

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E MICROESTRUTURAIS DE ARGAMASSAS PARA CONSTRUÇÃO COM E SEM REJEITOS PARTICULADOS DE TIJOLOS DE CERÂMICA VERMELHA

F. A. J. Anjos, L.V.O. Valentina, A. Schackow, S.L. Correia
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas
(UDESC/CCT), Joinville, SC
Rua Paulo Malschitzki, s/n - Campus Universitário - Joinville - SC - Brasil
CEP: 89.219-710. estruturalfernanda@gmail.com

RESUMO

Este trabalho faz um estudo comparativo das propriedades tecnológicas e microestruturais de argamassas com e sem rejeitos particulados de tijolos de cerâmica vermelha. Duas misturas, uma contendo apenas cimento Portland, e a outra contendo 25 % (massa) do rejeito em substituição parcial ao cimento foram obtidas a nível laboratorial, para as mesmas condições de mistura. As argamassas foram avaliadas quanto as propriedades tecnológicas no estado fresco (índice de consistência) e no curado após 28 dias de cura (resistência à compressão). Amostras das peças rompidas foram caracterizadas usando difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados mostraram que a substituição parcial de rejeito por cimento alterou a trabalhabilidade e aumentou a resistência à compressão após 28 dias de cura. A caracterização microestrutural mostrou que o resíduo melhorou a morfologia das fases, contribuindo para uma microestrutura mais coesa e de menor porosidade.

Palavras-chaves: Argamassa; Rejeito de tijolo vermelho; Resistência à compressão; Microestrutura.

1. INTRODUÇÃO

As argamassas possuem um papel importante para a durabilidade das alvenarias, estas conferem proteção contra agentes agressivos do meio ambiente, prolongando a vida útil de edificações residenciais, comerciais e industriais ⁽¹⁾.

Antes do surgimento do cimento Portland, as argamassas eram obtidas usando tijolos triturados misturados à cal hidratada. O material, uma mistura de cacos e pó, teve seu uso difundido no Império Romano do Oriente, no período bizantino ⁽²⁾. Os tijolos triturados na forma particulada apresentam propriedades de material pozolânico. Materiais pozolânicos são silicoaluminosos que sozinhos possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas quando finamente divididos e na presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio, à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades cimentícias ⁽³⁾.

Por outro lado a conservação do meio ambiente exige uma nova consciência, de geração de novos produtos através da reciclagem de resíduos ⁽⁴⁾. A argamassa com resíduo contribui para reduzir uma considerável porcentagem do consumo de cimento, favorecendo a uma menor extração de matérias primas, redução da exploração ao meio ambiente e redução do gás carbônico lançado na atmosfera ⁽⁵⁾.

A importância do aproveitamento de resíduos na construção civil deve-se basicamente a possibilidade de desenvolvimento de material de baixo custo a partir de subprodutos, disponíveis localmente, através da investigação de suas potencialidades e a interface direta do setor da construção com a cadeia produtiva fornecedora de insumos ⁽⁴⁾. A argila presente no tijolo de cerâmica vermelha, quando submetida a determinadas temperaturas, sofre transformações, podendo dar origem a substâncias com reatividade pozolânica, geralmente em temperatura de calcinação de 600 °C a 800 °C, afetando a constituição mineralógica da matéria prima e sua morfologia ⁽¹⁾.

Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade de utilização do resíduo de olaria, tijolo de cerâmica vermelha, em substituição ao cimento na produção de corpos de prova de argamassas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados no processo experimental de argamassa foram: resíduos de tijolo de cerâmica vermelha, de olaria em Joinville / SC; areia de rio (seca em estufa); cimento CP-II-Z-32 (Votorantin); cal CH III (São Tomé); água potável fornecida pela Companhia Águas de Joinville / SC.

Como as normas brasileiras não definem traços para fabricação de argamassas, foi adotado o traço em volume 1: 1,5: 6 (cimento; cal hidratada; areia), usualmente utilizado em canteiros de obras. Ao todo, quatro misturas de argamassa foram produzidas. Duas amostras com fator água/cimento (a/c) iguais, uma amostra padrão sem resíduo e outra com resíduo, Tabela 1. Mais duas amostras com fator água/cimento diferentes, para avaliar o índice de consistência, Tabela 2. A porcentagem de substituição do resíduo foi de 25 % da massa de cimento.

Tabela 1. Materiais utilizados na presente pesquisa para a obtenção das argamassas, fator água/cimento iguais.

