# AVALIAÇÃO DO RESÍDUO DE ARENITO COMO AGREGADO MIÚDO EM MATRIZ DE ARGAMASSA

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081148

**MARIO, MAURO[1]; GIORDANI, CAROLINE[1]; MASUERO, ANGELA BORGES[1]; DAL MOLIN, DENISE CARPENA COITINHO[1]**
[1]PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL: CONSTRUÇÃO E INFRAESTRUTURA (PPGCI/UFRGS)
E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: MAUROMARIO87@GMAIL.COM

**RESUMO:** O trabalho objetiva avaliar o resíduo de arenito amarelo e vermelho como agregado miúdo, comparativamente com areia silicosa de rio. Os resíduos foram caracterizados quimica e mineralogicamente. Os finos do arenito vermelho não apresentaram atividade pozolânica com cal. Para avaliação em argamassas cimentícias, foi variada a coloração do arenito (vermelho e amarelo) e o tratamento dos agregados (com e sem lavagem). Os dois arenitos apresentaram características químicas semelhantes, porém, foi possível verificar diferença na resistência à compressão. Todas as argamassas apresentaram valores similares com relação à absorção de água por capilaridade e resistência à tração na flexão.

**PALAVRAS-CHAVES:** Arenito, resíduo, agregado miúdo, argamassa.

**ABSTRACT:** The aim of this work is to evaluate yellow and red sandstone residues as fine aggregate, compared to siliceous river sand. The residues were chemically and mineralogically characterized. The red sandstone fines showed no pozzolanic activity with lime. For evaluation in cementitious mortars, the color of the sandstone (red and yellow) and the treatment of the aggregates (with and without washing) were varied. Both sandstones had similar chemical characteristics, however, it was possible to verify differences in compressive strength. All mortars presented similar values for capillary water absorption and flexural tensile strength.

**KEYWORDS:** Sandstone, residue, fine aggregate, mortar.

## 1 | INTRODUÇÃO

O arenito é uma rocha sedimentar porosa, constituída por partículas de quartzo ($SiO_2$) unidas por sílica amorfa, óxido de ferro ou carbonatos, além de estarem presentes argila ou silte(1). De origem eólica, o Arenito Botucatu se encontra na Bacia do Paraná, abaixo da Formação Serra Geral, e aflora, no Rio Grande do Sul, na parte Sul do Rio dos Sinos(2).

O arenito pode ser utilizado na construção civil em alicerces, vedação vertical, muros e revestimentos de piso e parede. Porém, além de suprimir a vegetação e modificar visualmente o ambiente, a falta de planejamento e de profissionais técnicos para a extração e beneficiamento do arenito acarretam uma elevada produção de

rejeitos, os quais são acumulados sobre a vegetação ou nos corpos hídricos[2].

O resíduo gerado possui propriedades que podem atender aos requisitos para uso como agregado miúdo em argamassas ou concretos, após britagem para redução das dimensões. Esta substituição poderia vir a diminuir a necessidade de mineração de areia em leitos de rios e em cavas, bem como oferecer destinação para o rejeito da extração de arenito, a qual é realizada em quantidade elevada na região Sul do Brasil.

Em pesquisa anterior[3], o arenito, obtido na mesma pedreira deste trabalho, foi britado até a dimensão de agregado miúdo e utilizado diretamente em argamassas de cimento. Foram obtidos resultados semelhantes ou mais elevados que a argamassa de referência (constituída por areia) para a resistência mecânica, absorção por capilaridade e módulo de elasticidade. Porém, o elevado teor de finos demandou elevada quantidade de aditivo superplastificante.

Portanto, nesta pesquisa objetiva-se avaliar argamassas de cimento (traço 1:4,5, em massa) com areia silicosa de rio (referência) comparando-a com dois tipos de arenito (vermelho e amarelo), submetidos a dois tratamentos diferentes (apenas peneirado e peneirado com lavagem), sendo todos os agregados compostos em frações iguais dos grãos de 0,15mm, 0,3mm, 0,6mm e 1,2mm.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Coleta, caracterização e beneficiamento do arenito

O arenito foi coletado em uma pedreira de porte médio localizada na região de Taquara/RS, a 62 km da cidade de Porto Alegre/RS. O material é extraído para produção de blocos para alicerces e muros, gerando resíduos de granulometria variável, de grandes dimensões a pequenos fragmentos. Esta fonte possui o arenito nas colorações vermelho e amarelo, ambos coletados para avaliação.

