XIX SBTA Simpósio Brasileiro de Tecnologia das ARGAMASSAS
3 a 5 Outubro 2023 | João Pessoa-PB Centro de Convenções Ronaldo Cunha Lima

# ARGAMASSAS ISOLANTES TÉRMICAS PRODUZIDAS COM RESÍDUOS

**Tema:** Inovação em argamassas e revestimentos.

LETÍCIA M. MARTINS[1], KARINA M. MARQUES[2], JÚLIA A. DE CASTRO[3], RICARDO A. F. PEIXOTO[4], JÚLIA C. MENDES[5]

[1]M.Sc., Universidade Federal de Ouro Preto/UFOP, leticia.mm@aluno.ufop.edu.br
[2]Universidade Federal de Ouro Preto/UFOP, karina.marques@ufop.edu.br
[3]M.Sc., Universidade Federal de Ouro Preto/UFOP, julia.castro@engenharia.ufjf.br
[4]Prof. Dr., Universidade Federal de Ouro preto/UFOP, ricardofiorotti@ufop.edu.br
[5]Profª. Drª, Universidade Federal de Juiz de Fora/UFJF, juliacastro.mendes@ufjf.br

**RESUMO**

O presente trabalho desenvolveu argamassas de revestimento termoisolantes a partir da substituição completa do agregado natural pelo Quartzito Friável (QF) e Pó de Escória de Aciaria (PEA), resíduos da mineração de quartzito e siderurgia, respectivamente. Para melhor caracterização do QF e PEA, foram realizadas análises físicas, químicas e mineralógicas. Em sequência, foram preparadas argamassas com cimento, cal, aditivo incorporador de ar e duas adições de PEA: 5% e 10%. As argamassas foram submetidas a ensaios nos estados fresco e endurecido para obtenção de suas propriedades. A argamassa com 5% de PEA apresentou a menor condutividade e o maior calor específico. Com base nos resultados, a utilização desses resíduos mostra-se tecnicamente viável para melhorar o desempenho térmico das edificações no Brasil.

**Palavras-chave:** argamassas de revestimento, desempenho térmico, escoria de aciaria, quartzito friável, resíduos.

# THERMAL INSULATING COATING MORTARS PRODUCED WITH RESIDUES

**ABSTRACT**

The present work developed thermal insulating coating mortars from the complete replacement of the natural aggregate by Friable Quartzite (QF) and Steelmaking Slag Powder (PEA), residues from quartzite mining and steel industry, respectively. For better characterization of QF and PEA, physical, chemical and mineralogical analyzes were performed. In sequence, mortars were prepared with cement, lime, air-entraining additive and two additions of PEA: 5% and 10%. The mortars were subjected to tests in the fresh and hardened states to obtain their properties. The mortar with 5% PEA had the lowest conductivity and the highest specific heat. Based on the results, the use of these residues is technically feasible to improve the thermal performance of buildings in Brazil.

**Key-words:** coating mortars, thermal performance, steel slag, friable quartzite, waste.

## 1. INTRODUÇÃO

A envoltória das edificações influencia o seu desempenho térmico e eficiência energética, o que, por sua vez, afetará o conforto dos usuários e o consumo de energia[1]. Propriedades-chave da argamassa, como espessura, calor específico e condutividade térmica, têm impacto no desempenho térmico das edificações[2]. A microestrutura, sistema de poros e composição química dos agregados são fatores que influenciam as propriedades da argamassa[3].

O gerenciamento inapropriado de resíduos contribui para problemas ambientais. Dois resíduos gerados atualmente são o Quartzito Friável (QF)[4] e a Escória de Aciaria[5]. O QF origina-se da extração do quartzito, sendo comumente depositado a céu aberto, causando assoreamento de rios e poluição do ar[4]. Já o Pó de Escória de Aciaria (PEA), surge do beneficiamento desse resíduo para uso como agregado[16].