Argamassa (g)	Cimento	Cal	Areia	Água	Resíduo
Sem resíduo (ASR1)	177,61	184,14	1487,33	444,02	0
Com Resíduo (ACR1)	122,47	195,23	1596,90	408,20	40,82

Tabela 2. Materiais utilizados na presente pesquisa para a obtenção das argamassas, fator água/cimento diferentes

Argamassa (g)	Cimento	Cal	Areia	Água	Resíduo
Sem resíduo (ASR2)	220,00	228,09	1842,32	444,02	0
Com Resíduo (ACR2)	122,36	195,06	1575,51	374,37	40,79

Na metodologia experimental o resíduo particulado de tijolo foi moído e peneirado no tamanho de 75 µm, separado para caracterização de raios X, análise térmica e fluorescência de raios X. Para as argamassas foram separados os materiais de acordo com a quantidade estabelecida pelas Tabelas 1 e 2. Primeiro foram misturados cal, areia e água no misturador mecânico por 4 minutos. Esse material ficou em repouso por aproximadamente 24 horas. Então foi corrigida a água perdida por evaporação e feita a mistura dos materiais juntamente com o cimento e rejeito no misturador mecânico por 4

minutos, na velocidade mínima ⁽⁶⁾. Após a mistura foi medido o índice de consistência, através da mesa de consistência ⁽³⁾. A moldagem dos corpos de prova foi realizada em formas triplas de 4x4x16 cm. Foram moldados em 2 camadas e em cada realizou-se 30 quedas na mesa de adensamento. A cura foi feita por imersão em água, em ambiente controlado com temperatura de 26°C, por 28 dias. As quatro misturas foram submetidas ao ensaio de compressão ⁽⁷⁾. Os corpos de prova foram cortados ao meio, sendo utilizadas as duas metades e desta forma, foram realizados 24 rompimentos. As amostras ASR1 e ACR, após o rompimento, foi moído em almofariz e peneirado no tamanho de 75 µm, foi feita análise de raios X. Para o ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), uma parte do material rompido do ASR1 e ACR1 foi embutida em resina epóxi, pelo período de 24 horas, após este tempo as amostras foram lixadas, em lixas de 100 µm até 600 µm, e polidas, após este procedimento foi feita análise.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização do resíduo de tijolo de cerâmica vermelha

A análise de fluorescência de raios X (Tabela 3) mostra a composição química do resíduo de tijolo de cerâmica vermelha. O resíduo de tijolo pode ser utilizado como material pozolânico, pois a soma das fases ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) é maior que 70% e que sua perda ao fogo máxima deve ser de 10% ⁽⁸⁾.

Tabela 3 – Composição química obtida por FRX para o rejeito particulado de tijolo.

Elemento	Teor % massa	Elemento	Teor % massa	Elemento	Teor % massa
Al_2O_3	21,21	MgO	0,48	SiO_2	66,72
CaO	0,21	MnO	0,06	TiO_2	1,37
Fe_2O_3	6,22	Na_2O	0,18	Perda fogo	2,78
K_2O	0,67	P_2O_5	0,09		

A Figura 1 mostra o resultado para a análise térmica do resíduo particulado de tijolo, foi feita com material no estado cru. Foi feito termogravimetria (TG) com calorimetria exploratória diferencial (CED). A Figura 1 mostra o comportamento comum para argilominerais da caulinita, e o quartzo, os quais constituem os as principais fases da argila utilizada para a fabricação do tijolo ⁽⁵⁾.

