

14^o Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2023

UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE MARMORARIA COMO POTENCIAL SUBSTITUTO DO CIMENTO PORTLAND EM ARGAMASSAS

PEDRO H. M. SILVA¹, BRYAN S. NOGUEIRA², LEONARDO G. PEREIRA³, CARLOS H. ROSSI⁴, JOÃO V. FAZZAN⁵

¹ Aluno do Curso Técnico em Edificações Integrado ao Ensino Médio, Iniciação Científica Voluntária PIVICT, IFSP, Campus Avançado Ilha Solteira, pedrocabeca2005@gmail.com.

² Graduando em Engenharia de Produção, Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul – UFMS – Campus de Três Lagoas, bryan.santosnogueira@gmail.com.

³ Aluno do Curso Técnico em Edificações Integrado ao Ensino Médio, Iniciação Científica Voluntária PIVICT, IFSP, Campus Avançado Ilha Solteira, leonardoguanais@outlook.com.

⁴ Docente da Área da Construção Civil, IFSP, Campus Avançado Ilha Solteira, rossi@ifsp.edu.br.

⁵ Docente da Área da Construção Civil, IFSP, Campus Avançado Ilha Solteira, jvfazzan@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.01.01.01-8 Materiais e Componentes de Construção

RESUMO: Dentre os itens indispensáveis na fase final de uma obra, encontram-se as pedras naturais e sintéticas para a construção de pisos e bancadas, pois, além de possuírem alta resistência, apresentam baixo índice de absorção de fluidos. Ao mesmo tempo, o pó gerado pelo corte de pedras nas marmorarias tem gerado certa preocupação para o setor da construção, fazendo com que diversos pesquisadores tenham buscado alternativas de reaproveitamento do material. Portanto, este trabalho mostra o estudo da viabilidade de utilização do pó gerado em marmorarias na produção de argamassas, a partir do corte de Mármore, Granito, Quartzo e Nanoglass. Além de verificar a incorporação do material residual em substituição parcial do cimento Portland, foram realizados ensaios para caracterizar a argamassa no estado fresco (índice de consistência) e estado endurecido (absorção de água por imersão e resistência à compressão simples). O ensaio granulométrico mostrou que a maior parcela da cinza apresenta diâmetro inferior a 75 µm, sendo um potencial substituto do cimento Portland. Além disso, verificou-se que as misturas com 15% de cinza em relação à massa de cimento proporcionam valores de resistência à compressão e absorção de água próximos ao controle, mostrando sua viabilidade de utilização em argamassas.

PALAVRAS-CHAVE: pedras naturais; pedras sintéticas; cinzas; trabalhabilidade; resistência mecânica; absorção.

USE OF MARBLE WORKING WASTE AS A POTENTIAL FOR REPLACEMENT OF PORTLAND CEMENT IN MORTARS

ABSTRACT: Among the indispensable items in the final phase of a construction, there are natural and synthetic stones for the construction of floors and countertops, since, in addition to having high resistance, they have a low rate of fluid absorption. At the same time, the powder generated by cutting stones in marble works has raised some concern for the construction sector, leading several researchers to seek alternatives for reusing the material. Therefore, this work shows the study of the viability by use of the powder generated in marble works in the production of mortars, from the cutting of Marbles, Granites, Quartz and Nanoglass. To verifying the incorporation of residual material in partial replacements of Portland cement, tests were carried out to characterize the mortar in the fresh state (consistency index) and hardened state (water absorption and mechanical strength). The granulometric test showed that the largest quantity of the ash has a diameter of less than 75 µm, being a potential replacement for Portland cement. In addition, it is reinforced that the mixtures with 15% of ash in relation to the mass of cement showed values of mechanical strength and water absorption close to the references mixtures, showing its viability for use in mortars.

KEYWORDS: natural stones; synthetic stones; ashes; workability; mechanical strength; absorption.

