2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DA CAL POR RESÍDUOS DE CERÂMICA VERMELHA NAS PROPRIEDADES DO ESTADO ENDURECIDO DE ARGAMASSAS MISTAS[1]

OLIVEIRA, Luis (1) ;FONTENELE, Amanda (2); CABRAL; Antônio (3)

(1) Universidade Federal do Ceará, lmarcelo05@alu.ufc.br
(2) Universidade Federal do Ceará, amanda_fontenele@alu.ufc.br
(3) Universidade Federal do Ceará, eduardo.cabral@ufc.br

RESUMO

Considerando-se a grande produção de resíduos de cerâmica vermelha (RCV) e os impactos ambientais associados ao descarte inapropriado destes resíduos no meio ambiente, e o alto teor de emissão de CO_2 associado à produção da cal, este trabalho analisa o impacto da substituição da cal por RCV nas propriedades do estado endurecido de argamassas mistas. Para isso, foram feitas substituições nos teores de 20%, 40% e 60%, além de um traço de referência, para verificar a influência destas propriedades por meio dos seguintes ensaios: resistência à tração na flexão, resistência à compressão, absorção de água e índice de vazios. Os resultados obtidos foram satisfatórios para a maioria das propriedades mecânicas e físicas das argamassas, para todos os teores de substituição analisados, tendo no teor de 40% os resultados mais satisfatórios, demonstrando o potencial desta substituição.

Palavras-chave: *Resíduo de cerâmica vermelha (RCV). Argamassa mista. Estado endurecido. Substituição da cal.*

ABSTRACT

Considering the large production of red ceramic brick waste (RCBW) and the environmental impacts associated with the inappropriate disposal of these residues in the environment, and the high CO_2 emission content associated with the production of lime, this paper analyzes the impact of substitution of lime by RCBW in the properties of the hardened state of mixed mortars. For this, replacements of 20%, 40%, 60% of lime were made by RCBW, in addition to a reference mortar, to verify the influence of these properties through the following tests: flexural tensile strength, compressive strength, water absorption and voids index. The results obtained were satisfactory for most of the mechanical and physical properties of mortars, for all the replacement contents analyzed, with the content of 40% being the most satisfactory, demonstrating the potential of this substitution.

Keywords*: Red ceramic brick waste (RCBW). Mixed mortar. Hardened tests. Lime replacement.*

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil, que representa um dos setores mais importantes economicamente para o Brasil, também é reconhecida como uma das maiores

[1] INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DA CAL POR RESÍDUOS DE CERÂMICA VERMELHA NAS PROPRIEDADES DO ESTADO ENDURECIDO DE ARGAMASSAS MISTAS. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

geradoras de resíduos sólidos na natureza e consumidora de recursos naturais (DALLA ZANNA; FERNANDES; GASPARINE, 2017). Em função disso, a busca por soluções sustentáveis no setor construtivo, buscando-se técnicas seguras e eficientes de aproveitamento de rejeitos da construção e redução da emissão de rejeitos no meio ambiente, é um desafio cada vez mais presente no setor da construção civil (APOLINÁRIO, 2013).

Os materiais da construção civil, em particular, são maléficos ao meio ambiente em todas as etapas de seu ciclo de vida, desde a extração de matéria-prima em jazidas até a deposição de resíduos de construção e demolição (GALÁN-ARBOLEDAS et al., 2017). Em especial, destaca-se o setor da indústria cerâmica, que possui grande potencial poluidor em sua etapa produtiva, gerando, segundo o Ministério de Minas e Energias – MME (2009), uma quantidade de resíduos no pós-queima de cerca de 20% da produção total de blocos em olarias do Brasil.

Outro material construtivo com grande potencial poluidor é a cal, que é utilizada em grande escala como aglomerante em argamassas de assentamento e revestimento (PEREIRA, 2009). Durante a etapa produtiva da cal, a produção de CO_2 e emissão deste na atmosfera por chegar a 770 kg/tonelada durante a decomposição do calcário, além de emissão deste gás poluidor também na queima de combustíveis fósseis e vegetais durante a produção nos fornos PEREIRA, 2009).

Considerando-se a deposição inadequada de resíduos de cerâmica vermelha (RCV) em aterros sanitários e outros destinos inadequados e o alto potencial poluidor do CO_2 gerado durante a produção da cal, estudos relacionados à adequada deposição do RCV e redução de produção na cal são cada vez mais importantes para tornar o setor construtivo mais sustentável. Segundo Oliveira e Menezes (2015), estudos sobre a substituição ou redução da cal em argamassas ainda são escassos na comunidade acadêmica.

