

## Propriedades de argamassas de cimento produzidas com resíduo de isolador de porcelana

### Properties of cement mortars with porcelain insulator waste

Gladis Camarini <sup>1</sup>, Márcio da Silva Soares <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Aglomerantes e Resíduos - LARES, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - FEC, Universidade Estadual de Campinas - unicamp, LARES-FEC-UNICAMP, CP: 6143 – CEP 13083-889. Barão Geraldo, Campinas, SP

e-mail: gcamarini@gmail.com

<sup>2</sup> Laboratório de Aglomerantes e Resíduos - LARES, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - FEC, Universidade Estadual de Campinas - unicamp, LARES-FEC-UNICAMP, CP: 6143 – CEP 13083-889. Barão Geraldo, Campinas, SP

e-mail: marciocps22@yahoo.com.br

---

#### RESUMO

O uso de materiais alternativos que minimizem o uso de recursos naturais bem como o impacto ambiental tem sido objeto de diferentes estudos. As argamassas consomem grande quantidade de areia, um recurso natural que os grandes centros urbanos estão com dificuldade de encontrar. A areia de resíduo de isolador de porcelana pode ser uma alternativa, pois a quantidade de resíduo gerada é significativa. Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de pastas e argamassas nos estados fresco e endurecido quando se utiliza o resíduo substituindo o cimento e também a areia natural. Os materiais empregados foram cimento Portland CP II F 40, areia natural de rio e resíduo de isolador de porcelana em duas finuras: material passante na peneira de 2,4 mm e passante na peneira de 75 µm. O cimento foi substituído pelo pó (0%, 10%, 20%, e 30%) e a areia natural foi substituída pela areia de resíduo (0%, 25%, 50%, 100%). Nas pastas foram determinados os tempos de pega e, nas argamassas (relação água/aglomerante 0,8), a consistência, as resistências à compressão e à tração na flexão, e a permeabilidade ao ar nas idades de 7, 28 e 90 dias. Os resultados indicaram que o aumento da quantidade de resíduo aumentou os tempos de pega e houve perda de fluidez, embora as argamassas ainda fossem trabalháveis. A quantidade de areia de resíduo interferiu nas resistências mecânicas das argamassas, mas individualmente as argamassas apresentaram aumento de resistência com a idade. Em geral, os resultados da substituição do cimento e da areia pelo resíduo de isolador de porcelana indicaram bons resultados e a possibilidade de seu uso em argamassas.

**Palavras-chave:** areia, isolador de porcelana, argamassa, consistência, propriedades mecânicas.

---

#### ABSTRACT

The use of alternative materials to minimize the use of natural resources and also the environmental impacts have been the subject of various researches. Mortars consume large amounts of sand, a raw material that is scarce and not found in urban centers. The sand from electrical insulator waste can be an alternative, since the amount of waste generated is great. The objective of this study is to evaluate the performance of pastes and mortars in fresh and hardened states when using the waste as replacement of Portland cement and also as natural sand. The materials used were Portland cement CP II F 40, natural river sand, and the waste from porcelain insulator in two fineness: material smaller than 2.4 mm and smaller than 75 µm. The cement was replaced by the porcelain powder (0%, 10%, 20% and 30%) and the natural sand was replaced by different amounts of porcelain waste (0%, 25%, 50%, 100%). Setting times were made in cement pastes and the tests on mortars (water/binder ratio 0.8) were consistency, compressive strength, tensile strength, and air permeability at the ages of 7, 28 and 90 days. The increase of the waste content increased the setting times and diminished the mortar fluidity, but the workability was maintained. The mechanical strength decreased, but each mortar showed a resistance increase with age. In general, the results of replacing cement and sand by the

porcelain insulator waste had good results and makes it possible to be used in mortars.

**Keywords:** sand, porcelain insulator, mortar, consistency, mechanical properties.

---

## 1. INTRODUÇÃO

O uso de agregados artificiais em argamassas e concretos vem aumentando com a escassez das jazidas de areia natural e, conseqüentemente os custos de transporte de areia de outros locais mais distantes para os centros consumidores com alta demanda tem levado as empresas a escolherem areias alternativas, em particular areias de resíduos de britagem de rochas. Alguns fatores além da exaustão das reservas, tais como a contaminação das fontes pela poluição e as restrições ambientais à extração em várzeas e leitos de rios podem dificultar a extração de areia. Além disso, há uma demanda crescente no consumo de areia. Em 2014 a produção de areia para a Construção Civil foi de 391 milhões de toneladas 0.

Há vários trabalhos divulgados sobre o uso de areias alternativas em argamassas [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Carasek et al. [6] estudaram o uso de areias de britagem na consistência e densidade de massa em argamassas de revestimento, concluindo que a massa unitária é um parâmetro relevante para a trabalhabilidade. Kazmierczak et al [7] estudaram o fíler de areia de britagem nas argamassas de revestimento, concluindo que a adição de 10% de finos melhoram a trabalhabilidade, as propriedades mecânicas e mantém a retração dentro de limites aceitáveis. Ledesma et al [8] avaliaram o uso de areia resultante da britagem de resíduos de construção e demolição de alvenarias, em quantidades variando de 25% a 100% de substituição do agregado natural. Os resultados indicaram que a trabalhabilidade é prejudicada e a quantidade máxima de substituição deve ser 50%. Bilir et al [9] utilizaram cinzas volantes como agregado miúdo e concluíram que a substituição do agregado natural pelo agregado de cinzas volantes em 60% a 70% sem alterar significativamente as propriedades das argamassas.

Um material alternativo para as areias em argamassas é o resíduo de isolador de porcelana (IP). O descarte destes isoladores já está se tornando um problema em diversos países, inclusive no Brasil. Só no Japão duas empresas de energia produziram 6800 toneladas deste resíduo [10,11] que foram reciclados para pavimentação de rodovias. O Brasil produz em torno de 30.000 toneladas por ano de IP e durante o processo produtivo há uma perda de, aproximadamente, 10% [12]. Além da perda inerente ao processo de fabricação, ainda há a questão do descarte destes isoladores inservíveis. Somente na região metropolitana de Campinas, Estado de São Paulo, esse descarte gira em torno de 25 toneladas ao mês. Todo esse material tem sido descartado em aterros, ou até mesmo em locais clandestinos [13].

Os estudos sobre o reaproveitamento dos resíduos de IP ainda são poucos, o que motiva novos estudos sobre o uso potencial deste material reciclado na construção civil, em substituição e/ou adição ao cimento [14,15], em concretos [16, 17,18] e em argamassas [19,20]. As pesquisas que utilizam o resíduo de IP como substituição ao cimento Portland, ou como agregado miúdo foram pouco exploradas, não se encontrando na literatura trabalhos que utilizam o resíduo de IP como adição ao cimento e ao mesmo tempo como agregado miúdo para argamassas.

Portanto, para suprir essa lacuna, este trabalho avaliou o uso de resíduo de IP em argamassas de cimento Portland, utilizando-o em pó como substituição ao cimento e como areia em substituição da areia natural. O trabalho foi conduzido em várias etapas, avaliando as principais propriedades das argamassas no estado fresco e no estado endurecido.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho estudou-se o uso da IP em argamassas com duas funções diferentes: em pó para substituição do cimento; e como agregado miúdo para substituição de areia natural em argamassas convencionais. A Figura 1 apresenta o delineamento da pesquisa para melhor entendimento do plano experimental, ilustrando as etapas deste estudo.

Para determinar a influência da IP na pasta de cimento e nas propriedades da argamassa, este estudo experimental foi subdividido em três etapas, nas quais foram produzidas pastas e argamassas para avaliar o desempenho do resíduo de IP.