INTRODUÇÃO

Os dados atuais demonstram que a produção do cimento Portland é altamente custosa. O custo de instalação de uma fábrica de cimento é bastante elevado, próximo a 200 dólares por tonelada de cimento produzida por ano (Neville, 2016, p. 7). Além disso, segundo Meta e Monteiro (2006), Sharp, Gartner e Macphee (2010) e Ecycle (2022), o cimento está entre as fontes de aproximadamente 8% das emissões mundiais do CO₂ na atmosfera, podendo liberar o óxido de enxofre, óxido de nitrogênio, monóxido de carbono e os compostos de chumbo. Por isso, cada vez mais torna-se necessário pensar em produtos secundários, os quais apresentem propriedades semelhantes ao cimento.

Segundo Oliveira (2015), a possibilidade de utilização dos resíduos de marmoraria é reforçada principalmente pelos benefícios trazidos ao meio ambiente, uma vez que este tipo de resíduo não seria mais lançado em aterros, lixões e terrenos baldios, evitando qualquer tipo de contaminação no solo. O uso do pó residual de marmoraria em argamassas pode se constituir numa opção de aproveitamento do mesmo, na busca do desenvolvimento sustentável para os setores de construção civil.

Oliveira (2015) investigou o efeito da adição do pó residual de marmoraria em teores de 20, 40, 60 e 80% em relação ao cimento e variando o teor da água (40 e 50% em massa) em relação ao cimento nas propriedades físico-mecânicas dos compósitos cimentícios. Os resultados dos ensaios realizados indicaram pela viabilidade técnica da utilização do pó residual de marmoraria na produção de argamassa, para substituições de 20% de cimento por cinza.

Sendo assim, o objetivo deste projeto é avaliar a viabilidade da utilização dos resíduos de marmoraria em substituição parcial do cimento Portland para a produção de argamassas, a partir do corte de pedras comercializadas na atualidade, como Mármore, Granito, Quartzo e Nanoglass.

MATERIAL E MÉTODOS

1. Agregado Miúdo

O agregado miúdo utilizado na produção de argamassas foi classificado como areia média natural, de origem silícea. O material apresenta diâmetro máximo de 2,36 mm e massa específica absoluta de 2,62 g/cm³.

2. Aglomerante

O cimento utilizado foi o CP V – ARI. Trata-se de um cimento com mais de 95% de clínquer na composição, sem adição de pozolana, para que não haja interferência na atividade reativa da cinza de marmoraria. Foram determinados os valores de massa específica absoluta e massa específica aparente, iguais à 3,15 e 1,04 g/cm³.

3. Resíduos de Marmoraria

O resíduo utilizado na pesquisa foi fornecido pela marmoraria situada no município de Ilha Solteira-SP. O material foi estocado no laboratório de Construção Civil do IFSP – Campus Avançado Ilha Solteira – SP.

O processo de produção da cinza iniciou com a secagem do material durante 72 horas de exposição do material a céu aberto, conforme mostra a Figura 1, de tal forma a garantir os procedimentos de peneiramento granulométrico conforme NBR 17054 (ABNT, 2022). Em seguida, o material foi destorroado manualmente e acondicionado em recipientes, passando por um processo de peneiramento granulométrico.



FIGURA 1. Resíduo de Marmoraria durante o processo de secagem.

4. Granulometria dos Resíduos de Marmoraria

Para avaliação da distribuição do tamanho dos grãos do resíduo, utilizou-se um agitador mecânico de peneiras. Para isso, pesou-se aproximadamente 300g de material, que foi submetido ao processo de peneiramento durante 20 minutos, conforme NBR 17054 (ABNT, 2022). Foi utilizado um tempo de 20 min em função da finura do material.

5. Definição dos Traços de Argamassa

Nesta pesquisa pretende-se verificar a influência de diferentes teores de cinza dos resíduos de marmoraria distribuídas aleatoriamente no traço de argamassa. Para isso, foi definido o traço em massa 1:2,5, isto é, com relação agregado/material cimentante igual a 2,5. Para maior efetividade na avaliação das reações da cinza com o Cimento Portland, buscou-se a utilização do traço rico.