O objetivo do presente estudo é avaliar a influência da utilização de resíduos de cerâmica vermelha em substituição à cal em argamassas mistas nas propriedades do estado endurecido. Segundo Cardoso, Pileggi e John (2010), as principais propriedades das argamassas de revestimento, considerando-se seu bom desempenho, estão relacionadas às propriedades finais no estado endurecido, como resistência à compressão, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade.

Desta forma, busca-se uma alternativa de utilização do RCV que seria depositado no meio ambiente, além de reduzir a utilização da cal, o que, consequentemente, reduziria o volume de CO_2 emitido à atmosfera durante sua produção.

1.1 Indústria da cerâmica vermelha

Os principais impactos da indústria da cerâmica vermelha geralmente estão relacionados à degradação das jazidas de extração de argila, consumo de energia, geração de resíduos sólidos e emissão de gases poluentes. Segundo a ANICER (2008), as geração de resíduos durante o processo fabril poderia ser reduzido se os fabricantes adotassem equipamentos para aumentar a qualidade dos blocos produzidos, como secadores, porém, os ceramistas preferem acreditar que os custos provenientes da aquisição de tais equipamentos superaria a economia financeira advinda da redução das perdas. Neste caso, o impacto ambiental da geração de resíduos não é considerada.

Estudos promissores sobre a utilização do RCV foram realizados por Toledo Filho et. al

(2007) e Silva *et al.* (2009), os quais analisaram a viabilidade da substituição parcial de cimento por RCV em argamassas e a adição simples do RCV na argamassa, respectivamente. Os resultados obtidos demonstraram que para o teor de 20% de substituição, a resistência à compressão e o módulo de elasticidade não foram afetados, além do RCV melhorar o comportamento da argamassa quanto à retenção de água.

Outro estudo relacionado à substituição do cimento por RCV foi realizado por Schackow *et al.* (2015), que realizaram substituições de até 40% e constataram que o teor de 10% de substituição geravam mudanças microestruturais na argamassa que possibilitaram uma melhora nas propriedades físicas e mecânicas desta.

Nos estudos de Navrátilová e Rovnaníková (2016), o RCV foi usado em substituição à cal em argamassas aéreas de traço 1:3, obtendo-se no teor de substituição de 50% os melhores resultados nas propriedades mecânicas das argamassas.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Caracterização dos materiais

Foram realizados, no agregado miúdo, os ensaios de granulometria, conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003); massa unitária, conforme a NBR NBR NM 45 (ANBT, 2006); e massa específica e absorção de água, conforme a NBR NM 52 (ABNT, 2009). Nos materiais finos (cal, cimento e RCV em pó), foi realizado o ensaio de massa específica, conforme a NBR 16605 (ABNT, 2017).

O agregado miúdo utilizado possui Dimensão Média Característica (DMC) de 2,36 mm e módulo de finura 2,52, além de massa específica de 2,59 g/cm³. Utilizou-se cimento Portland da classe CP II Z – 32 RS, de massa específica 3,01 g/cm³, selecionado em função de sua utilização frequente em obras de edificações. A cal utilizada na argamassa pertence à classe CH-I, com massa específica 2,36 g/cm³. Finalmente, a massa específica do RCV foi de 2,68 g/cm³.

O RCV foi colhido em sua forma bruta (Figura 1a), sendo posteriormente triturada em triturador de mandíbulas, adquirindo tamanho aproximado de 1 cm de comprimento (Figura 1b) e finalmente foi colocado durante 10 h em moinho de bolas, o qual homogeneizou e reduziu o tamanho das partículas à pó (Figura 1c). Para garantir maior homogeneidade do pó de RCV, este foi passado na peneira de abertura 0,075 mm após secagem em estufa por 24 h, utilizando-se na pesquisa apenas o material passante.

Figura 1 – Beneficiamento do RCV. (a) Material colhido na empresa; (b) Material após triturador de mandíbula; (c) Material após moagem e peneiramento.



Fonte: Autores, 2020.

2.2 Dosagem e confecção dos corpos de prova

Utilizou-se na pesquisa argamassa de traço misto 1:1:6, sendo 1 saco de cimento (50 kg), 1 saco de cal (20 kg) e 6 padiolas de 40 L de agregado miúdo. Os teores de substituição em volume da cal por RCV foram de 0%, 20%, 40% e 60%, sendo a substituição em 0% apenas uma referência para os resultados com substituição efetiva. O teor de água utilizado em cada teor de substituição foi homogeneizado como a quantidade necessária de água para obter-se abatimento de 260±5 mm, segundo os procedimentos da NBR 16541 (ABNT, 2016), homogeneizando-se assim as trabalhabilidades.