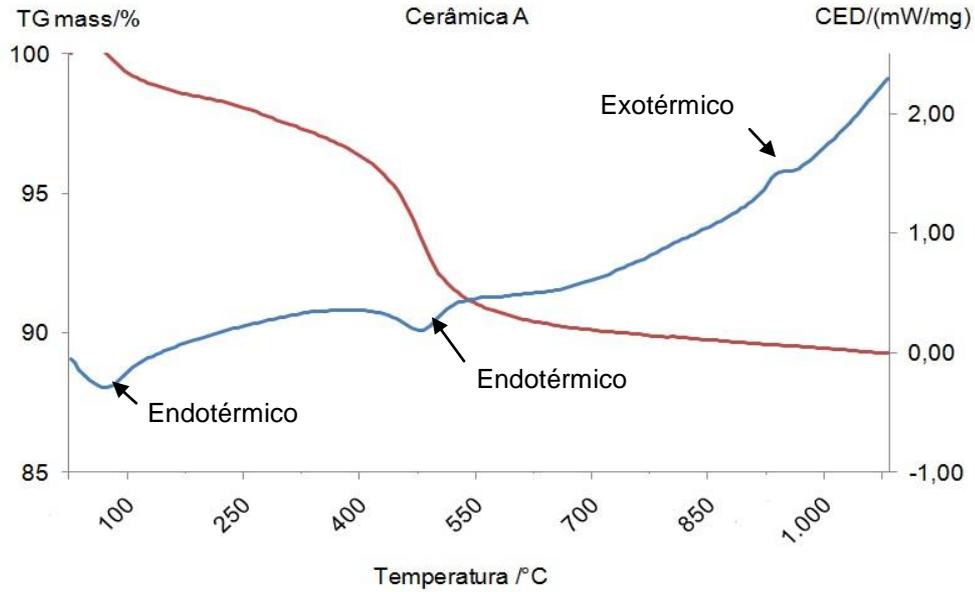


Fig.1. Análise térmica com termogravimetria e calorimetria exploratória diferencial, resíduo particulado de tijolo no estado cru.

O ensaio de difração de raios X do resíduo foi feita na forma crua e queimada, com o objetivo de ver as transformações de fases da argila. Na Figura 2, tem-se o material no estado cru que mostra fases da argila como quartzo (SiO_2), caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5$) e hidróxido de alumínio ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e a principal fase cristalina presente, o quartzo (SiO_2), confirmando os resultados da análise térmica.

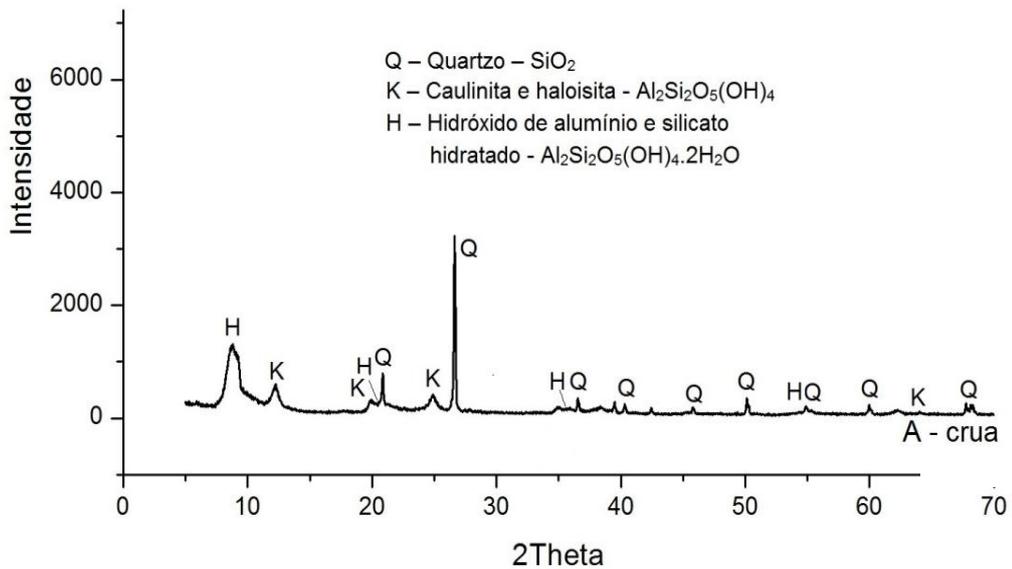


Figura 2 – Difratosmetria de raios X do resíduo de tijolo, material cru.

Na Figura 3, a difração de raios X do material queimado, mostra a principal fase cristalina presente, o quartzo (SiO_2). Nesta figura é possível visualizar que os picos cristalinos de quartzo aumentaram de intensidade com a temperatura de queima. O material foi queimado a temperatura de 700 °C, onde ocorreram as transformações de fases, caulinita para metacaulinita, como verificou-se na análise térmica.