A escolha em utilizar neste estudo somente a argamassa de cimento ocorreu devido ao uso do pó de IP em substituição ao cimento Portland. Essa substituição permitiria também avaliar se seria possível, além de utilizar o resíduo como agregado, utilizá-lo como material pozolânico. Para isso, fez-se o ensaio de perda de condutividade elétrica para avaliar a pozolanicidade do pó de IP. Além disso, não haveria influência de outros aglomerantes (cal hidratada, por exemplo) nas reações com o resíduo; somente a participação do cimento Portland.

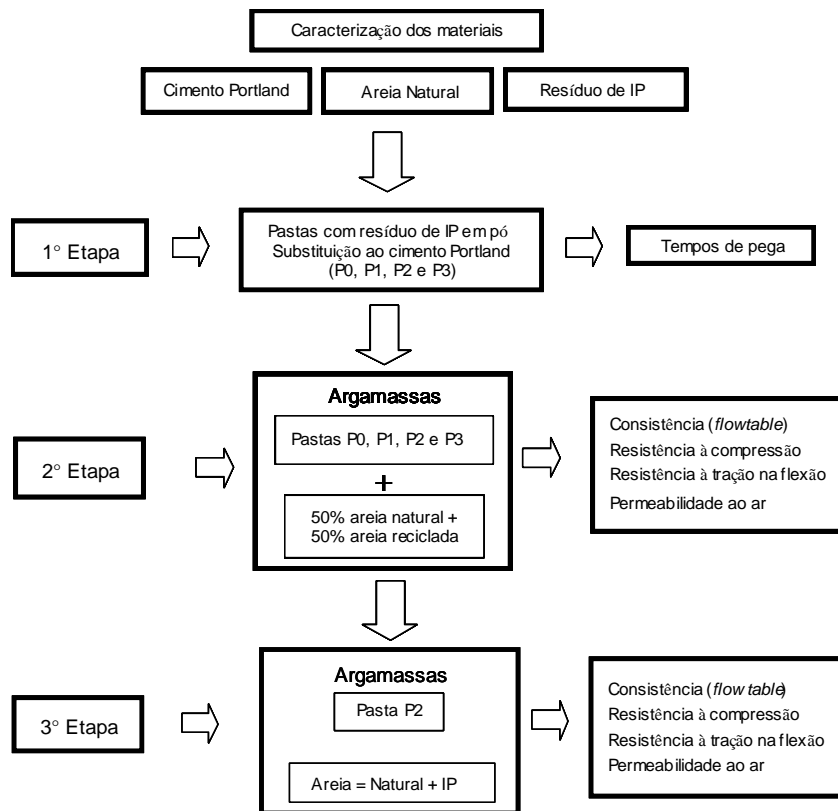


Figura 1: Delineamento da pesquisa experimental.

Antes de iniciar a produção das argamassas fez-se a caracterização dos materiais constituintes: cimento Portland, areia natural, pó e areia de IP. Em seguida iniciou-se o estudo experimental de pastas e argamassas com o IP. Na primeira etapa, os tempos de pega de pastas com o IP em substituição ao cimento foram avaliados. Com base nesses resultados, iniciou-se a segunda etapa com a produção de argamassas com as duas areias, natural e de IP. Baseado neste resultado, iniciou-se a terceira etapa do estudo experimental com variações nas quantidades de areia de porcelana.

Nas argamassas foram avaliadas a consistência, as resistências à compressão e à tração na flexão, e a permeabilidade ao ar nas idades de 7, 28 e 90 dias.

## 2.1 Materiais

Os materiais utilizados neste trabalho foram cimento Portland CP II F 40, areia natural e resíduo de IP. As características do cimento CP II F 40 encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Características do cimento Portland CP II F 40.

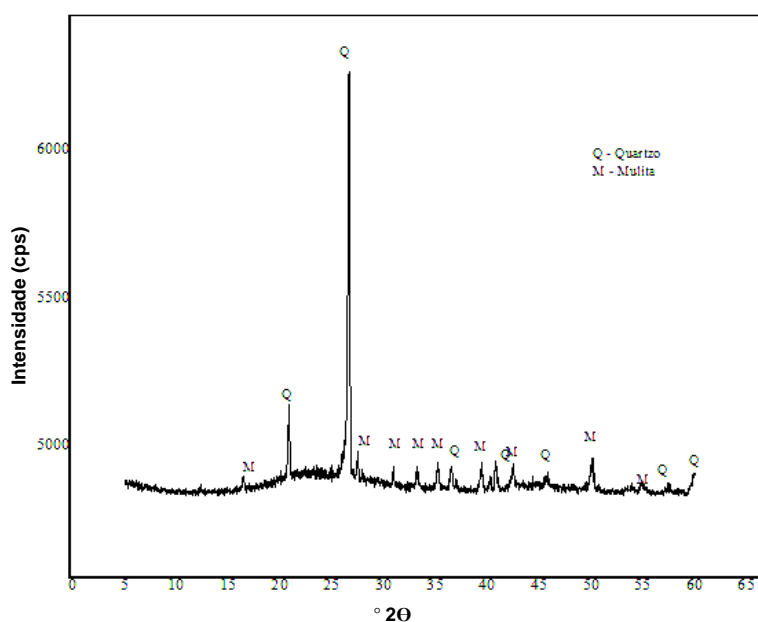
| Ensaio Químico                         | Resultados (%) |
|--|----------------|
| MgO (%)                                | 6,12           |
| PF 1000 °C (%)                         | 5,26           |
| Res. Insolúvel (%)                     | 1,63           |
| SO <sub>3</sub> (%)                    | 2,75           |
| Ensaio Físico                          | Resultados     |
| Retido Peneira 75 µm (%) [21]          | 0,1            |
| Blaine (m <sup>2</sup> /kg) [22]       | 493            |
| Água para consistência normal (%) [23] | 30             |

|                                     |        |      |
|-------------------------------------|--------|------|
| Tempo de Pega (min) [23]            | Início | 190  |
|                                     | Fim    | 261  |
| Resistência à compressão (MPa) [24] | 1      | 12,3 |
|                                     | 3      | 26,1 |
|                                     | 7      | 35,2 |
|                                     | 28     | 52,2 |

O resíduo de IP foi moído para obter material pulverulento passante na peneira de 75  $\mu\text{m}$  para ser utilizado na substituição do cimento Portland. A finura Blaine do pó de IP foi de 501  $\text{m}^2/\text{kg}$  [22]. A composição química do resíduo IP encontra-se na Tabela 2 e o difratograma de raios-X na Figura 2.

**Tabela 2:** Composição química do IP.

| Óxidos                         | Teor (%) |
|--------------------------------|----------|
| SiO <sub>2</sub>               | 63,707   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 17,941   |
| K <sub>2</sub> O               | 7,215    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,133    |
| CaO                            | 2,658    |
| SO <sub>3</sub>                | 2,576    |
| Cl                             | 1,417    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,172    |
| MgO                            | 0,019    |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,768    |
| CrO <sub>3</sub>               | 0,031    |
| MnO                            | 0,125    |
| NiO                            | 0,008    |
| ZnO                            | 0,038    |
| SrO                            | 0,021    |
| ZrO <sub>2</sub>               | 0,169    |



**Figura 2:** Difratograma do resíduo de IP.

As características da areia natural e da areia de IP estão apresentadas na Tabela 3 e a Figura 3 ilustra as curvas da distribuição granulométrica das areias, ensaio realizado conforme a NBR NM 248 [25]. A areia

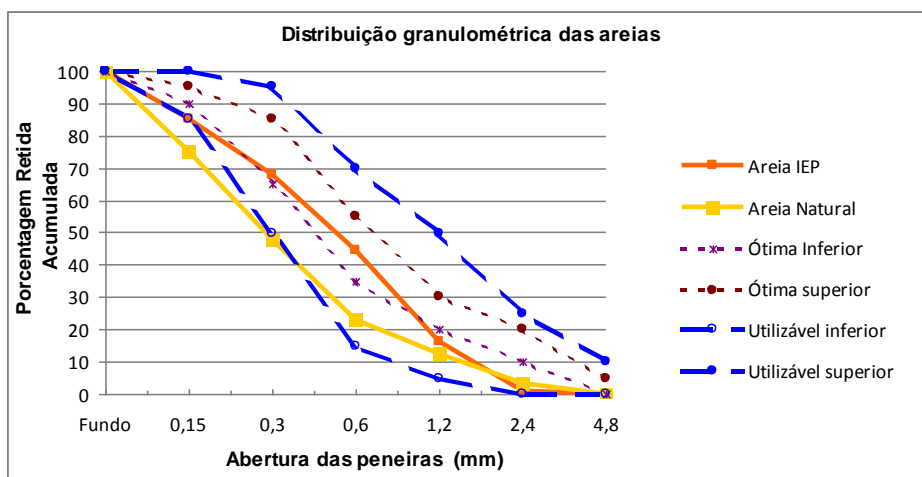
de IP utilizada foi o material passante na peneira de abertura 2,4 mm.