Apesar de suas características promissoras, não foram encontrados estudos que explorem as propriedades isolantes térmicas combinadas desses resíduos. Portanto, este trabalho busca desenvolver uma argamassa de revestimento termoisolante, com o objetivo de aprimorar o isolamento térmico e melhorar o desempenho térmico geral das construções.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A argamassa de revestimento foi produzida substituindo a areia de rio pelo Quartzito Friável (QF) e adição do Pó de Escória de Aciaria (PEA) como adição. Foram utilizados cimento CP II E 32 e cal tipo CH I, com proporção de argamassa 1:1:6 em volume. Nas argamassas com resíduos foi utilizado 0,1% de aditivo incorporador de ar (AIA) baseado em LAS[6] (em relação a massa de cimento). As misturas estudadas foram:

1) Argamassa convencional, com areia de rio (REF)
2) QF, sem pó de escória de aciaria + 0,1% AIA (SEM PEA)
3) QF + 5% pó de escória de aciaria + 0,1% AIA (5%PEA)
4) QF + 10% pó de escória de aciaria + 0,1% AIA (10%PEA)

Os materiais foram submetidos aos seguintes ensaios: análise granulométrica – NBR 17054[7]; Densidade para os agregados – NBR 16916[8], já a do PEA foi obtida com auxílio de um picnômetro a gás; Massa unitária - NBR 16972[9]; Material pulverulento – NBR 16973[10]. Por fim, foi realizada a análise por Difratometria de Raios-X (DRX). No estado fresco foi determinado o índice de consistência - NBR 13276[11]. No estado endurecido foram avaliados a absorção de água por capilaridade - NBR 15259[12]; Resistência à tração na flexão e à compressão - NBR 13279 [13]; e análise do sistema de poros superiores a 11 µm, adotando metodologia descrita em Mendes *et al*.[6]. Os resultados foram a média de 3 amostras. A condutividade térmica foi obtida com um medidor de fluxo de calor (HFM). O calor específico foi determinado por meio de calorimetria adiabática, obtida por média de 4 amostras, mais detalhes sobre a metodologia são dados em Mendes *et al*. [3].

## 2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.1. Caracterização dos materiais

Na Tabela 1, nota-se que o QF é um agregado mais fino que a areia de rio, além do teor de material pulverulento ser significativamente superior.

Tabela 1 – Caracterização física dos materiais: areia de rio, QF e PEA.

| | Areia de rio | QF | PEA |
|---|---|---|---|
| Módulo de Finura | 2,28 | 1,77 | - |
| Densidade (g/cm³) | 2,63 | 2,65 | 2,83 |
| Massa unitária (g/cm³) | 1,35 | 1,41 | 0,87 |
| Material pulverulento (%) | 2,8 | 18,6 | - |

Na Tabela 2, nota-se que a areia de rio é composta principalmente por quartzo e feldspato, já o QF é composto principalmente por quartzo. Ambos os agregados possuem um grau elevado de cristalinidade. Já o PEA é composto principalmente por material amorfo (55,8%), que possui menor condutividade térmica[14].

Tabela 2 – DRX dos materiais: areia de rio, QF e PEA.

| Mineral | Areia de rio (%) | QF (%) | PEA (%) |
|---|---|---|---|
| Quartzo | 76,4 | 88,9 | 5,3 |
| Caulinita | 3,0 | 0,3 | - |
| Feldspato | 7,1 | - | - |
| Fengita | 2,6 | - | - |
| Flogopita | - | 2,5 | - |
| Labradorita | 2,4 | - | - |
| Ilita | - | 1,5 | - |
| Calcita | - | - | 27,8 |
| Brownmilerita | - | - | 2,0 |
| Larnita | - | - | 2,3 |
| Periclásio | - | - | 5,8 |
| Amorfo | 8,5 | 6,8 | 55,8 |

### 2.2. Caracterização das argamassas

Os índices de consistência obtidos, com teor de água/materiais secos igual a 0,18 e as propriedades no estado endurecido podem ser visualizadas na Tabela 3.