De forma a caracterizar o resíduo química e mineralogicamente, foram realizados os ensaios de Fluorescência de Raios-X (FRX) e Difração de Raios-X (DRX) do material sem lavagem, cominuído até passagem completa na peneira 0,075mm. Com as partículas finas, passantes através da lavagem do resíduo sobre a peneira 0,075mm e secas em estufa, foi realizado o ensaio de FRX e a determinação do índice de atividade pozolânica com cal, conforme a NBR 5751[4], sendo este último experimento executado apenas com o arenito vermelho.

Utilizando-se um pistilo e almofariz, os fragmentos do resíduo foram desagregados até a ordem de grandeza de agregado miúdo, para sua utilização em argamassa. Parte do material foi diretamente peneirado nas aberturas de malha de 1,2mm, 0,6mm, 0,3mm e 0,15mm para posterior composição. Uma segunda parte passou pela etapa de lavagem com água do material sobre as mesmas peneiras, de maneira a retirar particulados finos aderidos ao redor dos grãos.

Os agregados miúdos foram compostos por 25% de cada fração obtida, para cada tipo de arenito (amarelo e vermelho) e tratamento (sem e com lavagem). Estes foram comparados com o material de referência, a areia natural silicosa originária de leito de rio, composta com os mesmos teores das mesmas frações granulométricas que os

arenitos. Todos os materiais passaram por secagem em estufa antes da utilização.

### 2.2 Moldagem e caracterização da argamassa

As argamassas foram dosadas com o traço 1:4,5, em massa, com o cimento CP II-Z. Além de utilizado em pesquisas anteriores[3], o proporcionamento escolhido corresponde ao utilizado em concretos com baixa resistência, e o elevado teor de agregado miúdo permite identificar o efeito da variação deste material nas propriedades das argamassas. Optou-se por manter-se o índice de consistência em 225±5mm, variando-se a quantidade de água da mistura. A densidade de massa no estado fresco foi caracterizada conforme a NBR 13278[5].

Para cada agregado, foram moldados corpos de prova prismáticos 4cm x 4cm x 16cm, sendo 3 deles para o ensaio de absorção de água por capilaridade aos 28 dias, conforme NBR 15259[6] e outros 6 para a determinação da resistência à tração na flexão e à compressão aos 7 e 28 dias, segundo a NBR 13279[7]. A cura foi realizada com temperatura de 23°C e umidade relativa de 65%.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Caracterização do arenito

Para o arenito íntegro moído, tanto no DRX (Figura 1) quanto no FRX (Tabela 1), observa-se a presença elevada de $SiO_2$ em relação aos demais componentes. O perfil verificado no DRX é cristalino, sem a presença do halo amorfo, que poderia indicar uma possível pozolanicidade do material na presença do hidróxido de cálcio[8]. Este resultado era esperado, visto que esta rocha sedimentar é constituída predominantemente por grãos de quartzo.

Na avaliação por FRX (Tabela 1) entre o arenito íntegro moído e suas partículas finas, nestas últimas observa-se um menor teor de $SiO_2$, ainda elevado, e maior porcentagem dos outros compostos. Tanto sílica amorfa quanto óxidos de ferro são considerados materiais ligantes das partículas de $SiO_2$ desta rocha sedimentar, e o óxido de alumínio possivelmente é originado da matriz de argila[1], resultado que é corroborado pela presença de caulinita identificada no DRX, e que também é mencionada em outros trabalhos sobre arenito[9].

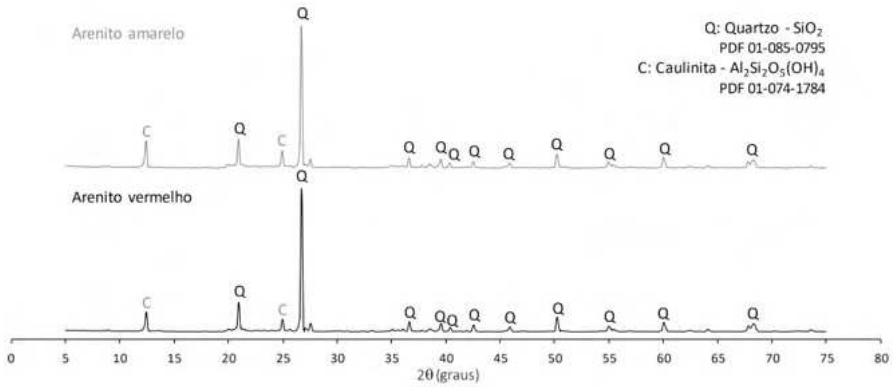



Figura 1 – Composição mineralógica dos arenitos amarelo e vermelho obtida por Difração de Raios X