Ao observar as curvas granulométricas nota-se que ambas as areias apresentam uma distribuição contínua. A areia de IP está fora da zona ótima, mas se encaixa dentro da zona utilizável e a areia natural está dentro dos limites estabelecidos pela norma, zona utilizável, mas apresentou 10% de grãos de dimensão 0,15mm abaixo da faixa utilizável inferior.

A dimensão máxima característica é a mesma para as duas areias ( $DMC = 2,4$  mm). A massa específica e a massa unitária da areia de IP são inferiores às da areia natural cerca de 13% e 16%, respectivamente. A quantidade de finos é maior, o que irá influenciar na consistência da argamassa. Ambas as areias são classificadas como muito finas pelo valor do módulo de finura ser inferior a 2,0 ( $MF < 2,4$  corresponde à areia fina e  $MF < 2,0$  à areia muito fina), indicado na ABNT NBR NM 248 [25], apesar de a areia de IP apresentar módulo mais alto.

**Tabela 3:** Características das areias.

| Ensaio  | Areia Natural | Areia de IP |
|---|---------------|-------------|
| Massa Específica ( $\text{kg/m}^3$ ) [26]     | 2760          | 2390        |
| Massa Unitária ( $\text{kg/m}^3$ ) [27]       | 1580          | 1330        |
| Passante Peneira 75 $\mu\text{m}$ (%) [28]    | 2,35          | 6,10        |
| Dimensão máxima característica (mm) [25]      | 2,4           | 2,4         |
| Módulo de finura [25]                         | 1,46          | 1,97        |
| Índice de vazios (e)                          | 0,75          | 0,80        |
| Porosidade (n)                                | 43%           | 44%         |
| Fator de empacotamento ( $E_0$ )              | 57%           | 56%         |
| Coefficiente de curvatura ( $C_c$ )           | 1,3           | 1,0         |
| Coefficiente de não uniformidade ( $C_{nu}$ ) | 5,0           | 5,8         |



**Figura 3:** Distribuição Granulométrica das areias com as zonas ótima e utilizável estabelecidas pela ABNT.

O índice de vazios, a porosidade, o fator de empacotamento, o coeficiente de curvatura e o coeficiente de não uniformidade das areias foi calculado com base no trabalho de Carasek et al. [6]. Esses valores são compatíveis com os resultados obtidos por outros autores que avaliaram areias artificiais em argamassas [2, 4,6]. Os coeficientes de curvatura indicam areias bem graduadas ( $1 \leq C_c \leq 3$ ); e os coeficiente de não uniformidade indicam areias de uniformidade média ( $5 \leq C_{nu} \leq 15$ ).

## 2.2 Misturas experimentais e cura

A primeira etapa foi o estudo da substituição do cimento pelo pó de IP em pastas, avaliando os tempos de início e fim de pega com o emprego do aparelho de Vicat [23]. As substituições de resíduo de IP foram 0% (PC), 10% (Pasta 01 - P1), 20% (Pasta 02 - P2) e 30% (Pasta 03 - P3) (Tabela 4). Considerou-se que o resíduo de IP poderia trazer uma contribuição para a resistência mecânica das argamassas. Portanto, o aglomerante é composto pelos dois materiais: cimento Portland e pó de IP.

**Tabela 4:** Proporções das pastas (etapa 1).

| Pastas                        | Cimento | Pó de IP |
|-------------------------------|---------|----------|
| Pasta controle (PC)           | 100%    | 0%       |
| Pasta 01 (P1)                 | 90%     | 10%      |
| Pasta 02 (P2)                 | 80%     | 20%      |
| Pasta 03 (P3)                 | 70%     | 30%      |
| Relação água/aglomerante 0,34 |         |          |

Na segunda etapa, as argamassas foram produzidas com as pastas avaliadas na primeira etapa (PC, P1, P2, e P3) e com as areias natural e de IP. As misturas experimentais estão detalhadas na Tabela 5. Em todas as argamassas o proporcionamento foi constante, em massa, de 1:4:0,8 (aglomerante : areia seca : água). Em todos os traços foram utilizadas as mesmas quantidades de areia natural (50%) e areia de IP (50%), permitindo avaliar como o aglomerante (cimento + pó de IP) estava interferindo no desempenho das argamassas. A relação água aglomerante das pastas foi escolhida em função da trabalhabilidade, evitando que ficassem muito secas, já que a substituição de cimento Portland pelo pó de IP aumentou a consistência.

**Tabela 5:** Proporções em massa das argamassas com as pastas da etapa 1 (etapa 2).

| Argamassas                     | Pasta  | Areia natural       | Areia de IP |
|--------------------------------|--------|---------------------|-------------|
| AC*                            | 1 (PC) | 4                   | 0           |
| A0                             | 1 (PC) | 2                   | 2           |
| A1                             | 1 (P1) | 2                   | 2           |
| A2                             | 1 (P2) | 2                   | 2           |
| A3                             | 1 (P3) | 2                   | 2           |
| Relação água/aglomerante = 0,8 |        | *Argamassa Controle |             |

A mistura das argamassas foi mecânica, e o procedimento de mistura seguiu as recomendações da norma ABNT NBR 7215 [24].

Nestas argamassas, no estado fresco foi avaliada a consistência [29]. Para avaliar as propriedades no estado endurecido foram moldados corpos de prova prismáticos de 40 x 40 x 160 mm para os ensaios de resistência à compressão e resistência à tração por flexão [30], e cilíndricos 50 x 100 mm para os ensaios de permeabilidade ao ar. A cura dos corpos de prova de argamassa foi realizada em sala climatizada com temperatura a  $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  e umidade relativa do ar a  $60\% \pm 4\%$ .

A partir dos resultados da segunda etapa, fez-se a escolha da pasta para compor a terceira etapa da pesquisa, que foi a pasta P2, composta por 80% de cimento e 20% de pó de IP.

Na terceira etapa foram produzidas argamassas de cimento com a pasta 2 (P2), variando a quantidade de areia de IP (0%, 25%, 50%, 75% e 100%), mantendo constante a relação água/aglomerante. A relação água aglomerante das argamassas foi definida para se ter uma consistência, medida pela mesa de consistência, acima de 175 mm, seguindo a orientação de Neno et al [31], evitando que ficassem muito consistentes e secas com o uso da areia de IP.

A Tabela 6 apresenta as misturas experimentais das argamassas desta terceira etapa.

**Tabela 6:** Proporções em massa das argamassas com as pastas da etapa 2 ( P2) (etapa 3).

| Argamassas                   | Pasta | Areia natural       | Areia de IP |
|------------------------------|-------|---------------------|-------------|
| AC                           | 1 PC  | 4                   | 0           |
| M0                           | 1 PC  | 0                   | 4           |
| M1                           | 1 P2  | 4                   | 0           |
| M2                           | 1 P2  | 3                   | 1           |
| M3                           | 1 P2  | 2                   | 2           |
| M4                           | 1 P2  | 1                   | 3           |
| M5                           | 1 P2  | 0                   | 4           |
| Relação água/aglomerante 0,8 |       | *Argamassa Controle |             |

### 2.3 Métodos de ensaio

Os tempos de pega das pastas foram obtidos com o emprego do aparelho de Vicat, conforme a norma ABNT NBR NM 65 [23].