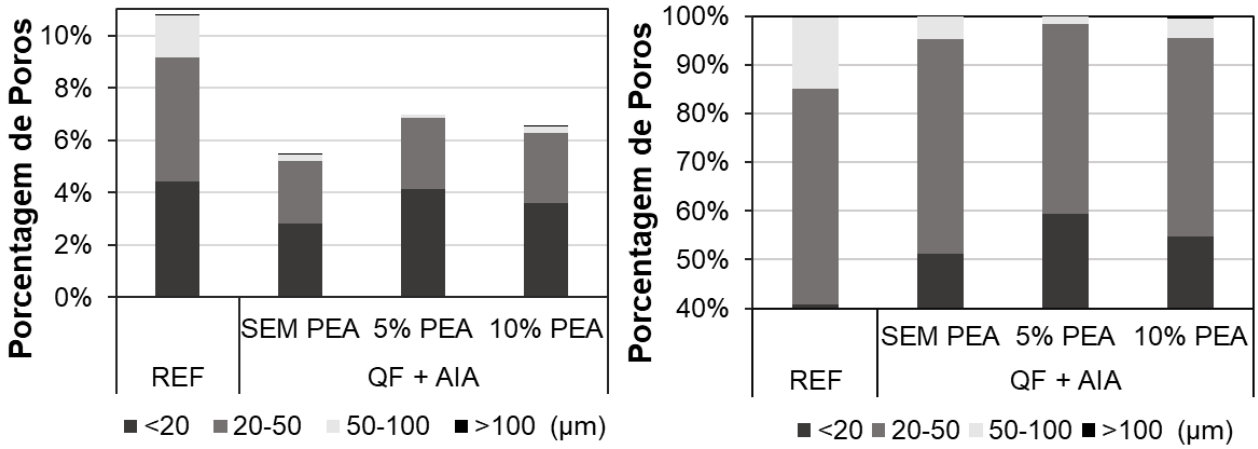
Tabela 3 - Propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido

| Argamassa | *Flow-table* (mm) | Coeficiente de Capilaridade (g/dm². min$^{1/2}$) | Resistência à compressão (MPa) | Resistência à tração na flexão (MPa) |
|---|---|---|---|---|
| REF | 264 | 23,8 | 4,10 | 1,36 |
| SEM PEA | 276 | 26,0 | 3,74 | 1,40 |
| 5% PEA | 263 | 23,9 | 3,78 | 1,35 |
| 10% PEA | 253 | 23,7 | 3,95 | 1,47 |

A adição de PEA na matriz reduziu o índice de consistência das argamassas, devido a maior superfície específica do material. Apesar do QF possuir um teor de finos superior à areia de rio, a potencial redução da trabalhabilidade promovida por esse material foi compensada com a utilização de AIA, que melhora a trabalhabilidade[6]. As argamassas produzidas com QF absorveram mais água por capilaridade. Entretanto, a adição de PEA parece diminuir esse fenômeno, possivelmente devido ao sistema de poros na estrutura: poros menores tendem a resultar em um coeficiente de capilaridade maior. No entanto, nas matrizes com PEA, a presença deste material como "filler" pode levar a uma menor interconexão entre os poros.

Entre as argamassas com QF, nota-se um pequeno acréscimo da resistência de acordo com o aumento da adição de PEA, obtendo resultados similares a de referência. Ao comparar a argamassa REF com a sem PEA, observa-se que a adição de AIA não causou redução significativa na resistência. A Figura 1 mostra a porosidade total das seções das argamassas.

Figura 1 - Porosidade total (esquerda) e proporção relativa do diâmetro dos poros (direita)




A argamassa com 5% de PEA obteve a maior porcentagem de poros menores que 20µm. Esse resultado pode estar ligado a alguns fatores: o PEA atua como aglomerante secundário e filler, refinando o sistema de poros; enquanto o AIA atua como estabilizador das bolhas de ar incorporadas durante a mistura para o estado endurecido. A argamassa de 5% PEA teve um sistema de poros tal que os vazios gerados durante a mistura foram refinados pelo teor intermediário de PEA, predominando-se os poros menores. A Tabela 4 apresenta os resultados das propriedades térmicas.

Tabela 4 – Propriedades térmicas das argamassas

| Argamassa | Condutividade Térmica (W/m·K) | Calor Específico (Seca) J/(kg·K) | Calor Específico (Saturada) J/(kg·K) |
|---|---|---|---|
| REF | 0,66 | 623 | 835 |
| SEM PEA | 0,58 | 748 | 1041 |
| 5% PEA | 0,29 | 854 | 1077 |
| 10% PEA | 0,36 | 802 | 1014 |

A adição de 5% de PEA reduziu em 50% a condutividade térmica, isso pode ser correlacionado com composição mineralógica dos materiais e com os microporos formados pelo QF e PEA. O PEA possui 55,8% de material amorfo (Tabela 2), nesses materiais a energia térmica é propagada de forma lenta[14]. Analisando a Figura 1, o sistema de poros formado na argamassa com 5% de PEA é mais refinado. Um número maior de poros menores aumenta o número de interfaces entre a fase sólida e os poros na matriz, promovendo-se um maior espalhamento de fônons [14], que diminuiu a condutividade térmica.