A produção das argamassas para determinação da resistência à compressão, resistência à tração na flexão, índice de vazios absorção de água seguiu os procedimentos descritos na NBR 16541 (ANBT, 2016), e a confecção dos copos de prova foi feita conforme as recomendações da NBR 13279 (ABNT, 2005).

2.3 Ensaios no estado endurecido

Foram realizados ensaios de resistência à compressão e resistência à tração na flexão nas argamassas nas idades de 3, 7 e 28 dias, conforme as prescrições da NBR 13279 (ABNT, 2005), de forma a observar o comportamento mecânico da argamassa nas idades iniciais. Além destes, foram realizados os ensaios de absorção de água e índice de vazios nas idades de 7 e 28 dias, conforme ensaio prescrito na NBR 9778 (ABNT, 2009).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta de forma resumida os resultados médios obtidos nos ensaios de caracterização das argamassas no estado endurecido.

Tabela 1 - Resultados dos ensaios no estado endurecido das argamassas

TRAÇO	IDENT.	Idade (dias)	Res. Tração (MPa)	Res. Compressão (MPa)	Absorção de água (%)	Índice de vazios (%)
1:1:6	REF.	3	2,17	6,62		
		7	2,40	8,67	15,45	28,17
		28	2,70	10,29	14,9	27,46
	RCV 20	3	2,50	7,80		
		7	2,83	9,84	14,72	27,03
		28	3,03	12,26	13,76	25,83
	RCV 40	3	2,20	9,53		
		7	3,23	12,92	13,38	25,40
		28	5,80	13,86	13,36	25,15
	RCV 60	3	2,07	8,30		
		7	3,03	12,01	13,84	26,06
		28	3,75	13,69	13,59	25,77

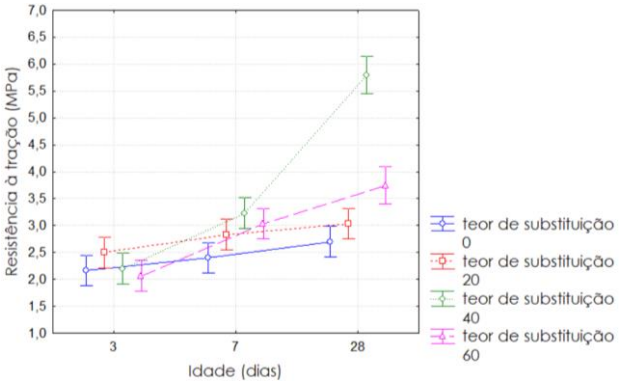
Fonte: Autores, 2020.

Os resultados de resistência à tração na flexão, resistência à compressão, absorção de água e índice de vazios foram analisados estatisticamente no *software* Statistica, no qual foram realizadas análises de variância (ANOVA) e comparações múltiplas de médias pelo método de Tukey nos valores obtidos experimentalmente para cada um dos ensaios. Todos os resultados apresentados possuem grau de confiança de 95%.

3.1 Resistência à tração na flexão

A Figura 2 apresenta os resultados obtidos para a resistência à tração na flexão.

Figura 2 - Resistência à tração na flexão da argamassa.



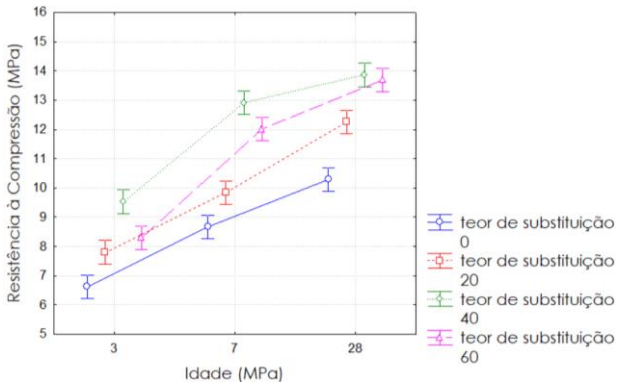
Fonte: Autores, 2020.