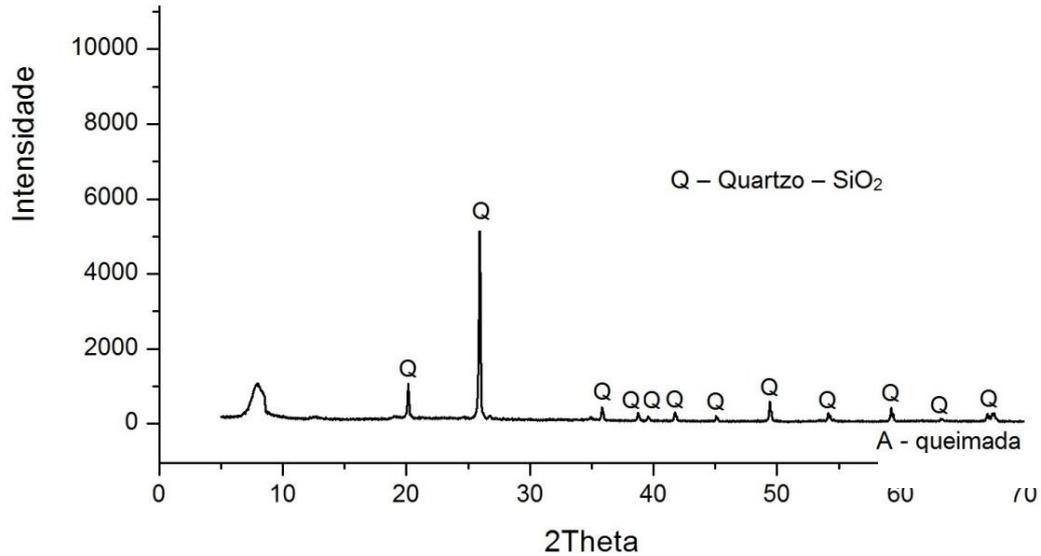


Figura 3 – Difractometria de raios X do resíduo de tijolo, material queimado a temperatura de 700 °C.

3.2 Ensaio da argamassa no estado fresco

Após o preparo da argamassa foi realizado no estado fresco o índice de consistência. Neste ensaio foram realizadas 3 medidas em 3 diferentes posições do espalhamento da argamassa, para as amostras ASR1 e ACR1 (mesmo fator a/c) e para as amostras ASR2 e ACR2 (mantém aproximadamente mesma consistência mesmo que com fator a/c diferentes), Tabela 4.

Tabela 4 – Medidas das diagonais na mesa de consistência durante o ensaio de consistência.

Argamassa	Medida 1 (mm)	Medida 2 (mm)	Medida 3 (mm)	Média (mm)
ASR1	330	343	335	336±4
ACR1	282	304	283	289±9
ASR2	276	280	285	280±3
ACR2	248	280	260	263±11

Para o índice de consistência é possível identificar a trabalhabilidade das argamassas no estado fresco, o que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas, em uma condição homogênea ⁽⁹⁾. A ACR1 mostrou mais consistência que a argamassa ASR1. Situação esperada, devido ao fato de manter a mesma quantidade de materiais e o mesmo fator a/c. O resíduo tornou a massa mais seca, por esta razão a argamassa mostrou-se mais consistente. Nas amostras ASR2 e ACR2, foi alterado o fator a/c para aproximar o índice de consistência. Desta forma é possível observar que é necessário aumentar o fator a/c na argamassa com resíduo para obter a mesma trabalhabilidade da argamassa sem o resíduo.

3.3 Ensaio da argamassa no estado endurecido

Foi realizado o ensaio de resistência à compressão. Em argamassas não é fundamental como no concreto, mas é importante que a argamassa tenha resistência suficiente para que seja empregada em paredes e tetos e para suportar esforços. As argamassas podem ser classificadas de acordo com os valores de resistência a compressão ⁽¹⁰⁾. Na Tabela 5 é possível ver os resultados das argamassas submetidas ao ensaio de compressão.

Tabela 5 – Resistência a compressão da argamassa com e sem resíduo.

Argamassa (MPa)	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	Média
ASR1	2,17	2,44	3,80	4,34	3,66	3,19	3,27±0,66
ACR1	2,51	2,92	3,73	3,19	4,61	3,60	3,35±0,55
ASR2	2,76	5,31	5,42	5,01	6,13	5,93	5,09±0,80
ACR2	4,50	3,99	4,29	3,88	5,11	5,31	4,52±0,46

As amostras ASR1 e ACR1, está classificada como P3, acima do limite mínimo de norma que deve ser maior 2,0 MPa, desta forma pode ser utilizada como revestimento de paredes ou teto ⁽¹⁰⁾. A argamassa ACR1 tem resistência média a compressão cerca de 2,45% maior que ASR1, provavelmente devido a massa ficar mais seca, conseqüentemente tem uma quantidade menor de poros, uma reação maior da água com resíduo.