Nestas condições, foram definidas duas porcentagens de substituição de Cimento Portland por cinzas, dadas em: 0% (Controle C), 15% (M15) e 30% (M30) de cinza dos resíduos da marmoraria (CRM) em relação à massa de Cimento Portland. As dosagens das misturas estão definidas na Tabela 1 abaixo.

Para efeitos de comparação da trabalhabilidade das misturas, os traços foram elaborados mantendo-se a relação água/cimento constante, de 0,50.

TABELA 1. Dosagens de argamassas para variações nas porcentagens de cinza dos resíduos de marmoraria.

Mistura	% CRM	Consumos (g)			
		Cimento	Areia	Água	CRM
C	0,0	500,0	1250,0	250,0	0,0
M15	15,0	425,0	1250,0	250,0	75,0
M30	30,0	350,0	1250,0	250,0	150,0

6. Procedimentos aplicados às composições de Argamassa no Laboratório

O processo de moldagem dos corpos de prova se deu através da norma NBR 7215 (ABNT, 2019), utilizando-se uma argamassadeira.

O adensamento da argamassa, nas fôrmas de dimensões (5 x 10) cm foi executado de forma manual, para melhor compactação e retirada de vazios da argamassa.

Uma mesa cadente foi utilizada para o ensaio de consistência (Flow Table) juntamente com uma fôrma tronco-cônica. A determinação do índice de consistência foi executada após a preparação da argamassa a partir da norma NBR 13276 (ABNT, 2016).

Após os procedimentos de moldagem, os corpos de prova de argamassa foram mantidos em uma sala fechada em e condição de cura não saturada, conforme a NBR 5738 da ABNT (2016).

Os corpos de prova foram levados ao ensaio de resistência à compressão, fazendo uso de uma Máquina Universal de Ensaio. Os ensaios foram realizados aos 7 e 28 dias de cura, utilizando-se 3 corpos de prova para cada idade.

Após os 28 dias de cura, 3 corpos de prova de cada dosagem de argamassa foram separados para o ensaio de absorção de água por imersão, conforme as prescrições da norma NBR 9778 (ABNT, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Granulometria da Cinza dos Resíduos de Marmoraria

A finura das cinzas dos resíduos de marmoraria foi avaliada, pois o tamanho das partículas de um material influencia no processo de preenchimento dos poros no compósito.

Inicialmente, o pó residual de marmoraria foi seco, destorroado manualmente e passado na peneira de abertura # 4,75 mm. Foi verificado que todo o material se classificou como passante nas peneiras de 4,75 mm, 2,36 mm, 1,19 mm, 600 µm e 300 µm. Portanto, verificou-se que a cinza dos resíduos de marmoraria pode ser classificada como material fino, inviabilizando sua aplicação como um material substituto da areia média natural.

Além disso, constatou-se que aproximadamente 95% do material apresenta diâmetro inferior a 75 μm , demonstrando mais uma vez que tal material pode ter uma granulometria mais próxima do cimento do que da areia.

2. Consistência das Argamassas

O efeito da cinza dos resíduos de marmoraria nas argamassas para o estado fresco foi avaliado por meio do ensaio de Mesa de Consistência (Flow Table). Os valores de abertura encontram-se na Tabela 2 abaixo.

TABELA 2. Diâmetro de abertura de consistência de argamassas sem e com cinza dos resíduos de marmoraria.

Diâmetro (mm)	Mistura		
	C	M15	M30
Média	328	299	278

Os dados mostram que o incremento de cinzas causa redução da trabalhabilidade das misturas de argamassa. Isso quer dizer que a cinza dos resíduos de marmoraria pode requerer uma maior demanda de água para manter a trabalhabilidade constante. Apesar disso, verifica-se que a inserção de 15% de resíduos em relação à massa de cimento causa uma menor redução da abertura, da ordem de 8,8% em relação às misturas controle.