A partir destes resultados é possível perceber que na idade de 7 dias não há variação significativa entre as resistências para qualquer teor de substituição. Esta situação se altera nas demais idades. Aos 14 dias, a resistência à tração na flexão para o teor de 40% de substituição é maior, estatisticamente, do que o valor da resistência da argamassa de referência, sem substituição de cal por RCV. Este resultado torna-se ainda mais evidente aos 28 dias, na qual a resistência da argamassa de referência é menor, estatisticamente, do que as resistências obtidas nos teores de substituição de 40% e 60%, sendo o teor de 40% o teor ótimo, que obteve maior resistência à compressão, com valor médio de resistência à compressão cerca de 115% maior do que a resistência obtida na argamassa de referência e 55% maior do que a resistência média da argamassa com 60% de substituição. Considerando-se os requisitos da NBR 13281 (ABNT, 2005) para a resistência à tração na flexão, a argamassa com substituição de 40% é a única classificada na classe R6, aos 28 dias. Nesta mesma idade, os teores de 20% e 60% são classificados na classe R5 e a argamassa de referência classificada na classe R4.

3.2 Resistência à compressão

Os resultados de resistência à compressão das argamassas para os diferentes teores de substituição são apresentados na Figura 3.

Figura 3 - Resistência à compressão da argamassa



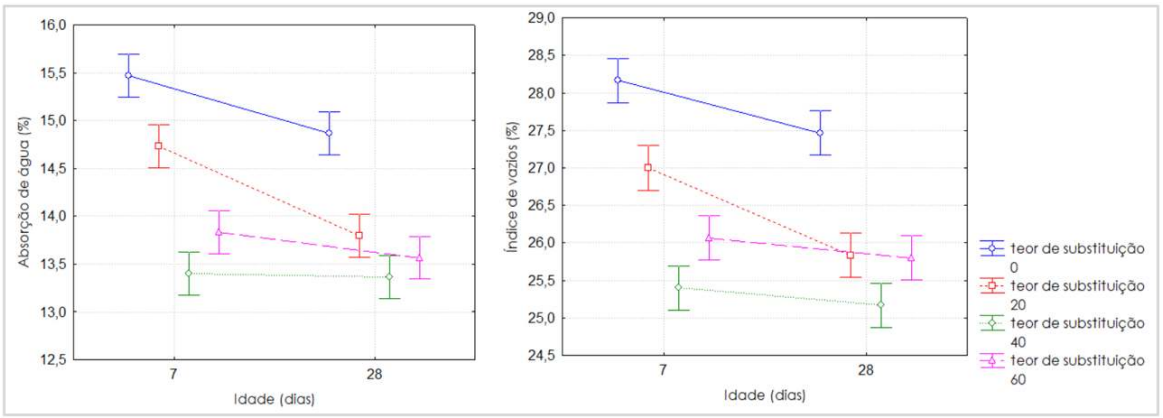
Fonte: Autores, 2020.

A partir dos resultados, é possível afirmar que aos 3 dias, os valores de resistência à compressão das todas as argamassas com substituição são maiores do que a resistência à compressão da argamassa de referência, sendo o teor de 40% o de maior resistência. Aos 7 dias, este comportamento se mantém, tendo a argamassa de referência a menor resistência à compressão e a argamassa com 40% de substituição a maior. Os 28 dias, a argamassa de referência possui a menor resistência à compressão, e as argamassas com 40% e 60% de substituição possuem os maiores valores, sendo estatisticamente iguais. Considerando-se os requisitos da NBR 13281 (ABNT, 2005) para a resistência à compressão, todos os teores de substituição estão situados na classe P6 considerando-se suas resistências à compressão aos 28 dias.

3.3 Absorção de água e índice de vazios

Os resultados do ensaio para obtenção da absorção de água e índice de vazios são apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Absorção de água e índice de vazios das argamassas.



Fonte: Autores, 2020.

A partir dos resultados apresentados, é possível perceber que o comportamento de ambos os índices para os diferentes teores de substituição são bastante similares. Este resultado é coerente considerando-se que a quantidade de água absorvida por um material está associada ao índice de vazios e aos poros presentes em sua microestrutura. Para ambos os índices, o valor para 7 e 28 dias é máximo na argamassa de referência. A 28 dias, não há diferenças significativas para o índice de absorção de água e índice de vazios para os teores de 20%, 40% e 60% de substituição.

O aumento dos valores de resistência para argamassas com adição de RCV pode estar associado à ativação de atividade pozolânica do RCV moído. Segundo Seco (2012), a presença de óxidos de Al e Si no estado amorfo do RCV pode lhe atribuir propriedades pozolânicas. Esta ativação pozolânica também pode ser tida como a principal responsável para a diminuição da absorção de água e índices de vazios das argamassas com substituição de cal por RCV. De acordo com Araújo (2017), a distribuição do tamanho dos poros nos compósitos cimentícios com pozolanas mostra que os produtos da reação são muitos eficientes em preencher espaços existentes na microestrutura, melhorando, assim, a resistência e impermeabilidade do sistema.

