



ISSN: 2230-9926

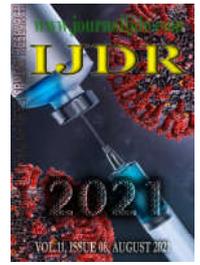
Available online at <http://www.journalijdr.com>

IJDR

International Journal of Development Research

Vol. 11, Issue, 08, pp. 49865-49868, August, 2021

<https://doi.org/10.37118/ijdr.22660.08.2021>



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

USO DE ESCÓRIA CRISTALIZADA NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS

Alessandro Leonardo da Silva^{1,*}, Marcelo Robert Fonseca Gontijo², Heron Viterbre Debique Sousa³, Ícaro Viterbre Debique Sousa⁴, Antonio Mendes Magalhães Júnior⁵, Pedro Henrique Nunes⁶, Iuri dos Santos Manoel⁷, Helena Gonçalves Ikeda⁸, Victor Almeida Camargos⁹, Rodrigo Silva Fonseca¹⁰ and Thais Prado Vasconcelos Silva¹¹

^{1,2}Docente na Universidade Estadual de Minas Gerais, *Campus* Divinópolis; ³Graduando em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia e Computação, Universidade de Itaúna; ^{4,5}Doutorando em Estatística e Experimentação Agropecuária, Departamento de Estatística, Universidade Federal de Lavras; ⁶Mestrando em Engenharia de Sistemas e Automação, Departamento de Engenharia de Sistemas e Automação, Universidade Federal de Lavras; ⁷ Doutorando em Estatística e Experimentação Agropecuária, Departamento de Estatística, Universidade Federal de Lavras; ^{8,9}Graduando em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia e Computação, Universidade de Itaúna; ^{10,11}Docente na Universidade Estadual de Minas Gerais, *Campus* Divinópolis

ARTICLE INFO

Article History:

Received 27th May, 2021
Received in revised form
19th June, 2021
Accepted 17th July, 2021
Published online 30th August, 2021

Key Words:

Argamassa, Reciclagem
De Escória Cristalizada.

*Corresponding author:
Alessandro Leonardo da Silva

RESUMO

No Brasil há uma grande quantidade de indústrias de fundição, especificamente no estado de Minas Gerais, a presença de indústrias de fundidos é expressiva, sendo que a grande maioria é localizada na região centro-oeste do estado. Essas indústrias geram quantidades significativas de resíduos, principalmente os sólidos. Dentre estes, pode-se destacar a quantidade de escória cristalizada gerada e descartada sem a possibilidade de reaproveitamento, e que, se disposta na natureza sem controle, causa impactos negativos ao meio ambiente. Visando buscar uma melhor alternativa para a destinação desse resíduo, o âmbito da construção civil vem estudando novas formas de reaproveitá-los. Na composição de argamassas, por exemplo, a escória cristalizada pode ser utilizada em substituição ao agregado miúdo. As propriedades de uma argamassa produzida com a escória em substituição a cal hidratada, como resistência mecânica e até mesmo aparência, são relativamente diferentes das características da argamassa comum. A argamassa produzida com a escória foi estudada e comparada com a argamassa convencional através de ensaios de resistência à compressão axial, avaliação de fissuração e análise de imagens. A presente pesquisa se justifica na importância da reciclagem de resíduos e tem por finalidade avaliar o comportamento da argamassa na substituição da cal hidratada pela escória cristalizada. Este documento está formatado com os estilos que devem ser usados. Os comentários ao lado são especificações dos estilos e servem de auxílio para a formatação em caso de dúvida.

Copyright © 2021, Alessandro Leonardo da Silva et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Alessandro Leonardo da Silva, Marcelo Robert Fonseca Gontijo, Heron Viterbre Debique Sousa, Ícaro Viterbre Debique Sousa et al. "Uso de Escória Cristalizada na Produção de Argamassas", *International Journal of Development Research*, 11, (08), 49865-49868.