Fonte: Os autores

| Compostos (%) | Arenito vermelho | Arenito amarelo | Finos - vermelho | Finos - amarelo |
|---|---|---|---|---|
| **$SiO_2$** | 75,55 | 77,27 | 59,58 | 56,58 |
| **$Al_2O_3$** | 15,95 | 14,62 | 25,47 | 26,71 |
| **$Fe_2O_3$** | 1,53 | 1,22 | 2,60 | 2,71 |
| **$K_2O$** | 2,19 | 2,03 | 2,65 | 2,13 |
| **$TiO_2$** | 0,33 | 0,32 | 0,41 | 0,55 |
| **CaO** | 0,10 | 0,21 | 0,13 | 0,14 |
| **MgO** | 0,09 | 0,13 | 0,12 | 0,13 |
| **$P_2O_5$** | 0,07 | 0,09 | 0,14 | 0,14 |
| **Outros (<0,1%)** | 0,10 | 0,16 | 0,16 | 0,16 |
| **$CO_2$** | 4,10 | 3,94 | 8,75 | 10,75 |
| **Total** | **100,00** | **100,00** | **100,00** | **100,00** |

Tabela 1 – Composição química dos arenitos e dos finos obtida por Fluorescência de Raios X

Fonte: Os autores

O teor de $CO_2$ elevado nos finos pode ser explicado por uma maior quantidade de matéria orgânica nesta porção do material. A porcentagem dos compostos foi semelhante entre o arenito vermelho e amarelo, tanto para o material íntegro moído, quanto para seus finos.

Com relação ao índice de atividade pozolânica com cal aos 7 dias, a resistência à compressão dos seis corpos de prova atingiu a média de 0,20MPa, com um desvio padrão de 0,04MPa (19% em relação à média). Considerando este resultado, os finos do arenito vermelho não podem ser considerados pozolânicos, visto que não houve o desenvolvimento da resistência mínima de 6MPa, definida pela NBR 12653[10]. Visto a semelhança da composição química observada no FRX, a pozolanicidade dos finos do

arenito amarelo não foi avaliada.

### 3.2 Caracterização das argamassas

A relação água/aglomerante utilizada na dosagem das argamassas (Tabela 2) foi menor para o agregado miúdo de referência e maior para os resíduos. Os arenitos utilizados após o peneiramento, sem lavagem, exigiram maior quantidade de água para manter constante a trabalhabilidade, possivelmente devido à presença de particulados finos ao redor dos grãos.

A massa unitária das argamassas no estado fresco (Tabela 2) foi menor quando utilizado o agregado de referência, e manteve-se semelhante no caso do uso dos arenitos.

| Agregado miúdo | Relação água/aglomerante | Massa unitária no estado fresco (kg/m³) |
|---|---|---|
| **Referência** | 0,50 | 1963,6 |
| **Vermelho Lavado** | 0,59 | 2049,4 |
| **Amarelo Lavado** | 0,59 | 2028,2 |
| **Vermelho Peneirado** | 0,67 | 2036,4 |
| **Amarelo Peneirado** | 0,67 | 2064,8 |

Tabela 2 – Relação água/aglomerante e massa unitária no estado fresco das argamassas

Fonte: Os autores

### 3.3 Ensaios no estado endurecido

O ensaio de absorção de água por capilaridade (Figura 2) apresentou elevada variabilidade e não foi sensível o suficiente para observar-se diferença entre os agregados. Não foi possível calcular a absorção e o coeficiente de capilaridade visto que algumas argamassas obtiveram massas menores após 10 e 90 minutos de ensaio, indicando que pode ter ocorrido evaporação da água pela lateral do corpo de prova. Entretanto, observa-se um comportamento e uma ordem de grandeza da absorção semelhante entre as argamassas com o arenito e com a areia de referência.

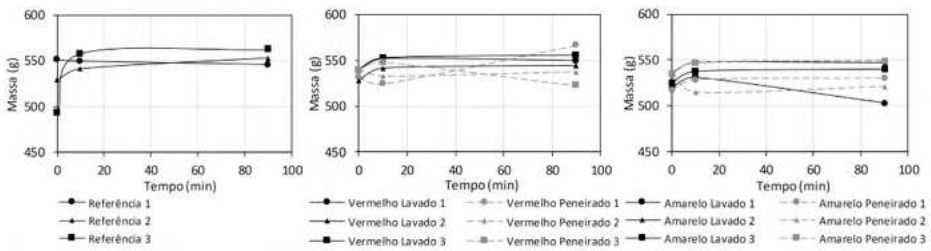



Figura 2 –Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade das argamassas

Fonte: Os autores

Os resultados dos ensaios de resistência, apresentados nas Figuras 3 e 4, foram submetidos à análise de variância ANOVA, com intervalo de confiança de 95%. As linhas vermelhas, quando contínuas, indicam que as médias dos fatores avaliados podem ser consideradas iguais, resultados estes obtidos através da análise com o Método de Fisher.

