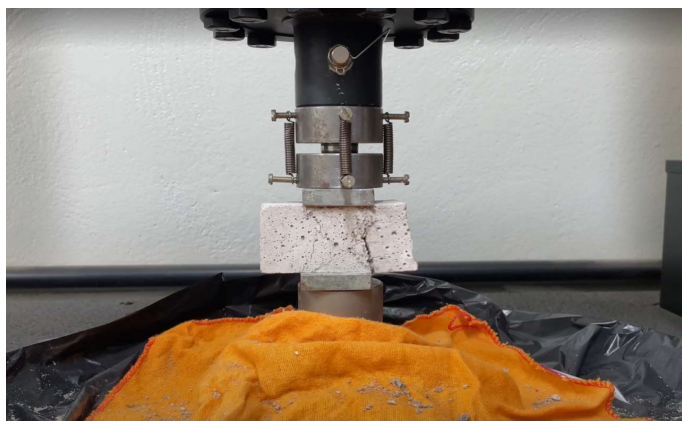
$$R_f = \frac{1,5 \times F_F \times l}{40^3} \quad (11)$$

em que:  $R_f$  é a resistência à tração na flexão, em MPa;  $F_F$  é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em N;  $l$  é a distância entre os suportes, em mm.

### 2.5.3. Resistência à compressão

Para a determinação da resistência à compressão foi utilizado a metade de três corpos de prova rompido do ensaio de flexão. Os ensaios foram realizados na máquina universal de ensaios (Instron 5982) - Figura 7, conforme critérios apresentados pela NBR 13279 (ABNT, 2005)

Figura 7: Ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autor (2023)

A resistência à compressão foi calculada segundo a Equação 12.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (12)$$

em que:  $R_c$  é a resistência à compressão, em megapascals;  $F_c$  é a carga máxima aplicada, em newtons; 1600 é a área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga 40 mm x 40 mm, em milímetros quadrados.

#### 2.5.4. Absorção por imersão

O ensaio de absorção de água por imersão foi executado segundo a NBR 9778 (ABNT, 2005). Os corpos de prova foram saturados em água à temperatura de  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  por 72 horas. Após a determinação da massa saturada e imersa (Figura 8), os corpos de prova foram secos em estufa a  $105^\circ\text{C}$  por 72 horas. Os valores de absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica foram calculados, respectivamente, conforme as Equações 13, 14 e 15.

$$A_i = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (13)$$

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \times 100 \quad (14)$$

$$\mu = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i} \quad (15)$$

em que:  $I_v$  é o índice de vazios, em %;  $\mu$  é a massa específica da argamassa, em g/cm<sup>3</sup>;  $m_{sat}$  é a massa da amostra saturada com superfície seca (balança analítica), em gramas;  $m_s$  é a massa da amostra seca em estufa, em gramas;  $m_i$  é a massa da amostra saturada imersa em água (balança hidrostática), em gramas;  $A_i$  é a absorção de água por imersão, em %.

Figura 8: Determinação massa da amostra saturada imersa em água utilizando balança hidrostática



Fonte: Autor (2023).

#### 2.5.5. Absorção por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado seguindo a NBR 9779 (ABNT, 2012). Para a determinação desta propriedade, os corpos de prova foram posicionados em um recipiente preenchido com uma lâmina de água de modo que essa se mantivesse constante a 5 +/- 1 mm acima da face inferior, evitando a molhagem de outras superfícies. Durante o ensaio, foi determinada a massa saturada dos corpos de prova em balança analítica com 3h, 6h, 24h, 48h e 72h, contadas a partir da colocação destes em contato com a água e previamente

enxugados com pano úmido. Os valores de absorção de água por capilaridade foram calculados conforme mostrado na Equação 16:

$$C = \frac{m_{sat} - m_s}{S} \quad (16)$$

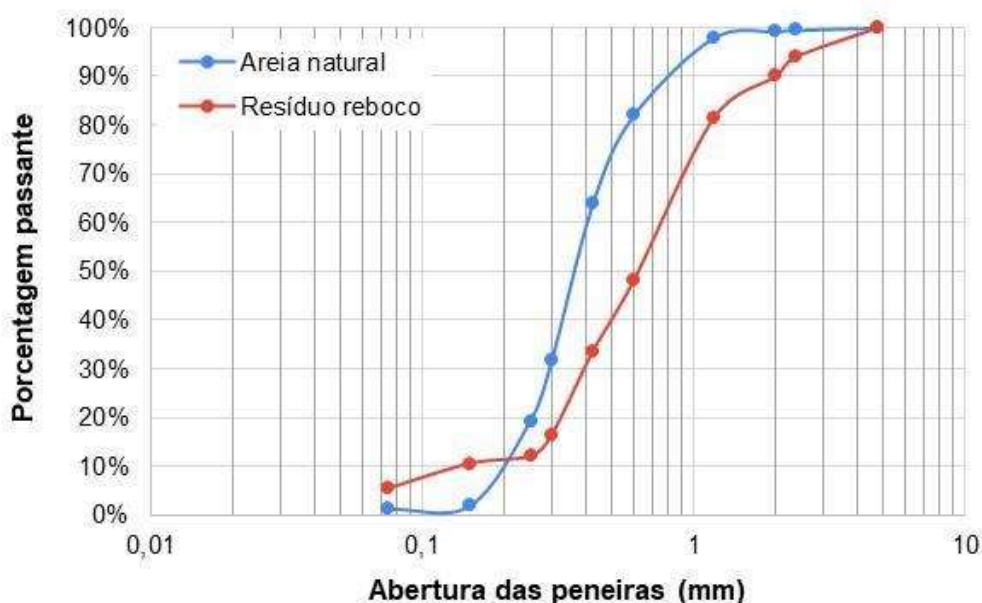
em que:  $C$  absorção de água por capilaridade,  $m_{sat}$  é a massa saturada do corpo de prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado, em gramas;  $m_s$  é a massa do corpo de prova seco, em gramas;  $S$  é a área da seção transversal, em  $\text{cm}^2$ .

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Caracterização dos agregados

As curvas de distribuição granulométrica da areia e resíduo de reboco são apresentadas na Figura 9 e os resultados obtidos a partir desta estão representados na tabela 3

Figura 9: Curva de distribuição granulométrica da areia e do resíduo utilizado



Fonte: Autor (2023)

Tabela 3: Análise da curva granulométrica

Parâmetros	Agregados	
	Areia	Resíduo
D10 (mm)	0,20	0,14
D50 (mm)	0,37	0,62
D90 (mm)	0,80	2,00
Coefficiente de não uniformidade (Cnu)	2,05	5,36
Coefficiente de curvatura (Cc)	1,03	1,45

Fonte: Autor (2023)

Pode-se observar, nas curvas granulométricas, que o resíduo possui grãos menores que a areia até a porcentagem passante de 10%. A partir desta, o resíduo apresenta grãos maiores em comparação a areia, como constatado nos diâmetros efetivos D50 e D90 apresentados na Tabela 3. Nessa tabela, também estão apresentados os coeficientes de não uniformidade e de curvatura.

Segundo a classificação proposta por Allen-Hazzen (1930), o coeficiente de não uniformidade mostra que a areia apresenta distribuição uniforme por apresentar coeficiente menor que 5, ou seja, os grãos possuem dimensões aproximadas. O resíduo é classificado como medianamente uniforme, coeficiente com valor entre 5 e 15.

Para a classificação quanto ao coeficiente de curvatura, segundo Pinto (2006), ambos os agregados apresentaram valores entre 1 e 3, ou seja, são considerados bem graduados.

Na tabela 4 estão apresentados os resultados dos ensaios de densidade, absorção de água, massa unitária, índice de vazios e teor de material pulverulento dos agregados analisados.

Tabela 4: Propriedades dos agregados estudados

Propriedades	Agregados	
	Areia	Resíduo
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	2,61	2,54
Absorção de água (%)	9,82	9,58
Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> )	1495	1325
Índice de vazios (%)	42,68	47,86
Teor de material pulverulento (%)	1,45	10,61

Fonte: Autor (2023)

Os resultados de densidade e absorção de água demonstraram que o resíduo possui uma pequena diferença em comparação com a areia, 2,7% menor em relação a densidade e 2,4% menor em relação a absorção. O resultado para absorção de água de 9,58% para o resíduo atende a NBR 15116 (ABNT, 2021) que estabelece o limite de 12% para agregados reciclados na utilização em argamassas.