INTRODUÇÃO

Atualmente diversos resíduos são produzidos e descartados pela indústria de fundição, esses resíduos podem causar danos irreparáveis ao meio ambiente. O reaproveitamento desses materiais em substituição a materiais de construção como nas argamassas é uma alternativa para reduzir esses impactos. O procedimento utilizado pela indústria de fundição, em sua essência, consiste na fusão de ferro, aço ou metais não-ferrosos; como cobre zinco, alumínio e magnésio, visando obter certas propriedades para o produto final. Na forma líquida, os metais e suas ligas são vazados no interior de moldes confeccionados com areias especiais aglomeradas com resinas

próprias para esse fim, com formatos que reproduzem o objeto pretendido. No Brasil, a ocorrência abundante de sucata e minerais, principalmente minério de ferro, além da disponibilidade energética e de insumos, como areia de fundição, bentonitas, resina, catalisadores e coque de babaçu, contribuíram decisivamente para a definição do parque industrial de fundição nos moldes e dimensões atuais. De acordo com a base 2015 no cenário mundial o Brasil é o 7º produtor de fundidos [Ranking, 2016]. Segundo dados de 2016, de janeiro a julho o Brasil produziu 1.207.051 toneladas, sendo 84,7% de ferro fundido. Minas Gerais contribuiu com 21,64% do total produzido pelo Brasil. O Brasil exportou 244.000 toneladas de janeiro a julho de 2016, sendo 91,63% de ferro fundido [Informativo, 2016]. Minas

Gerais é o terceiro maior polo produtor de fundidos no Brasil, em ferro, aço, alumínio, bronze, chumbo e estanho, com uma produção de 1,7 milhão de toneladas no último ano, sendo 16% da produção destinada ao mercado externo. O principal polo produtor de fundidos do Estado localiza-se na região Centro-Oeste, em municípios como Cláudio e Itaúna [Cadeias, 2013]. Daí o interesse em se estudar o reaproveitamento de escória de ferro fundido em Minas Gerais. Através do processo de obtenção de peças fundidas, são fabricadas peças de ferro fundido cinzento, geralmente utilizado quando se produz peças de forma complexa ou quando se quer peças de baixo custo de produção. Durante esse processo, ocorre o vazamento de escória líquida por um canal na parte inferior do forno a uma temperatura de aproximadamente 1500 °C. A quantidade de escória gerada é de aproximadamente 120 kg por tonelada de ferro [Agopyan, 2000]. A maioria dessas fundições não possui tanques para deposição da escória, portanto ela é colocada em fossos ao ar livre até se solidificar. O principal destino da escória cristalizada do centro-oeste de Minas Gerais é o cascalhamento de vias rurais, deste modo não apresenta valor agregado. Atualmente diversos resíduos são produzidos e descartados pela indústria de fundição, esses resíduos podem causar danos irreparáveis ao meio ambiente. O reaproveitamento desses materiais em substituição a materiais de construção, como nas argamassas, é uma alternativa para reduzir esses impactos. Essa pesquisa foi realizada com o intuito de avaliar o emprego da escória cristalizada em argamassa em substituição da cal hidratada. Levantar dados sobre sua resistência axial e comparativos de suas propriedades em relação à argamassa convencional.

MATERIAIS E MÉTODOS

As argamassas a serem estudadas foram preparadas da seguinte forma:

- A argamassa convencional foi confeccionada com os materiais na seguinte ordem: areia, em seguida CII – Z, pasta de cal e, por último, água.
- A argamassa em estudo foi preparada na mesma ordem, porém com a substituição da cal pela escória cristalizada moída.

As proporções, em volume, de cada material na mistura estão descritas na Tabela 1:

Tabela 1. Composições (em volume) das argamassas

ARGAMASSA	AREIA	CIMENTO	CAL	ESCÓRIA
Convencional	80	10	20	20
Com escória	80	10	0	0

Os testes executados para avaliar do desempenho da argamassa com substituição de escória em relação ao da argamassa convencional foram: o Ensaio de Resistência à Compressão, regulado pela NBR 13279:1995 [Associação Brasileira De Normas Técnicas], a avaliação de fissuração, cuja medição foi feita de acordo com Narciso [Da Silva] e a análise de imagens, que foi executada por meio de fotografia e análise em microscópio.