A atividade pozolânica do IP foi realizada junto com a sílica da casca de arroz (SCA) para fins de avaliação do IP com um material conhecido. O método utilizado foi o da avaliação da condutividade elétrica em uma solução de hidróxido de cálcio e água deionizada, cuja metodologia está detalhada nos trabalhos de Rodrigues [32] e Shiroma [15].

As argamassas foram avaliadas no estado fresco pelo ensaio com a mesa de consistência (*flow table*) seguindo as orientações da norma ABNT NBR 13276 [29] imediatamente após a mistura.

No estado endurecido foram realizados ensaios de resistência à compressão e resistência à tração por flexão. O ensaio de tração por flexão seguiu a norma ABNT NBR 13279 [30] (ensaio com 3 cutelos). As pontas dos corpos de prova dos ensaios de flexão foram utilizadas para realizar o ensaio de resistência à compressão, conforme orientação dessa mesma norma de ensaio.

O equipamento de permeabilidade ao ar empregou corpos de prova cilíndricos. Neste ensaio utilizou-se um permeômetro de carga variável [33, 34, 35].

Todos os ensaios no estado endurecido foram realizados nas idades de 7, 28 e 90 dias. As idades foram escolhidas para avaliar o progresso das propriedades das argamassas ao longo do tempo (90 dias).

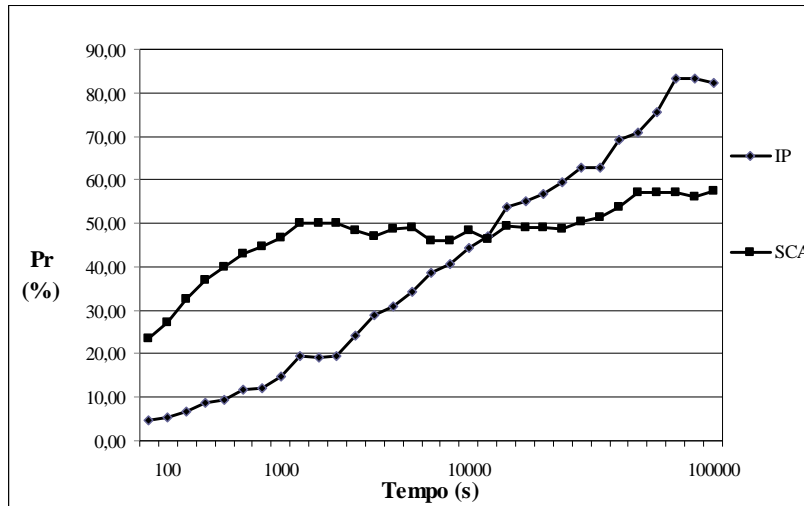
## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item serão apresentados os resultados obtidos nas 3 etapas, detalhadas no programa experimental, para a avaliação das argamassas com resíduo de IP.

### 3.1 Atividade pozolânica do IP

Os resultados da variação da condutividade elétrica da solução representada pela perda relativa de condutividade elétrica ( $Pr$ ) em função do tempo (Figura 5), indicam a atividade pozolânica do IP, resultados também obtidos por Shiroma [15] que avaliou o pó de IP e concluiu que o material apresenta atividade pozolânica.

Quanto maior a perda relativa de condutividade, mais rápida é a reação da sílica com o hidróxido de cálcio para formar o silicato de cálcio hidratado. Há perda de condutividade ao longo do tempo, sendo mais acentuada para a SCA seguida pelo IP. Decorridas aproximadamente 3 horas o IP ultrapassa a SCA, indicativo de reações com o hidróxido de cálcio. Após 6 horas as perdas da SCA se estabilizam e após 27 horas há estabilização do IP, portanto há uma redução na atividade química. Embora com reações mais lentas inicialmente, o IP atinge valores finais superiores aos da SCA.

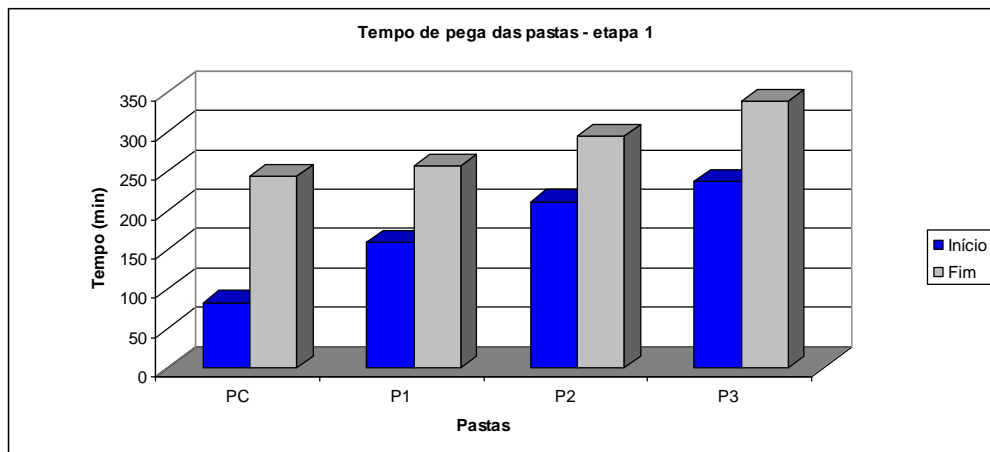


Fonte: Fernandes et al. [36]

Figura 4: Resultados da perda relativa de condutividade elétrica do IP e da SCA.

### 3.2 Avaliação dos tempos de pega nas pastas

Os tempos de início e fim de pega das pastas são apresentados na Figura 4.



| Pasta | Cimento | Pó de IP |
|-------|---------|----------|
| PC    | 100%    | 0%       |
| P1    | 90%     | 10%      |
| P2    | 80%     | 20%      |
| P3    | 70%     | 30%      |

Figura 5: Resultados dos tempos de pega das pastas.

A presença do pó de IP modificou os tempos de pega das pastas. À medida que aumentou a quantidade de resíduo que substituiu o cimento, os tempos de pega aumentaram. Por outro lado, observa-se que a diferença entre o início e o fim de pega diminuiu praticamente pela metade com a substituição.

Ferreira *et al* [14] observaram, por meio de curvas de hidratação de pastas com adição de pó de IP, que a hidratação do cimento é modificada. O aumento na quantidade de resíduo aumenta o tempo de reação e as temperaturas máximas são atingidas em um tempo maior do que o cimento sem adições. Essa característica pode ser importante para situações nas quais deseja-se menor desenvolvimento de calor durante o processo de hidratação do cimento.