A massa unitária do resíduo foi 11% menor e o índice de vazios 12% maior em relação a areia. O teor de material pulverulento no resíduo é cerca de 7,3 vezes superior ao apresentado pela areia natural. Segundo Martins Filho (2020) teores de 5% de material fino são considerados ótimos e que esse valor pode chegar até 10% ainda apresentando bons resultados quanto a resistência a aderência. O teor de 11% encontrado extrapola moderadamente os resultados encontrados por Martins Filho (2020).

A definição de empacotamento de partículas pode ser compreendida como: vazios maiores que são preenchidos com partículas menores, cujos vazios serão novamente preenchidos com partículas ainda menores, e assim sucessivamente. A presença de partículas finas nos agregados tende a reduzir os vazios e, conseqüentemente, provocar o aumento da densidade e da massa unitária (LOPES, 2019; CARASEK, 2016). Nota-se que apesar da maior quantidade de material pulverulento apresentada pelo resíduo, essa não foi suficiente para promover alterações na compacidade do material.



### 3.2. Propriedades das argamassas no estado fresco

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados de densidade de massa, índice de consistência e teor de ar incorporado das argamassas estudadas conforme o aumento do teor de substituição de areia por resíduo.

Tabela 5: Resultados dos ensaios no estado fresco

<b>Argamassa</b>	<b>Teor de Substituição (%)</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Teor de ar incorporado (%)</b>	<b>Índice de consistência (mm)</b>
REF	0	2,00	11,35	232
A25	25	1,91	14,99	236
A50	50	1,85	17,33	237
A75	75	1,77	20,35	237
A100	100	1,72	22,57	250

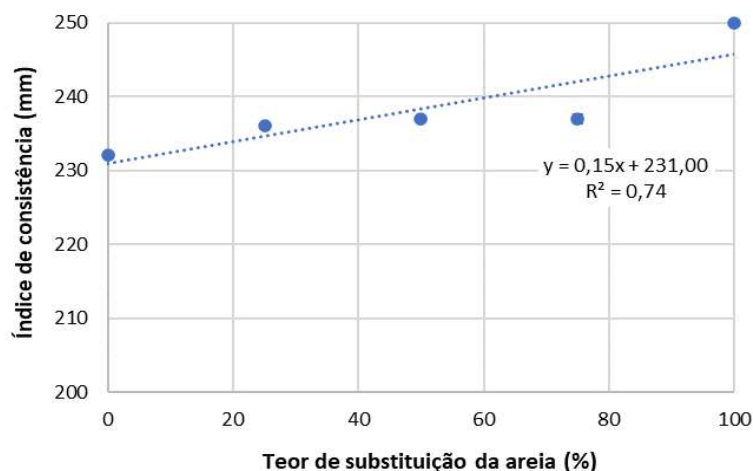
Fonte: Autor (2023).

A densidade de massa das argamassas reduz na medida que o teor de substituição da areia pelo resíduo aumentou; observa-se que para a argamassa A100 houve uma diminuição de 14% em comparação à REF. O teor de ar incorporado, por sua vez, aumentou com o acréscimo do teor de resíduo.

De acordo com Carasek (2010) a densidade de massa das argamassas varia conforme o teor de ar e a densidade dos materiais constituintes, principalmente a dos agregados. Logo, pela diferença da densidade dos agregados (2,61 para a areia e 2,54 g/cm<sup>3</sup> para o resíduo) serem pequenas, a distinção entre a densidade de massa verificada nas argamassas estudadas pode ser justificada principalmente pelo teor de ar incorporado, produzindo uma argamassa com maior porosidade.

Na Figura 10 está apresentado o índice de consistência das argamassas em função do teor de substituição de areia pelo resíduo de reboco.

Figura 10: Índice de consistência das argamassas em função do teor de substituição de areia pelo resíduo



Fonte: Autor (2023).

O índice de consistência se manteve dentro da margem de  $240 \pm 10$  mm para todas as argamassas estudadas. No entanto, nota-se que na medida em que se aumentou o teor de substituição da areia pelo resíduo maior o índice de consistência, ou seja, maior o espalhamento da argamassa.