Resistência à Compressão: A resistência à compressão foi determinada utilizando seis corpos de prova (três para cada argamassa) 50 x 100 mm, para as idades de 28, 60 e 98 dias, em conformidade com a norma NBR 13279:1995 [Associação Brasileira De Normas Técnicas, 1995]. Para realizar os testes, foi utilizada uma máquina universal de ensaios mecânicos informatizada, com a velocidade de ensaio de 1 mm/min.

Avaliação de fissuração: A capacidade aglomerante da argamassa, feita com substituição da cal pela escória, foi avaliada pela análise da fissuração, ao usá-la em revestimento. Fez-se um chapisco e, após trinta dias, um pedreiro revestiu dois painéis: um com argamassa convencional e outro com a argamassa obtida com escória. O revestimento obedeceu à seguinte sequência: lançamento da

argamassa, após 5 minutos fez-se o sarrafeamento e esperou-se 12 minutos para execução do desempenho. Foi contado o número de fissuras visíveis em cada painel. Utilizando-se um barbante, foi determinado o comprimento linear total das fissuras e este foi dividido pela área do painel (1 m²) [Da Silva, 2006].

Análise de imagens: É recomendável que a argamassa a ser utilizada em revestimento apresente porosidade externa mínima, para que a superfície tenha um acabamento de qualidade. A visualização da superfície externa foi executada por meio da fotografia, feita com uma câmera digital (OLYMPUS 3.2 MPixels) e da microscopia ótica, feita com microscópio óptico (Genavert Zeiss).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos testes, foram descritas algumas das propriedades da argamassa convencional e da que possui escória cristalizada em substituição à cal. Os resultados obtidos através dos métodos de teste anteriormente descritos serão analisados e comparados.

Análise da resistência à compressão: Como pode ser observado na Tabela 2, a substituição da cal pela escória diminui a resistência em todas as idades, quando se compara com a argamassa convencional.

Tabela 2: Resultados médios do limite resistência à compressão axial (MPa).

CORPO DE ROVA	28 DIAS	60 DIAS	90 DIAS
Convencional	1,80 ± 0,05	1,75 ± 0,04	1,83 ± 0,09
Com escória	1,38 ± 0,02	1,35 ± 0,05	1,49 ± 0,07

Tal fato é coerente com o comportamento da escória, que não possui poder aglomerante, o que pode interferir diretamente na resistência da argamassa. De acordo com Jonh [1995], o módulo de hidraulicidade é a relação entre elementos modificadores de cadeia e formadores de cadeia, no qual o módulo mais elementar é o que relaciona a quantidade de CaO e SiO₂. A escória ácida, que foi objeto de estudo, possui baixa hidraulicidade, o que a torna pouco aglomerante. Como demonstrado na Tabela 3, retirada da norma NBR 13281:2005, que determina as exigências físicas e mecânicas para argamassas industrializadas, especificadas para assentamento de paredes e revestimentos de tetos e paredes, todas as argamassas produzidas neste trabalho são o que as classificadas como do P1.

Tabela 3. Resistência à compressão (MPa) de acordo com a norma NBR 13281:2005

CLASSE	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)
P1	≤ 2,0
P2	1,5 a 3,0
P3	2,5 a 4,5
P4	4,0 a 6,5
P5	5,5 a 9,0
P6	> 8,0

Avaliação de fissuração: Um dos problemas mais comuns em paredes revestidas com argamassa são as fissuras e rachaduras que ocorrem por ela não resistir bem a deformações próprias e da base sem se romper [Cascudo, 2005]. Esse rompimento pode ter origem na variação das condições climáticas, recorrentes principalmente em países de clima tropical como o Brasil, que causam constantes dilatação e retração. A capacidade de absorver as movimentações e acomodações da alvenaria é umas das mais importantes funções de uma argamassa de revestimento, pois, assim, ela contribui para a qualidade do envelope da edificação. Segundo Maciel et. al. [1998], a argamassa de revestimento só deve absorver as pequenas deformações, que ocorrem em função da ação da umidade ou da temperatura e não as de grande amplitude, como as estruturais. A capacidade de absorver deformações está relacionada ao módulo de deformação da argamassa: quanto menor o módulo de deformação