### 3.3 Avaliação das argamassas produzidas com todas as pastas - etapa 2

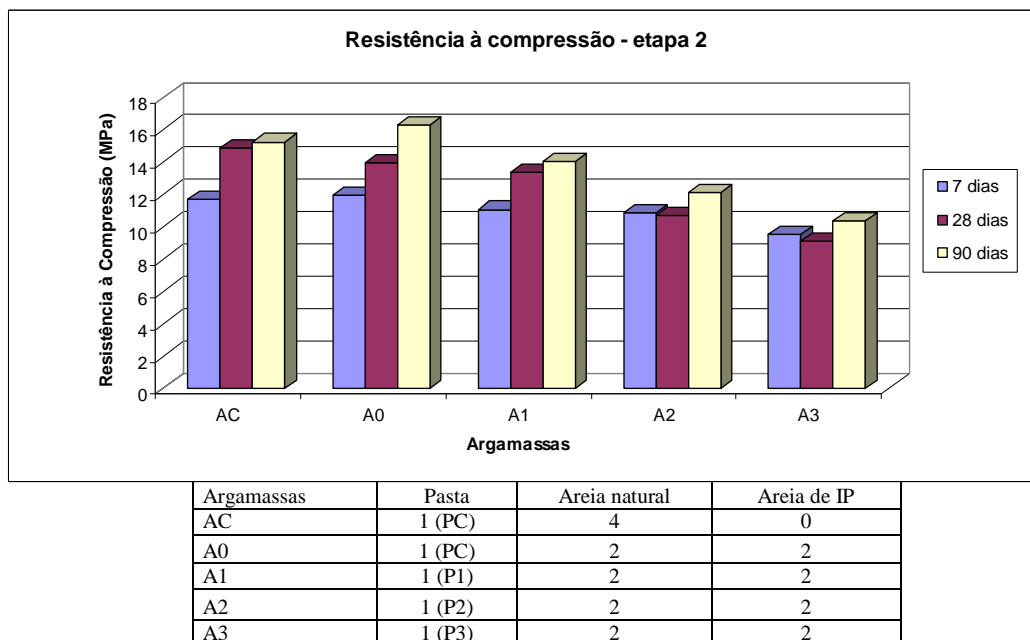
Nesta etapa são apresentados os resultados das argamassas produzidas com as Pastas Controle (AC e A0), e com as pastas 01 (A1), 02 (A2) e 03 (A3), e com 50% de substituição da areia natural pela areia de IP, exceto a pasta controle, produzida com areia natural. A relação água/aglomerante foi mantida constante e igual a 0,8.

Os valores da consistência das pastas estão indicados na Tabela 7. Com a diminuição de areia natural utilizando o mesmo aglomerante (A0) nota-se uma diminuição na consistência da pasta. À medida que se mantém as proporções de areia e modifica-se o aglomerante com mais substituição, a fluidez da pasta diminui em relação ao controle, mas pouco entre as argamassas A1, A2 e A3. Essa diminuição de fluidez ocorreu porque aumentou-se a quantidade de finos, presentes na areia de IP, e não houve alteração na quantidade de água da mistura. A quantidade de água/materiais secos foi mantida, e a maior quantidade de finos fez com que as argamassas ficassem mais consistentes.

**Tabela 7:** Resultado da consistência (*flow table*) das argamassas com todas as pastas (segunda etapa).

| Argamassas | Pasta | Consistência (mm) | Argamassa A0   |
|------------|-------|-------------------|--|
| AC         | PC    | 213               |  |
| A0         | PC    | 203               |  |
| A1         | P1    | 197               |  |
| A2         | P2    | 195               |  |
| A3         | P3    | 192               |  |

Dos resultados de resistência à compressão das argamassas da segunda etapa (Figura 6) observa-se que a A0, com 50% de areia de IP, apresentou resultados semelhantes à AC, com aumento de resistência aos 90 dias. Com a mudança de pasta observa-se uma queda nos valores de resistência à compressão, embora haja um aumento de resistência em todas as argamassas aos 90 dias. Esse fato se deve à menor quantidade de cimento presente nas misturas. Esse crescimento de resistência aos 90 dias pode ser atribuído à reação pozolânica do resíduo de IP [14,15]. No entanto, os valores de resistência alcançados aos 90 dias das argamassas A1, A2 e A3 são bastante satisfatórios, variando entre 71% e 86% da resistência da AC, exceto a A0, que apresentou valores 15% superiores.



**Figura 6:** Resultados da resistência à compressão das argamassas - etapa 2, todas as pastas.

Os resultados obtidos por Beraldo *et al.* [20], Campos [12], Ferreira *et al.* [14], Jacintho *et al.* [37] e Shiroma [15] indicaram que o resíduo de IP, tanto em substituição ao cimento ou utilizado como agregado,

apresenta atividade pozolânica, o que foi confirmado com o resultado do ensaio de condutividade elétrica.

A Figura 7 apresenta o resultado dos ensaios de resistência à tração na flexão das argamassas. Esses resultados seguiram a tendência observada nos resultados de resistência à compressão, isto é, com a modificação das pastas, aumentando a quantidade de pó de IP da argamassa AC e A0 (sem pó de IP), A1 (P1 com 10%), A2 (P2 com 20%) e A3 (P3 com 30%), ocorre a diminuição da resistência à flexão, embora de forma menos acentuada. A resistência à tração na flexão representou cerca de 30% da resistência à compressão.

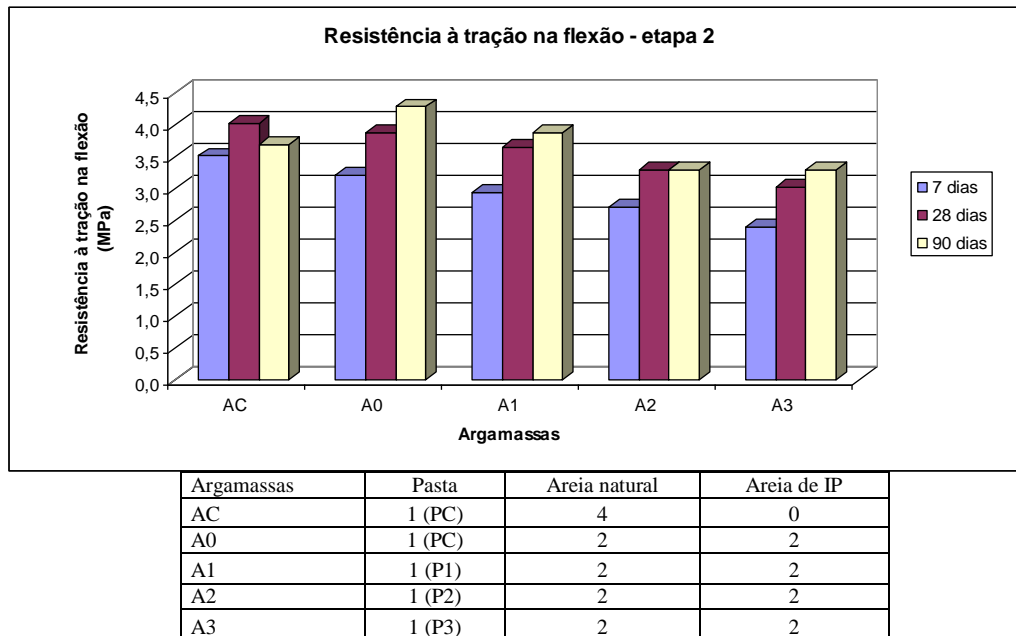


Figura 7: Resultados da resistência à tração na flexão das argamassas - etapa 2, com todas as pastas.

Nos resultados de permeabilidade ao ar das argamassas (Figura 8), a A3 apresentou os maiores coeficientes de permeabilidade com aumento aos 28 dias (provavelmente por problemas operacionais durante o ensaio), seguida de uma diminuição aos 90 dias.