Isso leva a uma possível conclusão que a granulometria, morfologia e textura do material pode gerar a tendência observada. Pode-se verificar também a presença de materiais rochosos que apresentam um grau de absorção maior, como o caso dos mármore, ao invés dos granitos. Entretanto, o teor de cada tipo de pedra natural ou sintética não pode ser mensurado, visto que as atividades de corte acontecem na mesma bancada para todos os tipos de pedras, e o material acaba sendo acondicionado em um mesmo tanque de coleta de cinza.

3. Resistência à Compressão das Argamassas

A Tabela 3 abaixo mostra os resultados de Resistência Mecânica à Compressão dos corpos de prova de argamassa ao longo do tempo de cura.

TABELA 3. Resistência à Compressão de argamassas em função do teor de substituição de cinza dos resíduos de marmoraria e tempo de cura.

Mistura	% CRM	Tempo de Cura (dias)	
		7	28
Resistência à Compressão (MPa)			
C	0,0	41,3	49,3
M15	15,0	38,4	48,8
M30	30,0	36,2	43,2

Observa-se que todas as dosagens tiveram aumento das resistências mecânicas com o aumento do tempo de cura, mostrando as reações de hidratação entre o cimento/CRM e a água.

Além disso, observa-se a influência da cinza das marmorarias nas propriedades mecânicas das argamassas. Aos 7 e 28 dias de idade, percebe-se que as misturas com 15% de CRM em relação à massa de cimento proporcionam valores de resistência mecânica próximos ao controle, mostrando sua viabilidade de utilização em argamassas.

Neste contexto, o efeito do processo de peneiramento parece ter proporcionado um melhor efeito de preenchimento das argamassas nas idades iniciais.

Aos 28 dias de cura, nota-se que a resistência mecânica dos traços com CRM em relação às misturas controle apresentaram uma queda maior de resistência à compressão, em até 12% para as misturas com 30%. Além disso, dos 7 para 28 dias, a taxa de incremento de resistência é menor para as misturas M30 (da ordem de 19%), em relação às misturas M15 (da ordem de 27%), mostrando que as cinzas dos resíduos de marmoraria podem apresentar um efeito de reatividade mais tardio que o cimento Portland, à medida em que seu consumo é incrementado.

4. Absorção de Água por Imersão

O ensaio de absorção de água foi feito aos 28 dias de cura (Figura 2) para analisar os efeitos de porosidade influenciada pela inclusão da cinza dos resíduos de marmoraria.

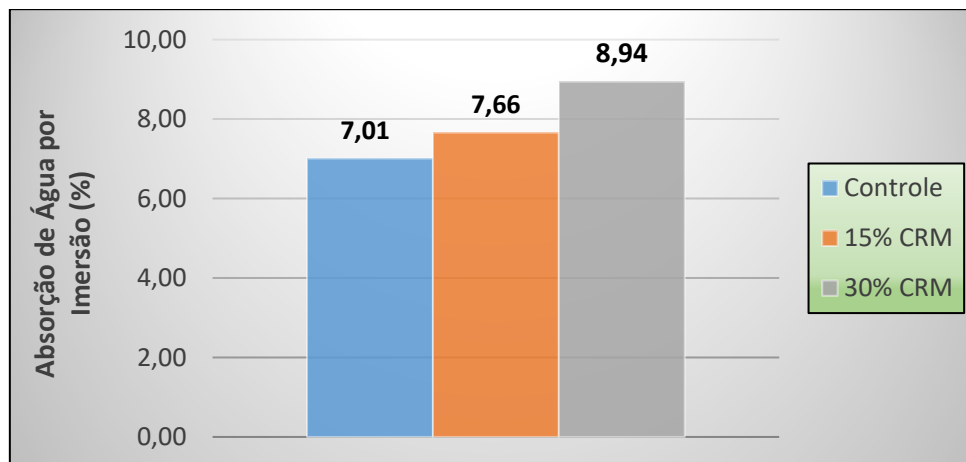


FIGURA 2. Absorção de Água por Imersão para as misturas.