A argamassa de QF sem PEA apresentou calor específico ligeiramente superior à argamassa de referência, possivelmente devido aos maiores teores de quartzo (740 J/(kg·K)) [15]. As argamassas com 5% e 10% de PEA apresentaram os maiores resultados, provavelmente em função da composição química do PEA, com teores mais elevados de calcita (815 J/(kg·K)) [15]. Na condição saturada, o sistema de poros é preenchido por água, e quanto maior a absorção de água das amostras, maior o seu calor específico. Isso ocorre pois o calor específico da água é maior que o do ar e dos produtos de hidratação[3].

## 3. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir:

- Os resultados do levantamento das características físicas, químicas e morfológicas do quartzito indicam características semelhantes ao agregado natural, exceto o teor de material pulverulento, significativamente superior;
- As argamassas com resíduos apresentaram menores resultados de resistência mecânica e os maiores resultados de absorção de água por capilaridade. Apresentaram também os melhores resultados de condutividade térmica e calor especifico. A argamassa com 5% de PEA obteve a menor condutividade térmica devido tanto ao alto teor de amorfos da PEA quanto ao sistema de poros formado na matriz.

Com isso, pode-se concluir que as argamassas com QF e PEA são alternativas promissoras para se melhorar o desempenho térmico das edificações, além de reduzir os impactos socioambientais. Mais estudos são necessários para se verificar se a queda no desempenho físico e mecânico afeta a qualidade e a durabilidade dos revestimentos a longo prazo.

## 4. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à PROPPI/UFOP, ao CNPq (MAI nº12/2020) e a Rolth do Brasil pelo apoio financeiro. Agradecemos ao Grupo de Pesquisa em Resíduos Sólidos (RECICLOS – CNPq).

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. P. M. Passos, et al., **Avaliação da capacidade isolante térmica de revestimentos de argamassa**, XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, p. 282-298, 2016.

2. V. F. Mendes, et al., **Sensitivity analysis of coating mortars according to their specific heat, specific gravity,thermal conductivity, and thickness in contribution to the global thermal performance of buildings**, Sustainable Materials and Technologies, 2022.

3. J. C. Mendes, et al., **Factors affecting the specific heat of conventional and residue-based**, Construction and Building Materials, vol. 237, p. 117597, 2020.

4. L. M. Martins, R. A. F. Peixoto, J. C. Mendes, **Quartzite tailings in civil construction materials: a systematic review**, Clean Technologies and Environmental Policy, p. 1-18. https://doi.org/10.1007/s10098-023-02492-5, 2023.

5. A. C. P. Martins, J. M. Carvalho, L. C. Costa, H. D. Andrade, T. V. Melo, J. C. L. Ribeiro, L. G. Pedroti and R. A. F. Peixoto, **Steel slags in cement-based composites: An ultimate review on characterization, applications and performance**, Construction and Building Materials, vol. 291, p. 123265. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123265, 2021.

6. J. Mendes, T. Moro, A. Figueiredo, K. Silva, G. Silva, G. Silva e R. Peixoto, **Mechanical, rheological and morphological analysis of cement-based composites with a new LAS-based air entraining agent**, Construction and Building Materials, vol. 145, pp. 648-661, 2017.

7. ABNT, **NBR 17054** - Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2022.

8. ABNT, **NBR 16916** - Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2021.

9. ABNT, **NBR 16972** - Determinação da massa unitária e absorção, Rio de Janeiro, 2021.

10. ABNT, **NBR 16973** - Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem, Rio de Janeiro, 2021.

11. ABNT, **NBR 12376** - Determinação do índice de consistência, Rio de Janeiro, 2016.

12. ABNT, **NBR 15259** - Determinação da absorção de água, Rio de Janeiro, 2005.

13. ABNT, **NBR 13279** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Resistência à flexão e à compressão," Rio de Janeiro, 2005.

14. N. Burger *et al.* **Review of thermal conductivity in composites: Mechanisms, parameters and theory,** Progress in Polymer Science, vol. 61, pp. 1-28, 2016.

15. D. W. Waples e J. S. Waples, **A Review and Evaluation of Specific Heat Capacities of Rocks, Minerals, and Subsurface Fluids. Part 1: Minerals and Nonporous Rocks**, Natural Resources Research, vol. 13, pp. 97-122, 2004.

16. V. R. Carvalho, et al., **Performance of low-energy steel slag powders as supplementary cementitious materials**, Construction and Building Materials, Volume 392, p. 131888. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131888, 2023.