(menor teor de cimento), maior a capacidade de absorver deformações. Para medir as fissuras visíveis e verificar qual das argamassas teve melhor desempenho ao resistir às movimentações da parede, foi aplicada uma técnica descrita por Narciso [Da Silva, 2006]. As Figuras 1 e 2 mostram os painéis revestidos com as argamassas produzidas.



Fonte: o autor (2021).

Figura 1. Painel revestido com argamassa convencional.



Fonte: o autor (2021).

Figura 2. Painel revestido com argamassa produzida com escória.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados da contagem e medida do comprimento linear total (cm) por área (m²) das fissuras visíveis nos revestimentos de argamassas na idade de 80 dias.

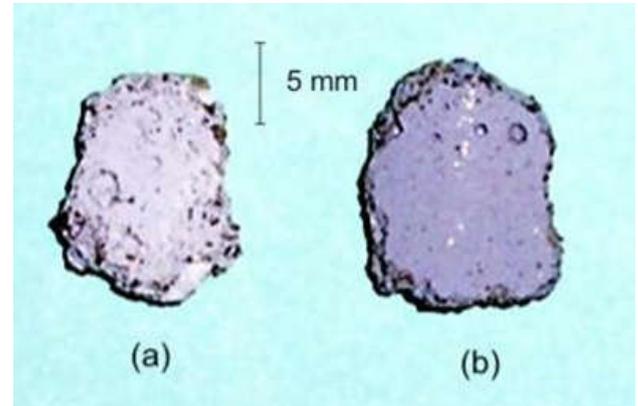
Tabela 4. Resultados da contagem e medida do comprimento linear total por área das fissuras visíveis nos revestimentos de argamassas

ARGAMASSA	QUANTIDADE	CM/M ²
Convencional	35	358,20
Com escória	25	256,40

Os resultados mostram que, na argamassa contendo escória, o número de fissuras é menor. Isso se deve à adição da escória cristalizada, que possui boa maleabilidade em função da sua alta estabilidade mecânica e boa fluência.

Avaliação de fissuração: Nas propriedades dos materiais de construção há uma relação de dependência entre o processo de fabricação, sua microestrutura e suas propriedades. Informações como a avaliação das dimensões dos grãos das fases da argamassa, dispersão e orientação das fases presentes, análise da superfície em 3D, características morfológicas da zona de transição e a micro fissuração podem ser obtidos através da análise das imagens. A

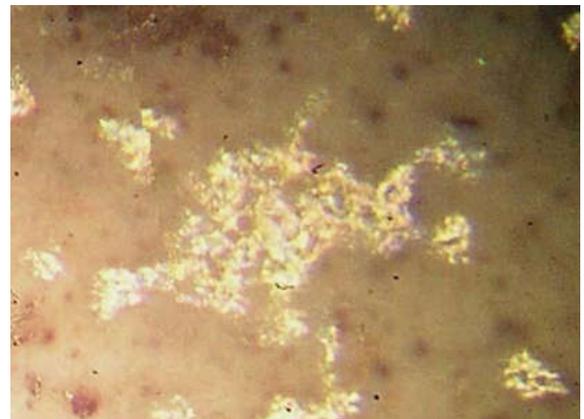
análise de imagens contribui para melhor conhecer estes materiais, sendo um instrumento adequado para avaliar as mudanças morfológicas que ocorrem durante o seu processamento e uso. Com ela, é possível relacionar a microestrutura e as propriedades físicas e mecânicas da argamassa [EPAMINONDAS, 2002]. A Figura 3 mostra que as argamassas não apresentam fissuras, porém vê-se que o tamanho médio dos poros é menor na amostra que contém escória. Fator que ocorre devido à presença do pó de escória que, por ser um material pulverulento, preenche os vazios na argamassa.