Nas amostras ASR2 e ACR2 apresentaram resistência média, classificada como P4, acima do limite mínimo. Nesta situação, em que foi aproximado o valor do índice de consistência, é possível ver a inversão de valores de resistência à compressão, a amostra sem resíduo ficou com valor superior da amostra com resíduo, cerca de 12,61% a mais. Nesta situação a amostra com resíduo precisou de mais água para manter a consistência semelhante a mistura sem resíduo. Foi necessário mais água pois o rejeito de tijolo absorve muita água. Proporcionando, possivelmente, maior porosidade e menor resistência.

3.4 Caracterização da argamassa

As argamassas da ASR1 e ACR1 foram submetidas à difração de raios X. A argamassa ASR1, Figura 4, tem fases predominantes como o quartzo (SiO_2) e alumina (Al_2O_3) que são componentes fundamentais do cimento. As fases amorfas de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ foram detectadas no espectro, que são referentes ao gel formado dentro das estruturas. Foi detectado no espectro carbonato de cálcio, que pode ter sido originada no processo de ensaio, provavelmente devido à condição de armazenamento e tempo de espera para o ensaio (que pode resultar hidróxido de cálcio interagindo com o dióxido de carbono). Residuais de periclase também foram detectados.

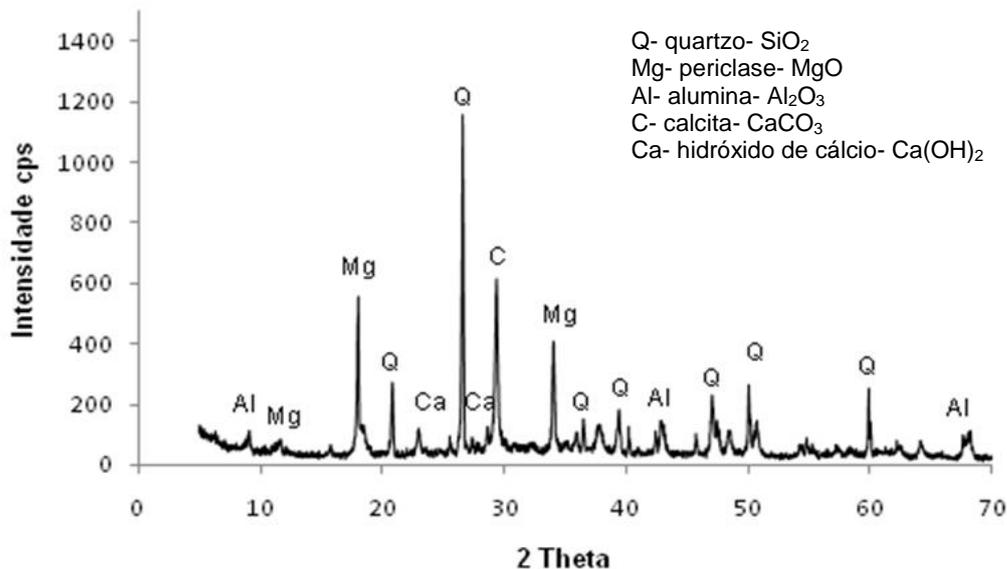


Figura 4 – Difratograma de raios X da argamassa sem resíduo, ASR1.

Na difração de raios X da argamassa ACR1, Figura 5, foi identificada todos os elementos da argamassa sem resíduo. A presença de sílica em forma de quartzo (SiO_2) e alumina (Al_2O_3). Foram detectados também o carbonato de cálcio, que pode ter sido originado com as mesma interferências citadas do espectro da Figura 4. As fases amorfas de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ também foram detectadas no espectro, que são referentes ao gel formado dentro da estrutura. Residuais de periclase foram também encontrados.