De modo geral, a inclusão de cinza dos resíduos de marmoraria trouxe um incremento nos valores de absorção das argamassas. Pode-se verificar que sua granulometria é maior em relação ao cimento, o que pode ter gerado a formação de poros e o consequente aumento.

Os dados mostram que os traços com 15% de CRM apresentam um menor incremento de absorção, da ordem de 9%. Entretanto, pode ser observado que a inclusão de 30% de cinza trouxe um aumento da ordem de 27% nos valores de absorção.

CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade da utilização das cinzas provenientes dos resíduos de marmorarias na produção de argamassas, em relação à massa de cimento Portland substituído, a partir do corte de pedras comercializadas na atualidade, como Mármore, Granito, Quartzito e Nanoglass.

Constatou-se que a granulometria do material estudado apresenta grau de finura maior que o da areia média natural, indicando que as cinzas podem apresentar-se como um material substituto do Cimento Portland. Associado à granulometria próxima a do cimento, os dados mostram que a substituição da cinza pode auxiliar no ganho de resistência mecânica das argamassas, bem como promover o fechamento de poros das misturas.

Para avaliação das propriedades mecânicas das argamassas, optou-se por desenvolver um traço rico, de forma a avaliar de maneira mais efetiva a inclusão da cinza da marmoraria em relação à massa de cimento substituída.

Para avaliação da trabalhabilidade das misturas, o efeito da inclusão das cinzas foi analisado por meio da constância da relação água/cimento, permitindo concluir que as misturas constituídas de material alternativo tiveram sua trabalhabilidade reduzida; isto quer dizer que este material pode requerer uma maior demanda de água para manter a trabalhabilidade constante. Neste sentido, a inclusão de aditivos superplastificantes também pode ser uma opção para futuras pesquisas, de forma a manter as propriedades das argamassas no estado fresco, sem a perda de propriedades mecânicas.

Frente à maior granulometria das cinzas em relação ao cimento Portland, pode-se verificar um aumento nos valores de absorção de água por imersão das misturas, o que pode estar associado à maior formação de poros no interior das argamassas.

Em relação ao ensaio de Resistência à Compressão, percebe-se que as misturas com 15% de cinzas dos resíduos de marmoraria em relação à massa de cimento proporcionam valores de resistência próximos ao controle, mostrando sua viabilidade de utilização em argamassas.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

PEDRO H. M. SILVA contribuiu com o tema inicial do projeto, através do contato feito com a empresa (Marmoraria) e posterior coleta do material.

PEDRO H. M. SILVA, BRYAN S. NOGUEIRA e LEONARDO G. PEREIRA procederam com a metodologia, experimentos e redação do trabalho.

CARLOS H. ROSSI, JOÃO V. FAZZAN também atuaram na redação do trabalho.

Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

À Marmoraria Nova Ilha, localizada no município de Ilha Solteira-SP, pela doação do material, bem como ao Aluno do Curso Técnico em Edificações, pelo contato feito com a empresa e aquisição do material. Ao Departamento de Engenharia Civil da UNESP FEIS. À Pró-Reitoria do IFSP, pelo incentivo ao Programa PIVICT para o Campus Avançado Ilha Solteira – Programa Institucional Voluntário de Iniciação Científica e Tecnológica do IFSP.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7215**: cimento Portland – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9778**: argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 17054**: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022. 5 p.

ECYCLE. **Como ocorre o processo de produção do cimento e quais são seus impactos ambientais?** Disponível em: <<http://www.ecycle.com.br>> Acesso em: 16 jun. 2022.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto** / A. M. Neville; tradução: Ruy Alberto Cremonini. - 5. Ed. – Porto Alegre : Bookman, 2016.

OLIVEIRA, L. S. **Reaproveitamento de Resíduos de Marmoraria em Compósitos Cimentícios**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Mecânica (Ppmec). São João Del-Rei.

SHARP, J.H.; GARTNER, E.M.; MACPHEE D.E. Novel cement system (sustainability). Session 2 of the Fred Glasser cement science symposium. **Adv. Cem. Res.** 2010, 22 (4), 195–202.