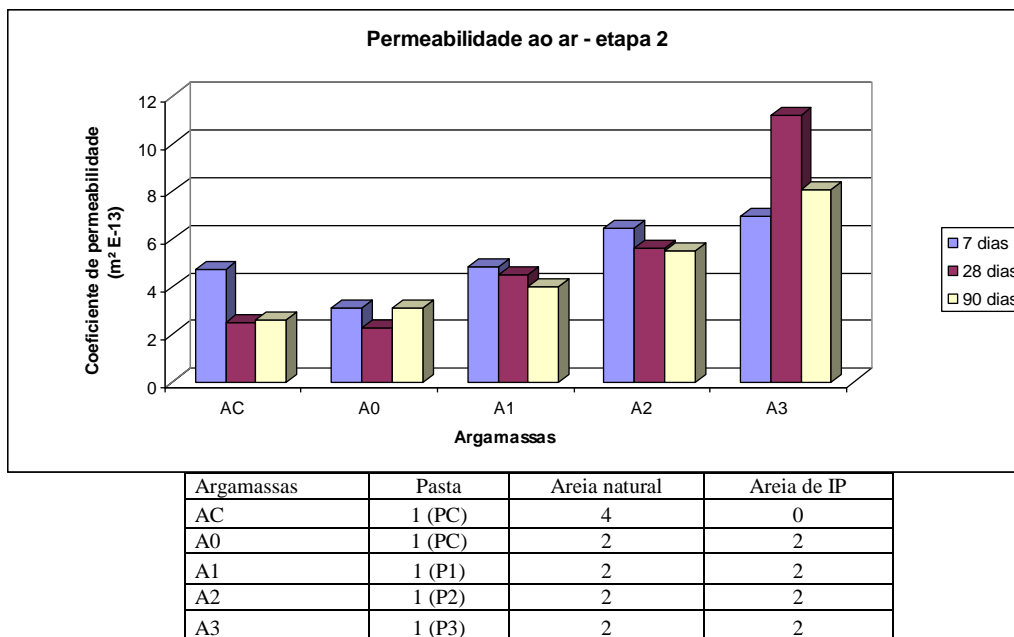


Figura 8: Resultados da permeabilidade ao ar das argamassas - etapa 2, todas as pastas.

Nas argamassas A1 e A2, que contém pastas com pó de IP e areia de IP, observa-se uma diminuição da permeabilidade ao ar. Embora seja pequena, é um indicativo de reações tardias que provocaram o fechamento dos poros. Aqui pode estar ocorrendo o efeito pozolânico do IP, pois suas reações são mais lentas, conforme os resultados de perda de condutividade elétrica, podendo proporcionar melhor distribuição de poros, pois nessas misturas há uma diminuição da permeabilidade com a idade.


Dos ensaios realizados, o mais interessante foi obtido com a argamassa A2, produzida com a pasta P2 (80% de cimento + 20% de pó de IP) e 50% de substituição de areia natural por areia de IP, além de apresentar uma permeabilidade não muito elevada. A partir desses resultados optou-se por dar sequência ao estudo utilizando a pasta P2. Esse valor é maior do que o estabelecido na pesquisa por Shiroma [15] que recomenda a quantidade máxima do pó de IP de 10%.

### 3.4 Avaliação das argamassas produzidas com a pasta P2 - etapa 3

Nesta etapa são apresentados os resultados das argamassas produzidas com a pasta P2 e substituições crescentes da areia natural pela areia de IP (Tabela 8).

Em relação à argamassa de controle (AC) nota-se que a consistência ficou mais fluida para a argamassa M1, indicativo de que a substituição de cimento pelo pó de IP melhorou essa propriedade. Mas o uso de areia de IP (M0) fez com que a fluidez fosse bastante diminuída, pois trata-se de uma argamassa produzida somente com areia de IP, a qual proporciona a perda de fluidez da mistura, provavelmente pela forma dos grãos menos arredondados do que a areia natural. A argamassa M2 (25% de areia IP) praticamente manteve a consistência, mas à medida que se adicionou mais areia de IP a consistência aumenta significativamente ( $M1 < M2 < M3 < M4 < M5$ ). As argamassas mais consistentes foram M0 e M5 (100% de areia IP), que foram produzidas com pastas diferentes (PC e P2, respectivamente), indicativo de que as pastas com pó de IP (P2) não modificaram a fluidez dessas argamassas, pois a areia de IP, com grãos irregulares, influi mais nessa propriedade do que a areia natural.

**Tabela 8:** Resultado da consistência das argamassas (*flow table*) com as pastas P2 (terceira etapa).

| Argamassas | Pastas | Consistência (mm) | Argamassa M5   |
|------------|--------|-------------------|--|
| AC         | PC     | 213               |  |
| M0         | PC     | 180               |  |
| M1         | P2     | 217               |  |
| M2         | P2     | 209               |  |
| M3         | P2     | 203               |  |
| M4         | P2     | 191               |  |
| M5         | P2     | 175               |  |

A Figura 9 apresenta os resultados de resistência à compressão das argamassas com a mesma pasta (P2) e com quantidade de areia natural decrescente e crescente de areia de IP. Observa-se que a argamassa M0 tem um bom desempenho mecânico aos 90 dias. Essa argamassa é produzida com cimento Portland e areia de IP, indicando a possibilidade de reações em longo prazo. A argamassa M1, em relação a AC e M0, teve uma queda significativa de resistência com o uso de aglomerante com resíduo de IP. No entanto, a resistência foi crescendo, atingindo os níveis acima dos da AC aos 90 dias.

Utilizando o mesmo aglomerante (P2) e aumentando a quantidade de areia de IP, observa-se que há uma diminuição das resistências à compressão, mas entre M3, M4 e M5 essas diminuições não são tão significativas. A argamassa M5 (P2 + 100% areia de IP) apresentou resultados bastante satisfatórios, correspondendo a 63% da resistência da argamassa M0 (PC + 100% areia de IP).

Essa queda de resistência das argamassas ocorre porque elas possuem menor quantidade de cimento em comparação às argamassas AC e M0, e para obter ganho de resistência é preciso contar com a possibilidade da ocorrência das reações pozolânicas, que são tardias [15]. Pelo fato do resíduo de IP apresentar atividade pozolânica, há possibilidade da continuidade de reações e as resistências podem aumentar em idades superiores aos 90 dias, mas esse fato deve ser investigado com mais profundidade.

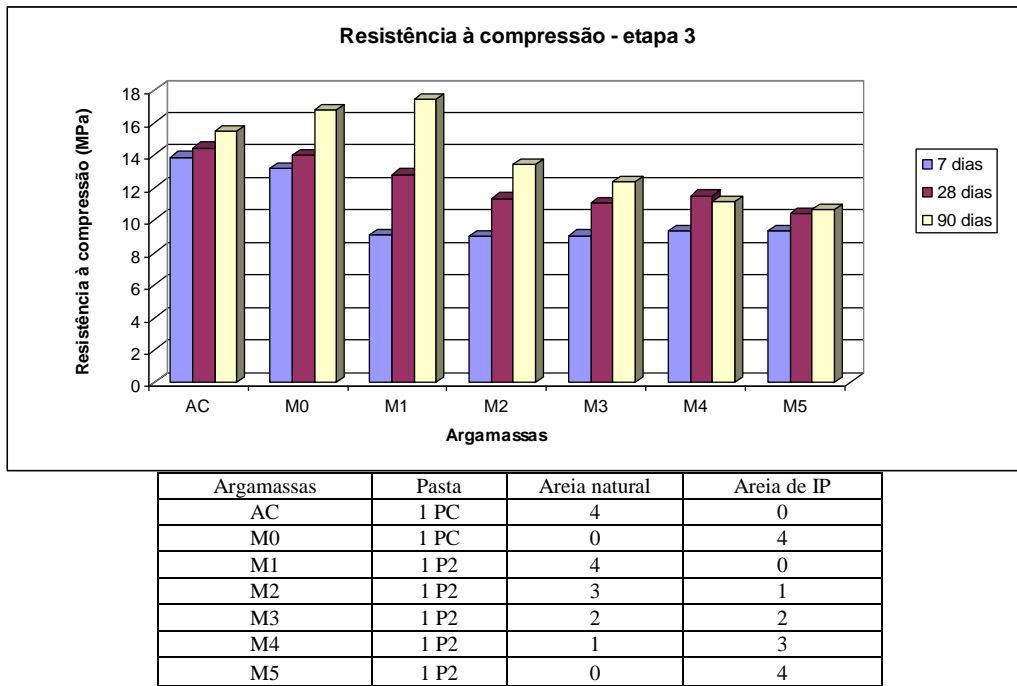


Figura 9: Resultados da resistência à compressão das argamassas - etapa 3, pastas P2.

Nos resultados de resistência à tração na flexão (Figura 10), nota-se um equilíbrio no desempenho das argamassas com a pasta P2. Os resultados que se sobressaem são as argamassas AC e M0 produzidas somente com cimento (PC).