Os resultados obtidos divergiram de Carasek (2016). Os autores verificaram que arranjos de agregados menos empacotados (mais porosos), principalmente contendo partículas mais angulosas e menos esféricas, tendem a apresentar menor espalhamento e menor densidade de massa. Esta diferença entre os resultados pode ser explicada pelos parâmetros influentes no empacotamento das partículas, como a distribuição granulométrica, a forma e a geometria das partículas, os teores de finos. O fato de o resíduo possuir grãos maiores que areia e a quantidade de finos possivelmente não ser suficiente para cooperar com o empacotamento, em quantidades fixas de água (em massa) resultou em uma pasta mais fluida (com menor índice de consistência).

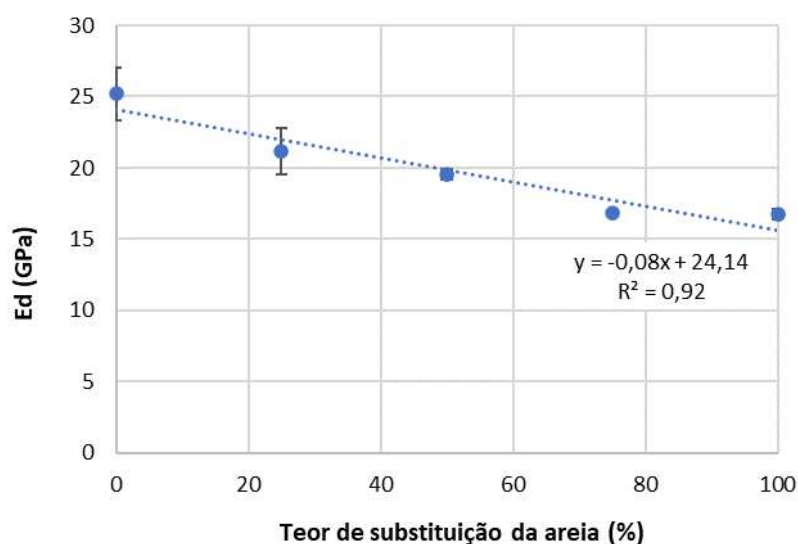
De acordo com Carasek (2010) quanto mais leve a argamassa, menor será o esforço do operário para a sua aplicação, o que tende a resultar em um aumento de produtividade na execução de revestimentos. A redução da densidade, maior teor de ar incorporado e espalhamento proporcionado pela substituição da areia pelos resíduos pode facilitar a aplicação da argamassa, minimizando o esforço do operário, uma vez que é uma argamassa mais leve. O uso dessas argamassas pode propiciar uma diminuição de cargas de estruturas.

### 3.3. Propriedades das argamassas no estado endurecido

#### 3.3.1. Módulo de elasticidade dinâmico

O módulo de elasticidade mede a capacidade das argamassas em absorver deformações e a argamassa de revestimento deve suportar a carga aplicada sem fissurar (JESUS *et al.*, 2019). O módulo de elasticidade dinâmico foi determinado aos 28 dias e os resultados são apresentados na Figura 11.

Figura 11: Módulo de elasticidade dinâmico ( $E_d$ ) em função do teor de substituição da areia pelos resíduos de argamassa, aos 28 dias.



Fonte: Autor (2023).

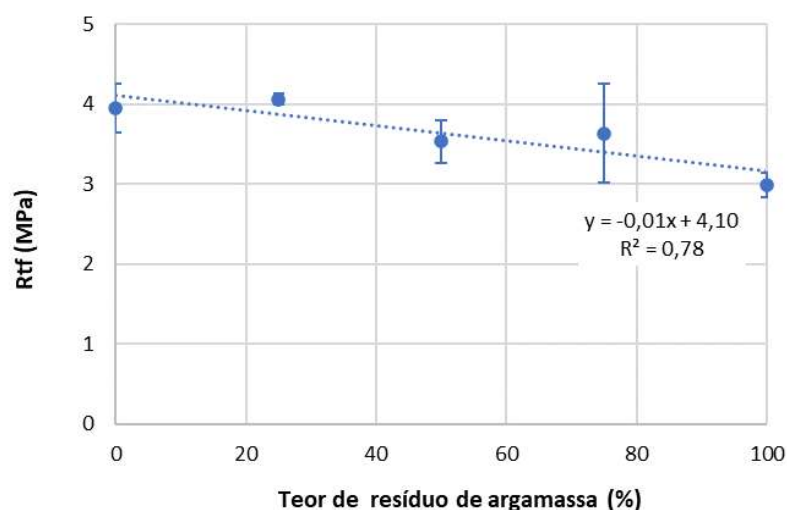
Nota-se que há uma correlação linear entre o módulo de elasticidade dinâmico e o teor de substituição da areia pelo resíduo. Quanto maior o teor de resíduo menor o módulo de elasticidade. Argamassas com 75% e 100% de resíduo apresentaram uma redução de 34% do módulo de elasticidade dinâmico em comparação à referência. Essa redução do módulo de elasticidade provavelmente ocorreu devido ao aumento da porosidade da argamassa conforme a incorporação de resíduo.