Outra explicação possível para o aumento das resistências à tração na flexão e à compressão podem estar associadas à redução do volume de vazios das argamassas com adição de RCV. Este fator indicaria uma melhora no

intertravamento e adequação das partículas internas da argamassa, tornando-a mais compacta, e consequentemente, mais resistente.

4 CONCLUSÕES

Os resultados do estado endurecido demonstram que os três teores de substituição analisados melhoraram as propriedades mecânicas da argamassa, em relação ao traço de referência, tendo na substituição de 40% o valor ótimo dentre os analisados tanto para a resistência à compressão quando para a resistência à tração na flexão. A substituição da cal por RCV também ocasionou redução dos índices de absorção de água e índice de vazios.

O estudo realizado, portanto, aponta possibilidades de melhoria do desempenho de argamassas de revestimentos através da substituição da cal por resíduos de cerâmica vermelha. Os resultados apontam que a potencial utilização de RCV como material alternativo em substituição à cal nas argamassas pode ser uma solução para a redução da disposição deste resíduo em locais inadequados e redução da utilização da cal, com consequente redução de emissão de gases poluentes em seu processo de produção.

Ressalta-se, porém, que as razões para o aumento das propriedades mecânicas da argamassa, seja devido a uma ativação pozolânica, intertravamento das partículas, ou outros fatores, pode ser diferente para diferentes tipos de RCV e também irá diferir para os diferentes teores de RCV utilizados em substituição à cal na argamassa.

REFERÊNCIAS

ANICER – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. Setor. Disponível em: < https://www.anicer.com.br/anicer/setor/ >. Acesso em: 06/06/19.

APOLINÁRIO, E. C. de A. Influência da adição do resíduo proveniente do corte de mármore e granito (RCMG) nas propriedades de argamassas de revestimento. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia - Ufba, Salvador, 2013.

ARAÚJO, R. A. Influência da utilização de resíduo de cerâmica vermelha nas propriedades de argamassas mistas. 2017. 96 f. Dissertação - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13281**: Argamassa de Assentamento e Revestimento de paredes e Teto-Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. Squeze-flow aplicado a argamassas de revestimento: Manual de utilização. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, v. 1, p. 1-31, 2010.

DALLA ZANNA, Caio; FERNANDES, Fernando; GASPARINE, José Carlos. Solid construction waste management in large civil construction companies through use of specific software-case study. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 39, n. 2, p. 169-176, 2017.

GALÁN-ARBOLEDAS, R. J. et al. Energy, environmental and technical assessment for the incorporation of EAF stainless steel slag in ceramic building materials. **Journal Of Cleaner Production,** [s.l.], v. 142, p.1778-1788, jan. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.110.

MME-MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Análise-síntese da transformação mineral no Brasil. Brasília: SGM, 2009.

NAVRÁTILOVÁ, E.; ROVNANÍKOVÁ, P. Pozzolanic properties of brick powders and their effect on the properties of modified lime mortars. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 120, p.530-539, set. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.062

OLIVEIRA, D. R.; MENEZES, L. G. Avaliação de desempenho de argamassas de revestimento em alvenarias com substituição da cal por materiais plastificantes inertes. Patos de Minas: Pós-gradução, Pesquisa e Extensão do Centro Universitário de Patos de Minas - Unipam, 2015.

PEREIRA, L. S. A indústria da cal no Brasil. Iniciação Científica. Universidade Federal Fluminense. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/500/1/27Luana%20dos%20Santos%20Pereira.pdf> Acesso em: 11/06/19.

SCHACKOW, A. et al. Influence of fired clay brick waste additions on the durability of mortars. **Cement And Concrete Composites**, [s.l.], v. 62, p.82-89, set. 2015. Elsevier BV.

SECO, A. et al. Types of Waste for the Production of Pozzolanic Materials –A Review. Industrial Waste, [s.l.], p.141-147, mar. 2012. InTech. http://dx.doi.org/10.5772/36285.

SILVA, J.; BRITO, J.; VEIGA, R. Incorporation of fine ceramics in mortars. **Construction And**

Building Materials, [s.l.], v. 23, n. 1, p.556-564, jan. 2009. Elsevier BV.

TOLEDO FILHO, R.D. et al. Potential for use of crushed waste calcined-clay brick as a supplementary cementitious material in Brazil. **Cement And Concrete Research**, [s.l.], v.37, n. 9, p.1357-1365, set. 2007. Elsevier BV.