Para a resistência à tração na flexão (Figura 3), os fatores isolados idade de ruptura (7 e 28 dias) e tratamento das amostras (lavado ou não), bem como a interação entre eles, afetaram significativamente a variável de resposta, enquanto que a cor do arenito (vermelho e amarelo) não exibiu influência significativa. Os resultados obtidos foram valores baixos, mas, em geral, maiores para as argamassas com arenito em comparação com a de referência.

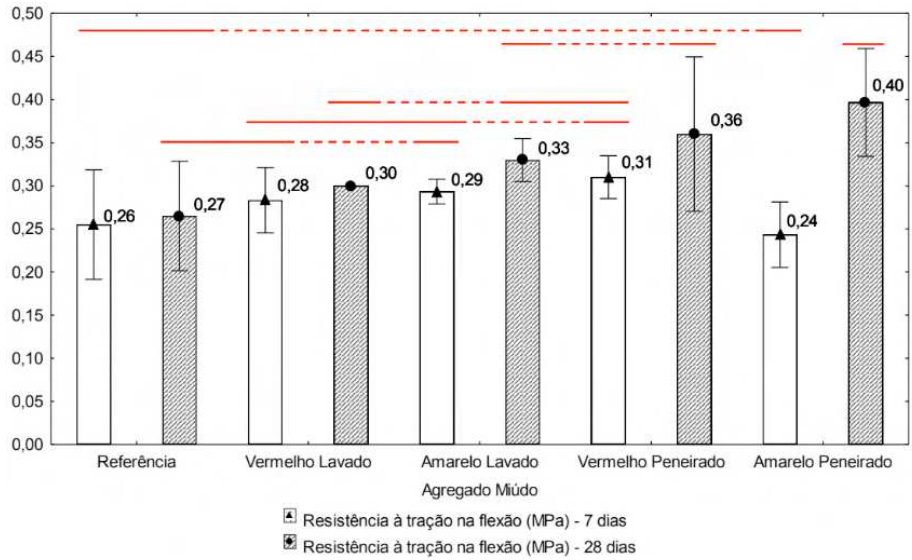



Figura 3 –Resistência à tração na flexão das argamassas e indicação da comparação de médias

Fonte: Os autores

Aos 28 dias, pôde-se verificar que as argamassas com arenito peneirado sem lavagem apresentaram maiores valores do que aquelas com arenito lavado. A justificativa pode ser relacionada à presença de finos ao redor dos grãos no arenito apenas peneirado, que podem ter sido liberados na mistura e auxiliado na densificação da matriz, presença que pode ser benéfica em determinados teores[11]. Porém, caso estas partículas finas permaneçam no entorno do agregado, podem prejudicar a aderência deste com a pasta[12], além de que a presença de elevadas porcentagens de grãos menores que 0,075mm na mistura pode reduzir a aderência de argamassas com o substrato[13].

Para a resistência à compressão (Figura 4), o teste estatístico resultou no mesmo comportamento da resistência à tração na flexão, porém também foi observado o efeito significativo da cor do agregado. As argamassas com ambos os arenitos amarelos e com

o arenito vermelho lavado apresentaram resistências consideradas estatisticamente iguais entre si aos 28 dias, e menores que à da areia natural. A argamassa com arenito vermelho peneirado e sem lavagem apresentou resultado estatisticamente igual à de referência, mesmo que tenha demandado um maior teor de água, e resultado superior à do arenito vermelho lavado, indicando que o tratamento do agregado exerceu influência na resistência à compressão. Além disso, pôde-se verificar que as argamassas com arenito peneirado sem lavagem apresentaram resistência à compressão diferentes conforme a coloração do agregado, sendo superiores com o arenito vermelho.