O uso do resíduo de reboco diminuiu a compacidade das argamassas, aumentando sua deformabilidade, o que resulta em um menor módulo de elasticidade.

### 3.3.2. Resistência à tração na flexão e à compressão

De modo geral, a substituição da areia pelo resíduo tende a reduzir a resistência à tração na flexão das argamassas, como é mostrado na Figura 12. No entanto, observou-se um aumento de 3% para a argamassa com 25% de resíduo. A maior redução foi de 24,3% para a argamassa com 100% de resíduo.

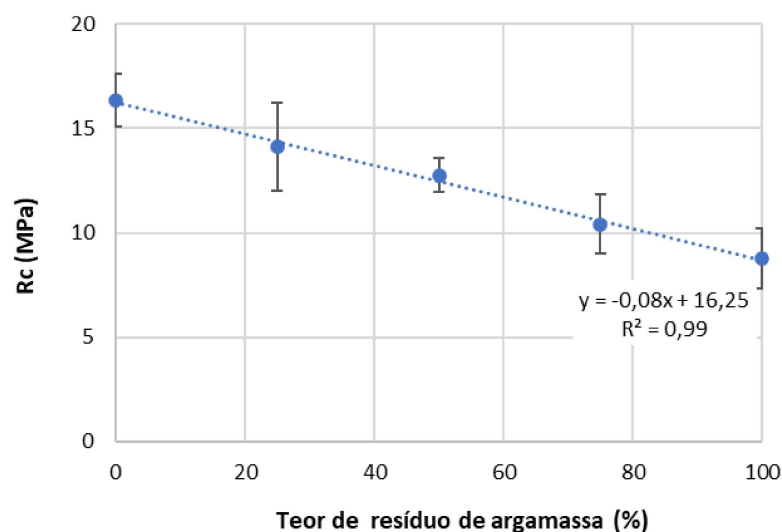
Figura 12: Resistência à tração na flexão (R<sub>tf</sub>) em função do teor de substituição da areia pelos resíduos de argamassa, aos 28 dias



Fonte: Autor (2023).

Tal como a resistência à tração na flexão, a resistência à compressão das argamassas diminuiu com o acréscimo do teor de resíduo na argamassa como pode ser observado na Figura 13. Para argamassa com 100% de resíduo, a redução foi de 46,4% em relação à referência. A diminuição do módulo de elasticidade dinâmico é consistente com a diminuição da resistência mecânica verificada.

Figura 13: Resistência à compressão ( $R_c$ ) em função do teor de substituição da areia pelos resíduos de argamassa, aos 28 dias.



Fonte: Autor (2023).

### 3.3.3. Absorção de água por imersão e por capilaridade

Os resultados de absorção por imersão, índice de vazios e massa específica das argamassas estudadas estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Resultados do ensaio de absorção por imersão

<b>Argamassa</b>	<b>Absorção média por imersão (%)</b>	<b>Índice de Vazios (%)</b>	<b>Massa específica real (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>AREF</b>	11,10	20,71	2,35
<b>A25</b>	12,35	21,66	2,24
<b>A50</b>	13,22	22,20	2,14
<b>A75</b>	14,46	23,15	2,10
<b>A100</b>	15,96	24,76	2,06

Fonte: Autor (2023)

Os resultados indicam que houve um aumento da capacidade de absorção e índice de vazios das argamassas com a substituição da areia pelo resíduo. O aumento do índice de vazios pode ser explicado pela granulometria dos resíduos de argamassa que são maiores e, possivelmente, mais irregulares quando comparados

à areia. Segundo Quarcioni *et al.* (2009), a porosidade da argamassa tem relação direta com o índice de vazios dos agregados. Uma vez que as argamassas foram produzidas com quantidade de água e cimento (em massa) fixos, a alteração no volume de pasta devido ao volume de vazios deixado pelos grãos do resíduo uma vez explica o acréscimo da porosidade.