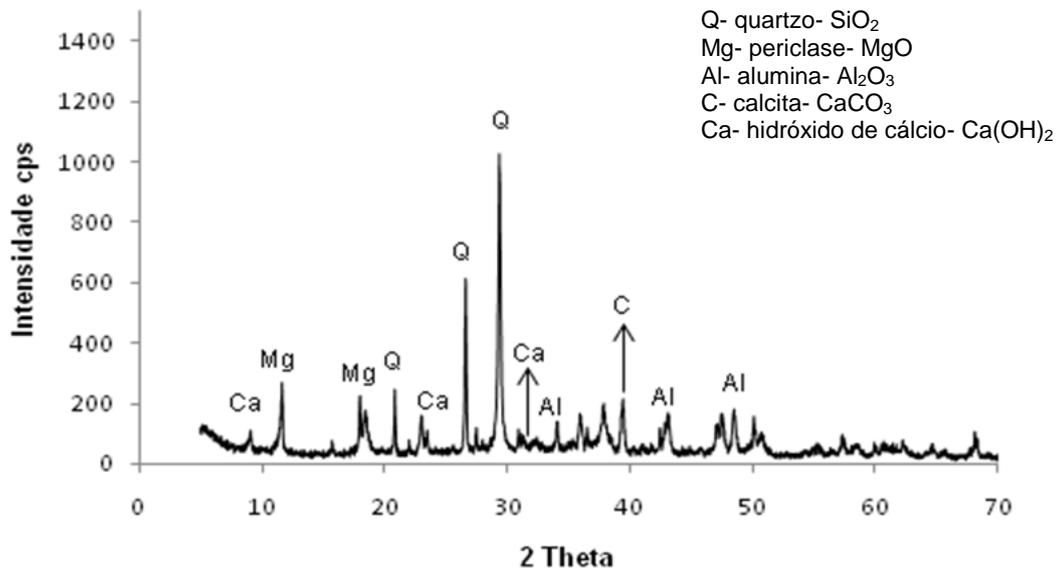


Figura 5 – Difratograma de raios X da argamassa com resíduo de tijolo, ACR1.

Na imagem de MEV, na Figura 6, a imagem ACR1 é possível visualizar a interface agregado/pasta com poros próximos do agregado e a pasta em gel hidróxido de silicato de cálcio (CSH). Na região b, ASR1, é possível observar a porosidade da pasta, resíduos sólidos que são os agregados, a interface agregado cimento, que é uma zona crítica para a reação álcali/agregado. É possível ver o gel de silicato de cálcio hidratado e os pontos claros, podem ser os cimentos anidros, que não reagiram. As fases mostradas na micrografia indicam o grau de avanço dos produtos da hidratação do cimento citados.

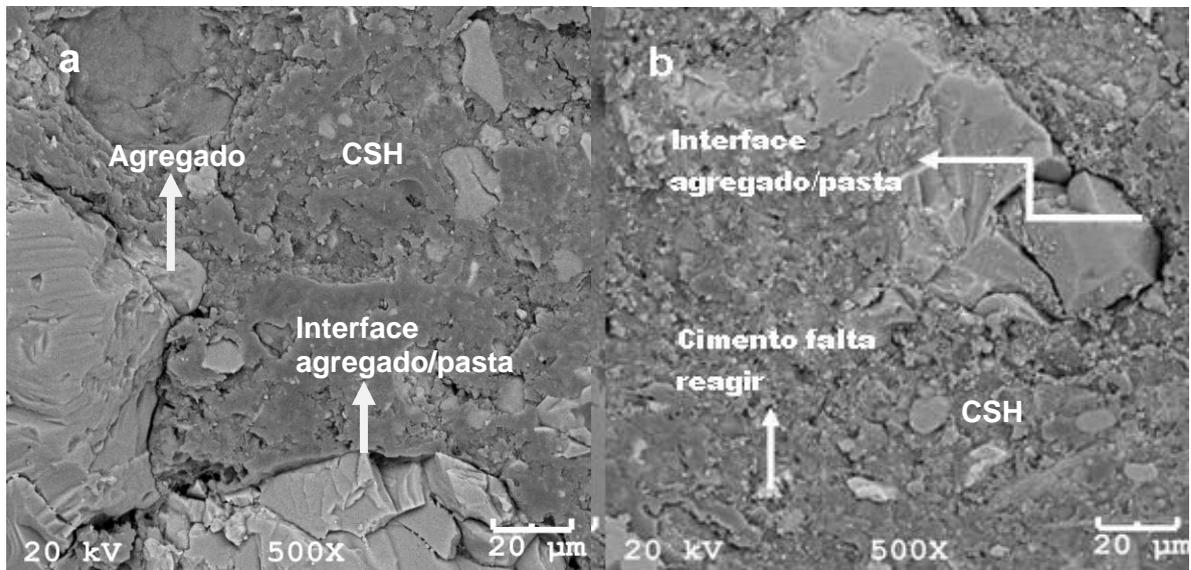


Figura 6. Microestruturas obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV):
a- ACR1 500x; b- ASR1 500x.