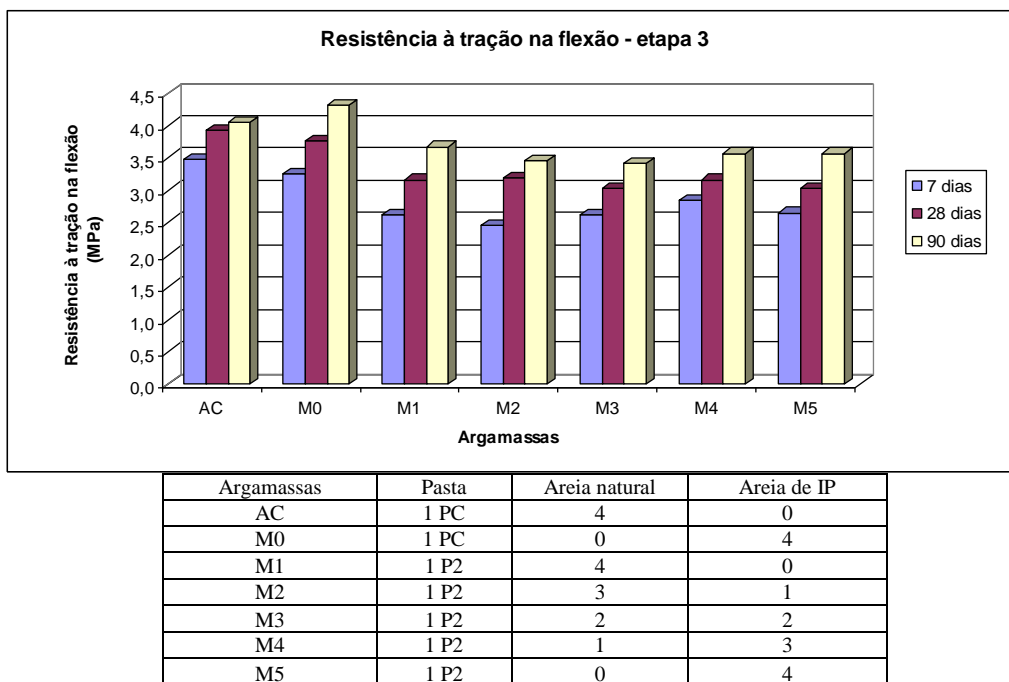


Figura 10: Resultados da resistência à tração na flexão das argamassas - etapa 3, pastas P2.

O que é significativo neste resultado é o crescimento de resistência com a idade em todas as argamassas que contém o resíduo de IP, seja somente como areia, seja como substituição do cimento ou ambas as situações.

Nas argamassas do trabalho de Martinez et al [38], utilizando agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição, os resultados de resistência à compressão e à flexão foram decrescentes

com o aumento da quantidade de agregado reciclado na mistura, resultados semelhantes aos obtidos nesta pesquisa.

Neno et al [31] substituíram o agregado natural por agregado reciclado de concreto moído. Os resultados indicaram um crescimento da resistência mecânica com o aumento da quantidade de agregado reciclado na mistura. No entanto, os resultados de resistência mecânica foram muito baixos em comparação aos resultados obtidos neste trabalho com o uso da areia de IP.

Nos resultados de permeabilidade ao ar (Figura 11) houve aumento da permeabilidade com o aumento da quantidade de areia de IP na argamassa. No entanto, nota-se que todas apresentaram diminuição da permeabilidade com a idade, indicativo de que há reações acontecendo ao longo do tempo, colmatando os poros das argamassas e diminuindo a permeabilidade. A redução da permeabilidade é indicativo de reações de hidratação que podem estar ocorrendo, e também reação pozolânica, colaborando para o fechamento dos poros dentro do sistema [15].

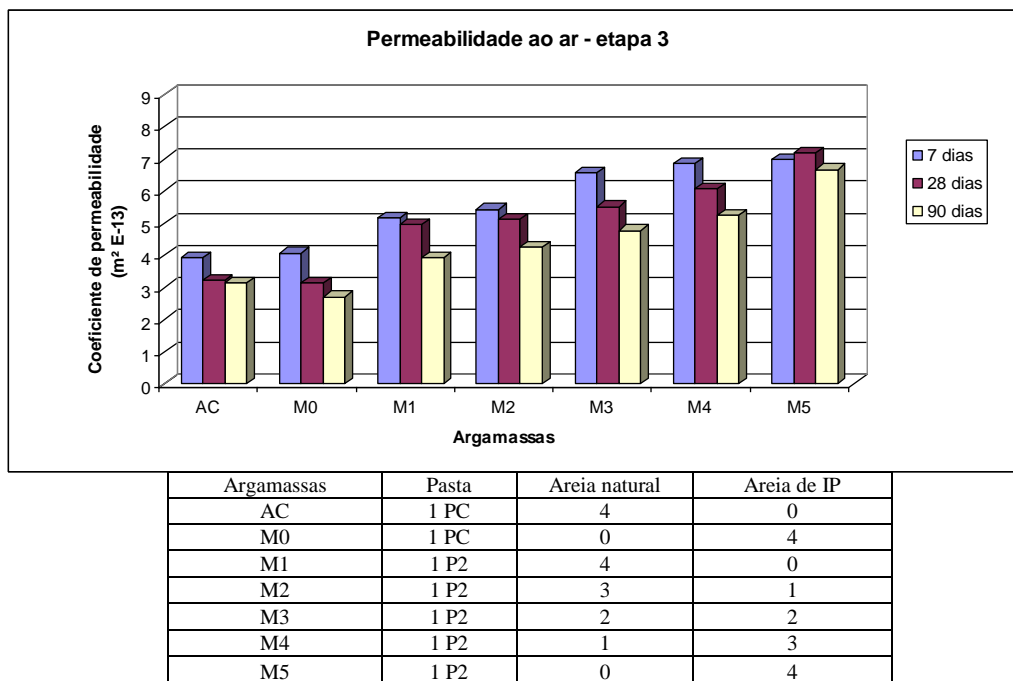


Figura 11: Resultados da permeabilidade ao ar das argamassas - etapa 3, pastas P2.

#### 4. CONCLUSÕES

A utilização de IP moído como substituição parcial do cimento Portland ou para substituição da areia em argamassas de assentamento e revestimento, nas propriedades estudadas, é uma alternativa que se mostrou viável, tendo como base os resultados obtidos neste estudo experimental.

Os resultados aqui obtidos permitem vislumbrar um uso adequado para esse resíduo, contribuindo para minimizar os impactos ambientais e a disposição clandestina de um passivo que pode ter valor agregado.

Este trabalho foi dividido em etapas para as devidas tomadas de decisão em relação aos percentuais de resíduo que substituiria o cimento Portland e aos percentuais de areia que poderia ser utilizado para avaliação do comportamento das argamassas de cimento.

Em todas as etapas deste estudo, o uso de IP modificou as propriedades das pastas e argamassas. No entanto, os resultados indicaram que as argamassas podem ser utilizadas devido aos níveis de resistência mecânica alcançados.

O desempenho mecânico da argamassa com cimento Portland e areia de IP foi semelhante ao da argamassa de controle, indicativo da possibilidade da substituição em grande parcela da areia natural pela areia reciclada.

Tendo em vista o uso de maior quantidade de resíduo nas argamassas, utilizando o resíduo como substituição parcial do cimento Portland e como agregado miúdo, concluiu-se que a quantidade de substituição é de 20% e a quantidade de areia de IP na argamassa pode ser substituída totalmente, dependendo do desempe-

no mecânico e das propriedades desejadas para as argamassas.

A permeabilidade ao ar das argamassas aumentou à medida que se aumentou a quantidade de areia de IP, mas ao longo do tempo essa permeabilidade é reduzida devido a reações de hidratação que ocorrem tardiamente e também a provável ocorrência de reações pozolânicas.