O incremento no índice de vazios explica a redução das propriedades mecânicas com o acréscimo dos resíduos na argamassa.

Na tabela 7 estão apresentados os resultados da absorção de água por capilaridade ao longo do tempo para as argamassas estudadas.

Tabela 7: Resultados do ensaio de absorção por capilaridade

<b>Tempo (horas)</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>24</b>	<b>48</b>	<b>72</b>
<b>Absorção por capilaridade (g/cm<sup>2</sup>)</b>					
<b>AREF</b>	0,274	0,416	0,784	1,114	1,339
<b>A25</b>	0,317	0,464	0,864	1,268	1,541
<b>A50</b>	0,347	0,479	0,797	1,161	1,405
<b>A75</b>	0,340	0,484	0,865	1,223	1,464
<b>A100</b>	0,362	0,515	0,907	1,242	1,555

Fonte: Autor (2023).

Observa-se que a maior diferença na absorção por capilaridade acontece nas primeiras 3 horas de imersão, de 32,12% para o teor de 100% de substituição e que há menores diferenças com o passar do tempo, sendo que para as medições realizadas com 72 horas de imersão o maior aumento foi de 16,13% também para o teor de 100%. Ou seja, inicialmente os corpos de prova com maior incremento de resíduos tendem absorver água com maior velocidade mas com o avanço do tempo em imersão tendem a aproximar os coeficientes. O aumento deste coeficiente pode ser justificado devido ao índice de vazios nas argamassas produzidas com maior teor de substituição.

O aumento de absorção por imersão e por capilaridade corrobora com a redução das propriedades mecânicas serem causadas pelo aumento da porosidade das argamassas no estado endurecido como apresentado anteriormente.

### 3.4. Classificação das argamassas segundo a NBR 13281

A NBR 13281 (2005) especifica os requisitos exigíveis para a argamassa utilizada em assentamento e revestimento de paredes e tetos. A norma apresenta classificação para as propriedades: resistência à compressão, densidade de massa aparente no estado endurecido, resistência à tração na flexão, coeficiente de capilaridade, densidade de massa no estado fresco, retenção de água e resistência potencial de aderência à tração. Os ensaios de coeficiente de capilaridade (de acordo com a NBR 15259), retenção de água e a resistência potencial de aderência não foram realizados. Na Tabela 8 apresenta a classificação das argamassas estudadas de acordo com os critérios da NBR 13281 para os ensaios realizados.

Tabela 8: Classificação das argamassas segundo a NBR 13281 (2005)

Requisitos		Argamassas estudadas				
		AREF	A25	A50	A75	A100
Resistência à compressão (Mpa)	Classe	P6	P6	P6	P6	P6
	Valor de referência	> 8,0	> 8,0	> 8,0	> 8,0	> 8,0
Densidade de massa aparente no estado endurecido (Kg/m <sup>3</sup> )	Classe	M6	M6	M6	M6	M6
	Valor de referência	> 1800	> 1800	> 1800	> 1800	> 1800
Resistência à tração na flexão (Mpa)	Classe	R6	R5	R5	R5	R4
	Valor de referência	> 3,5	2,7 a 4,5	2,7 a 4,5	2,7 a 4,5	2 a 3,5
Densidade de massa no estado fresco (Kg/m <sup>3</sup> )	Classe	D5	D5	D5	D4	D4
	Valor de referência	1800 a 2200	1800 a 2200	1800 a 2200	1600 a 2000	1600 a 2000

Fonte: Autor (2023).

Como pode ser observado, as argamassas com teor de substituição de 25 e 50% se diferem da referência apenas em relação resistência à tração na flexão; as com teores de substituição de 75 e 100%, além da resistência à tração na flexão

também apresentam valores distintos de densidade de massa no estado fresco, porém ainda apresentam valores próximos.