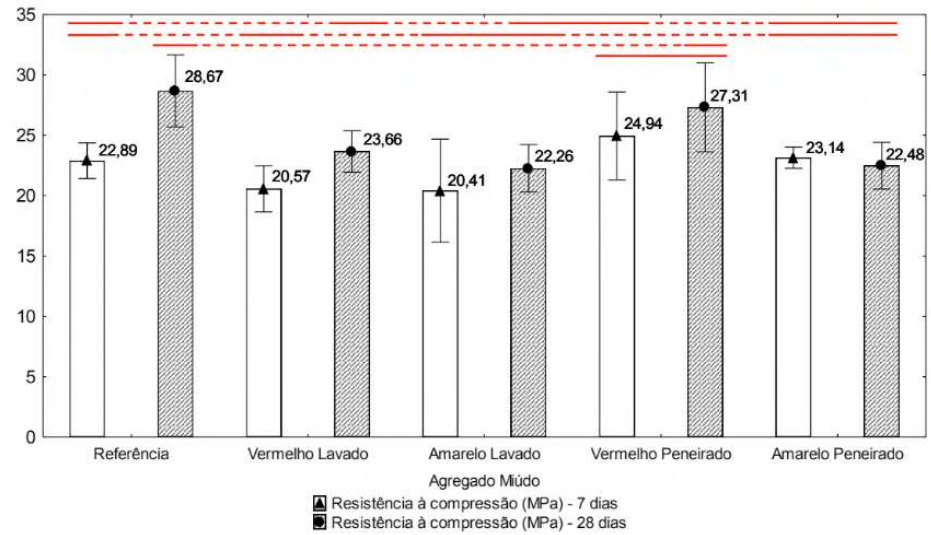



Figura 4 –Resistência à compressão das argamassas e indicação da comparação de médias

Fonte: Os autores

## 4 | CONCLUSÕES

Tendo em vista o que foi apresentado, na maioria dos ensaios realizados o resíduo de arenito apresentou resultados similares aos da areia natural silicosa originária de rio, quando utilizado como agregado miúdo para a produção de argamassa. Em geral, todas as argamassas avaliadas apresentaram baixa resistência à tração na flexão e elevada resistência à compressão, além de um comportamento e ordem de grandeza semelhante para a absorção de água por capilaridade.

Os tipos de arenito (vermelho e amarelo) apresentaram características químicas semelhantes, porém, foi possível verificar diferença entre eles no caso da resistência à compressão. Verificou-se também que as amostras com arenito apenas peneirado, que continha os finos no entorno dos grãos, em geral, obtiveram maiores resistências mecânicas.

A argamassa com o arenito vermelho peneirado e sem lavagem exibiu propriedades similares à de referência nos parâmetros avaliados, apresentando-se estatisticamente

iguais quanto à resistência à compressão. O resultado indica o potencial de uso deste resíduo como agregado miúdo em matrizes cimentícias.

Esta pesquisa se restringiu a analisar argamassas de cimento para verificar a viabilidade inicial do resíduo, sendo necessário, para atingir propriedades e utilizações distintas, uma avaliação específica para cada caso. Por este motivo, sugere-se a continuidade de estudos com o arenito em argamassas e concretos quanto à dosagem, à aplicabilidade e à durabilidade.

## REFERÊNCIAS


1. FRAZÃO, E. B. **Tecnologia de Rochas na Construção Civil.** São Paulo: ABGE, 2002.

2. BARBOSA, N. S. F.; FERREIRA, X. C. Regularização Ambiental de Atividade de Mineração: a Experiência de Taquara. In: BENJAMIN, A. H. (Org.). **Direitos Humanos e Meio Ambiente**. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2006. p. 233-239. v. 1. Disponível em: <http:// www.planetaverde.org/arquivos/biblioteca/ arquivo_20140211190403_8818.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2014.

3. GIORDANI, C. **Viabilidade técnica do uso de resíduo do beneficiamento de arenito como substituição do agregado miúdo em argamassas**. 2014. 124 f. Trabalho de Conclusão (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5751**: Materiais pozolânicos – Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cal. Rio de Janeiro, 2012.

5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de tetos e paredes – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

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

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

8. WALKER, R.; PAVÍA, S. Physical properties and reactivity of pozzolans, and their influence on the properties of lime–pozzolan pastes. **Materials and Structures**, n. 44, p. 1139–1150, nov. 2010. https://doi.org/10.1617/s11527-010-9689-2.

9. CHARUSIRI, P. *et al*. **Petrographic, SEM and XRD Investigations of Sandstones.** Project submitted to PTT Exploration and Production. Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok, jan. 2012. Disponível em: <http://www.eatgru.sc.chula.ac.th/ Thai/research/pdf/report/report_punya/res_051.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2021.

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais Pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

11. PEREIRA, T. A. da C. **Concreto auto-adensável, de alta resistência, com baixo consumo de Cimento Portland e com adições de fibras de lã de rocha ou poliamida**. 2010. 281 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

12. FARIAS, M. M. de; PALMEIRA, E. M. Agregados para construção civil. In: Isaia, G. C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** 1. ed. São Paulo: Ibracon, 2007, p.437-479, v. 1.