Os estudos com o reaproveitamento dos resíduos de isoladores de porcelana devem ser continuados, com avaliações mais pontuais em argamassas de revestimento e assentamento com o uso de cal hidratada e também de aditivos para melhorar a fluidez.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Também agradecem ao Laboratório de Aglomerantes e Resíduos - LARES, pela colaboração na caracterização das areias e realização dos ensaios.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] LIMA, T.M., NEVES, C.A.R. “Sumário Mineral”, Brasília, DNPM, 2016
- [2] ISHIKAWA, P.H. “Propriedades de argamassa de assentamento produzidas com areia artificial para alvenaria estrutural”, Dissertação de M.Sc., Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 2003.
- [3] CAMARINI, G., ISHIKAWA, P.H. “Propriedades de argamassa de assentamento produzidas com areia artificial para alvenaria estrutural”, In: *Anais da I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, X ENTAC*, São Paulo, SP, 2004.
- [4] ISHIKAWA, P.H., OLIVEIRA, L. P. “Propriedades da argamassa com areia artificial para revestimento de alvenaria”, In: *Anais do 4. Congresso Português de Argamassas e ETICS*, APFAC, Coimbra, 2012.
- [5] CARNEIRO, A.M.P., CINCOTTO M.A. “A massa unitária como parâmetro de análise das características de argamassa”, *Ambiente Construído*, v. 1, n. 2, pp. 37-44, jul/dez. 1997.
- [6] CARASEK, H., ARAUJO, R.C., CASCUDO, O., *et al.*, “Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento”, *Revista Matéria*, v. 21, n. 3, pp. 714-732, 2016.
- [7] KARZMIERCZAK, C.S., ROSA, M., ARNOLD, D.C.M. “Influência da adição de fíler de areia de britagem nas propriedades de argamassas de revestimento”, *Ambiente Construído*, v. 16, n. 2, p. 7-19, abr./jun. 2016.
- [8] LEDESMA, E.F. “Maximum feasible use of recycled sand from construction and demolition waste or eco-mortar production – Part-I: ceramic masonry waste”, *Journal of Cleaner production*, v. 87, p. 692-706, 2015.
- [9] BILIR, T., GENCEL, O., TOPCU, I.B. “Properties of mortars with fly ash as fine aggregate”, *Construction and Building Materials*, v. 93, p. 782-789, 2015.
- [10] TEPCO - TOKIO ELECTRIC POWER COMPANY. “TEPCO Environment Highlights 2010”. Disponível em: < <http://www.tepco.co.jp/en/corpinfo/overview/pdf-4/42-e.pdf>>. Acesso: junho de 2013.
- [11] NGK INSULATOR JAPAN. “NGK INSULATORS Group Environmental Report - Site Report 2016”, NGK Overseas Group Companies, Disponível em: [http://www.tepco.co.jp/en/challenge/environ/pdf2010/hl10\\_00.pdf](http://www.tepco.co.jp/en/challenge/environ/pdf2010/hl10_00.pdf), Acessado em outubro de 2016.
- [12] CAMPOS, M. A, PAULON, V.A., DALFRÉ FILHO, J.G., *et al.*, “Resíduos cerâmicos no município de Pedreira [SP]: equacionamento e soluções de reciclagem”, *Revista Labor & Engenharia*, v. 7, n. 1, pp. 74-83, 2013
- [13] CAMPOS, M.A. “*Estudo do reaproveitamento de isoladores elétricos de porcelana como agregados em argamassas e concreto*”, Dissertação de M.Sc., Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP, Brasil, 2009.
- [14] FERREIRA, G. C. S., BERALDO, A. L., MESQUITA, V. H. L., *et al.*, “Substituição parcial do cimento Portland por resíduo de porcelana de isoladores elétricos em matrizes cimentícias”, In: 3º Encontro Nacional Sobre Reaproveitamento de Resíduos na Construção Civil, São Leopoldo, 2013.
- [15] SHIROMA, L. “*Atividade pozolânica de resíduos de isoladores de porcelana em matrizes cimentícias*”, Tese de D.Sc., Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP, Brasil, 2016.
- [16] SENTHAMARAI, RM., DEVADAS MANOHARAN, P. J., GOBINATH, D. “Concrete made from

ceramic industry waste: Durability properties”, *Construction and Building Materials*, v. 25, pp. 2413-2419, 2011.

[17] PORTELLA, K. F., JOUKOSKI, A., FRANCK, R., et al., “Reciclagem secundária de rejeitos de porcelanas elétricas em estruturas de concreto: determinação do desempenho sob envelhecimento acelerado”, *Cerâmica*, v. 52, pp. 155-167, 2006.

[18] SOUZA, F. J. P., NEVES, W. F., ALARCON, O. E. “Estudo da viabilidade de isoladores elétricos a partir de resíduo de esmaltação”, *Cerâmica*, v. 50, pp. 217-224, 2004.

[19] HIGASHIYAMA, H., YAGISHITA, F., SANO, M., et al., “Compressive strength and resistance to chloride penetration of mortars using ceramic waste as fine aggregate”, *Construction and Building Materials*, v. 26, pp. 96-101, 2012.

[20] BERALDO, A. L., FERREIRA, G. C. S., MESQUITA, V. H. L. “Porcelain waste as a partial Portland cement replacement”, In: Congress Advances in Cement and Concrete Technology in Africa, South Africa, p.8, 2013.

[21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11579: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2013

[22] \_\_\_\_\_. NBR 16372: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine). Rio de Janeiro, 2015

[23] \_\_\_\_\_. NBR NM 65: Cimento Portland – Determinação do Tempo de Pega. Rio de Janeiro, 2003

[24] \_\_\_\_\_. NBR 7215: Cimento Portland: determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro. 1996

[25] \_\_\_\_\_. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003

[26] \_\_\_\_\_. NBR 9776. Agregados – Determinação da massa específica Chapman. Rio de Janeiro. 1987.

[27] \_\_\_\_\_. NBR 7251 – Agregado no estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro. 1982.

[28] \_\_\_\_\_. NBR NM 46. Determinação do teor de material pulverulento. Rio de Janeiro, 2003

[29] \_\_\_\_\_. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

[30] \_\_\_\_\_. NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Determinação da resistência à tração na flexão e compressão. Rio de Janeiro. 2005.

[31] NENO, C., BRITO, J., VEIGA, R. “Using fine recycled concrete aggregate for mortar production”, *Materials Research*, v. 17, n.1, pp. 168-177.

[32] RODRIGUES, M. S. *Avaliação de cinzas de palha de cana-de-açúcar e sua utilização como adição mineral em matrizes cimentícias*. Tese de D.Sc, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP, Brasil, 2012.

[33] CAMARINI, G. “Curing effects on air permeability of concrete”, *Advanced Materials Research*, v.214, pp. 602-606, 2011.

[34] CAMARINI, G., PEREIRA, V.M., FREITAS, P.M.G., et al., “Methods to measure the transfer properties of mortars”, *Applied Mechanics and Materials*, v. 148-149, pp. 184-187, 2012.

[35] PEREIRA, V. M. *Permeabilidade ao ar do concreto*. Dissertação de M.Sc., Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP, Brasil, 2011.

[36] FERNANDES, L. F. R., GERALDO, R. H., SALDEIRA, C. G., et al., “Utilização de aditivo superplastificante em argamassas alcali-ativadas”, In: 1º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos, Campinas, São Paulo, Brasil, 2017.

[37] JACINTHO, A.E.P, CAMPOS, M.A., PAULON, V.A., et al., *The use crushed porcelain electrical isolators, Concrete under Severe Conditions*, London , England, 2010.

[38] MARTÍNEZ, P.S., GONZÁLEZ CORTINA, M., FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, F., et al., “Comparative study of three types of fine recycled aggregates from construction and demolition waste (CDW), and their use in masonry mortar fabrication”, *Journal of Cleaner Production*, v. 118, pp. 162-169, 2016.