Nota-se que a substituição da areia pelo resíduo não afetou o comportamento das argamassas de modo expressivo e segundo a classificação são tecnologicamente iguais. Pode-se concluir que todas as argamassas se mostram adequadas para utilização em revestimentos.

#### **4. CONCLUSÃO**

Com base nos resultados obtidos, verificou-se que o uso de resíduo oriundo da etapa de sarrafeamento da argamassa apresenta potencial para ser utilizado como agregado na produção de novas argamassas. Nota-se que houve um incremento no espalhamento das argamassas e teor de ar incorporado, e redução da densidade de massa com o acréscimo do teor de resíduos ocasionado pela maior granulometria do resíduo em comparação à areia natural. Essa diferença no tamanho das partículas provocou o aumento do índice de vazios e, conseqüentemente, reduziu as propriedades mecânicas.

De acordo com os critérios da NBR 13281 (2005) todas as argamassas produzidas são tecnologicamente iguais às de referência, o que sugere que são indicadas para o uso em assentamento e/ou revestimentos.

O maior benefício na utilização deste agregado seria em termos ambientais, pois daria destino às toneladas de materiais que são descartados em aterros e contribuiria para a redução de extração de areia, uma vez que sua escassez é prevista para as próximas décadas. Além disso, o fator econômico também tem sua importância, pois com a escassez da areia natural os preços tendem a aumentar e a obtenção de substitutos com características similares pode gerar economia em uma obra.



## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes 54 e tetos – Índice De Consistência. Rio de Janeiro, 2016. 2p.

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. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos. Rio de Janeiro, 2005. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15630: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 2019. 4 p.

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. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16916: Agregado miúdo — Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2003. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16973: Agregados: Determinação do material fino m, por lavagem. Rio de Janeiro, 2021. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: Cimento Portland e outros materiais em pó - determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2019. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45: Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006. 8 p.

BENDIXEN *et al.* Time is running out for sand: Sand and gravel are being extracted faster than they can be replaced. Monitor and manage this resource globally, urge Mette Bendixen and colleagues.. **Nature**, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-019-02042-4>. Acesso em: 01 out. 2022.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Construção civil é a locomotiva do crescimento, com emprego e renda. **CBIC**, 2020. Disponível em: <https://cbic.org.br/construcao-civil-e-a-locomotiva-do-crescimento-com-emprego-e-renda/>. Acesso em: 13 fev. 2023.

CARASEK. **Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento**. 03. ed. Rio de Janeiro: Revista Matéria, 2016. 714-732 p. v. 21.

CARASEK. Argamassas. In: ISAIA, Geraldo Chechela (org). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2 ed. São Paulo: IBRACON, 2010.

HAZEN. **The Filtration of Public Water-Supplies**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1930.

JESUS; MAIA; FARINHA; DE BRITO; VEIGA. **Rendering mortars with incorporation of very fine aggregates from construction and demolition waste**. Lisboa, Portugal: Elsevier, 2019.

MARTINS FILHO. **Influência do Teor de Material Fino na Aderência de Revestimentos Contedo RCD**. -3. ed. João Pessoa: XIV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2021.

MENOSSEI. **Utilização do Pó de Pedra Basáltica em Substituição a Areia Natural do Concreto**. Dissertação em Engenharia. UNESP. 110p. Ilha Solteira-SP, 2004.

NEWCOMB. Earth Is Running Out of Sand ... Which Is, You Know, Pretty Concerning: Sand is the second most-used resource after water, but it's unregulated and ripping environments apart.. **Popular Mechanics**, 2022. Disponível em:

<https://www.popularmecha.com/science/environment/a39880899/earth-is-running-out-of-sand/>. Acesso em: 01 out. 2022.

PINTO. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 367 p. v. 7.

QUARCIONI, V.A., CHOTOLLI, F.F., ÂNGULO, S.C., et I., “Estimativas da porosidade de argamassas de cimento e cal pelo método de cálculo de volumes”, *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v.9, n.4, pp. 175-187, out/dez. 2009.

REIS *et al.* **Quantificação dos potenciais impactos ambientais da argamassa na etapa de produção e aplicação em obra: Estudo ACVM**. São Paulo: SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2017.

SPINI. **Efeito do método de mistura nas propriedades de argamassas com poliestireno expandido**. 2021. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Materiais de Construção Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.