Fonte: o autor (2021).

Figura 3. Amostras usadas para análise de imagem em microscopia óptica. Argamassa convencional (a) e argamassa produzida com escória (b).

As imagens obtidas no microscópio ótico são mostradas nas Figuras 4, feita da amostra de argamassa convencional e Figura 5, feita da amostra de argamassa produzida com escória.



Fonte: o autor (2021).

Figura 4. Microscopia óptica da amostra de argamassa convencional, com aumento de 50 vezes.



Fonte: o autor (2021).

Figura 5. Microscopia óptica da amostra de argamassa produzida com escória, com aumento de 50 vezes.

As imagens evidenciam que a quantidade aparente de micro poros é semelhante em ambas as amostras. Observa-se na primeira, a presença de uma fase isolada de areia, que provavelmente ocorreu devido à presença da cal. Já na segunda, tal fase não existe. Esse comportamento pode estar relacionado à presença da escória que não provoca segregação de areia.

CONCLUSÃO

Através dos resultados das análises pode-se concluir que em relação à resistência à compressão, a argamassa com substituição de escória cristalizada oferece menor desempenho que a argamassa convencional, pois a escória não possui propriedade aglomerante. Porém, essa propriedade se mostrou útil, pois não provoca a segregação da areia, cuja causa é a cal. Já a respeito da presença de fissuras, a primeira apresentou um melhor resultado que a segunda, pois a escória é um elemento estável. Além disso, a argamassa obtida com escória cristalizada está de acordo com a norma de acordo com a NBR 13281:2005, sendo classificada quanto à resistência à compressão como P1. A cada dia cresce a produção e consumo dos mais diversos tipos de materiais. Em consequência, aumenta também a exploração por matéria prima e a geração e acúmulo de resíduos, que causam impacto ambiental e, especificamente o último, ocupa espaço que poderia ser utilizado para outro fim. A partir disso, fazem-se necessárias a reciclagem de resíduos e pesquisas sobre novas formas de empregá-los. A reciclagem da escória cristalizada tem valor ambiental, pois ela não será descartada na natureza e econômica, porque voltará a ser matéria-prima, com valor agregado para a indústria.

REFERÊNCIAS

- RANKING produção de fundidos. 2016. Disponível em: <<http://www.fenaf.com.br/vst/>>. Acesso em: 23 ago. 2016
- INFORMATIVO de desempenho de produção de fundidos no Brasil. 2016. Disponível em: <<http://abifa.org.br/indices-setoriais/>>. Acesso em: 23 ago. 2016.
- CADEIAS produtivas e potencialidades. 2013. Disponível em: <www.indi.mg.gov.br>. Acesso em: 23 ago. 2016.
- AGOPYAN, V.; JONH, V.M.; *Reciclagem de escória de alto forno no Brasil*. In: Seminário Nacional sobre Reuso/Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais, São Paulo-SP, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Argamassa Para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos – Determinação da Desistência a Tração na Flexão e a Compressão – Método de ensaio NBR 13279: Rio de Janeiro, 1995.
- DA SILVA, N.G. *Argamassade revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária*. Curitiba, Universidade Federal do Paraná – Departamento de Construção Civil, 2006 (Dissertação de Mestrado).
- JOHN, V.M. *Cimentos de escória ativada com silicatos de sódio*. Tese de D.Sc., Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. NBR 13281. Rio de Janeiro, 2005.
- CASCUDO, O.; CARASEK, H.; CARVALHO, A. “Controle de argamassas industrializadas em obra por meio do método de penetração do cone.” In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS*, VI., 2005, Florianópolis. Anais Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 83-94
- MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. *Recomendações para a Execução de Revestimentos de Argamassa para Paredes de Vedação Internas e Externas e Tetos*. Projeto EPUSP/SENAI, São Paulo, 1998.
- EPAMINONDAS L. F. J. E CAMARINI G. *Análise de imagens: Um avanço para a tecnologia do concreto*. In: 44º Congresso Brasileiro do Concreto, Belo Horizonte – MG, 2002.