4. CONCLUSÃO

As análises físicas e químicas do resíduo de tijolo de cerâmica vermelha comprovam sua atividade pozolânica, assim, é possível afirmar que há condições de se utilizar o resíduo de tijolo moído em argamassas, mas outros estudos mais aprofundados devem ser realizados.

Os resultados mostraram que a substituição parcial de rejeito por cimento praticamente altera a trabalhabilidade, deixando a argamassa mais consistente (mais seca) devido ao fato do rejeito cerâmico absorver água da mistura. Para conseguir a mesma trabalhabilidade que uma argamassa sem o rejeito foi necessário aumentar o fator água/cimento.

A resistência à compressão após 28 dias de cura foi maior para a argamassa com o rejeito cerâmico em comparação com a argamassa padrão quando se manteve fixo o fator água/cimento e diminuiu-se a consistência (devido à presença o resíduo cerâmico). Com aumento da resistência mecânica, supõe-se a diminuição dos poros na argamassa. Com o aumento do fator água/cimento, para manter semelhante a consistência, as argamassas com o resíduo cerâmico apresentaram valores menores de resistência à compressão em relação à argamassa padrão. A caracterização

microestrutural mostrou que o resíduo melhorou a morfologia das fases, contribuindo para uma microestrutura mais coesa e menor porosidade, que pode ser comprovado com a resistência mecânica à compressão das amostras.

A viabilidade da incorporação é válida na porcentagem de substituição adotado, podendo-se adotar valores maiores de substituição, pois os resultados obtidos estão além dos valores limites por norma para o ensaio de resistência a compressão.

A incorporação do resíduo na argamassa é viável no aspecto de novas alternativas para a minimização de resíduos dispostos no meio ambiente. Recomenda-se atenção na redução da trabalhabilidade ocorrida pela adição do rejeito cerâmico, que poderia ser corrigida até mesmo com uso de aditivos.

5. REFERÊNCIAS

1. MATIAS, G., TORRES, I., FARIA P. Argamassas de substituição com resíduos de tijolo Cerâmico. Universidade de Coimbra. Portugal.
2. RONDON, O. C.; JUNIOR, C. C. A. Reaproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha na construção civil. Departamento de Estruturas e Construção Civil. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. 2008.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT - NBR 5736/1991. Cimento Portland Pozolânico. Rio de Janeiro, 1991.
4. ROCHA, J. C.; JOHN, V. M. Utilização de Resíduos na Construção Habitacional. Porto Alegre: Coletânea Habitare, v.4, 2003.
5. LOPES, Patrick Américo Pollizello. Efeito da Adição de Resíduo Particulado de Tijolos em Propriedades de Argamassas para Construção. 2013. (Dissertação de mestrado) Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC, Joinville.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT - NBR 13276. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT - NBR 13.279/2005. Argamassa para revestimento e assentamento de parede e teto – Determinação da resistência a tração na flexão e a compressão. Rio de Janeiro, 2005.

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT - NBR 12653/2012. Materiais Pozolânicos: Especificações. Rio de Janeiro, 2012.
9. CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo, SP: IBRACON, v.2, 2007.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT - NBR 13281. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
11. SCHACKOW, Adilson. Propriedades de concretos contendo rejeitos particulados de tijolos de cerâmica vermelha. 2011. (Dissertação de mestrado) Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC, Joinville.

ASSESSING THE TECHNOLOGICAL AND MICROSTRUCTURAL PROPERTIES OF MORTARS CONTAINING FIRED CLAY BRICK WASTE

This paper leads to a comparative study of technological and microstructural properties of mortars with and without particulate fired clay brick waste (CBW). Two mixtures, one containing only Portland cement, and the other containing 25 wt.% of CBW as a partial replacement of cement were obtained at laboratory level, for the same mixing and processing conditions. The mortars were evaluated for the technological properties on the fresh state (consistency index) and after 28 days of curing (28-day compressive strength). Samples of the broken pieces were characterized using X-ray diffraction and scanning electron microscopy (SEM). The results showed that partial replacement for cement waste affects the workability as well as improves the compressive strength after 28 days of curing. Microstructural characterization showed that the residue contribute to achieve a better phase morphology, thus imparting a more cohesive and less porous microstructure.

Keywords: Mortar; Fired clay brick waste; Compressive strength, Microstructure.