

Caracterização da Matriz de Argamassas para Alvenaria Utilizando Rejeitos das Indústrias de Cerâmica Vermelha e de Sanitários

Juzélia Santos da Costa^{a,b}, Celso Aparecido Martins^b, João Baptista Baldo^{b*}

^a*Centro Federal de Educação Tecnológica de Mato Grosso – CEFET,
CEP 78005-390, Cuiabá, MT, Brasil*

^b*Departamento de Engenharia de Materiais – DEMa, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar,
CEP 13565-905, São Carlos, SP, Brasil*

**e-mail: baldo@power.ufscar.br*

Resumo: Considerando o volume razoável de material impróprio para a venda gerados pela indústria de cerâmica vermelha e de louça sanitária, neste trabalho investigou-se o desenvolvimento dos produtos decorrentes da cura em várias idades, em argamassas, mistas cimento:cal:areia para revestimento e assentamento, formuladas com a utilização (em substituição à areia de rio), de agregados alternativos produzidos pelo tratamento adequado de rejeitos virgens das indústrias de cerâmica vermelha (tijolo e telha) e de louça sanitária. A evolução da cura da argamassa foi acompanhada por TG-DSC e MEV. Os resultados indicam que a pozolanicidade e cinética de carbonatação apresentada pelos agregados reciclados é mais rápida, do que aquela que ocorre nas argamassas de traço similar contendo areia de rio. Um fato interessante encontrado é a existência de atividade pozolânica desenvolvida também pelos agregados oriundos da louça sanitária.

Palavras-chave: reciclagem, cerâmica vermelha, louça sanitária.

1. Introdução

A carência de informações sistematizadas sobre os efeitos na cura de argamassas, quando da utilização do descarte virgem da Indústria de Cerâmica Vermelha e Louça Sanitária como agregado reciclado em substituição à areia de rio em argamassas mistas cimento:cal:areia, foi o que motivou a presente pesquisa. Devido a diversidade de traços e materiais normalmente utilizados pelo meio técnico não especializado, cabe eleger as argamassas mais afeitas a determinado fim.

São considerados prejudiciais nas areias naturais, impurezas tais como: aglomerados argilosos, pirita, mica, concreções ferruginosas e matéria orgânica. A expansão pode ser resultante da formação de produtos de oxidação da pirita e das concreções ferruginosa de sulfatos e óxidos de ferro hidratados, respectivamente de hidratação de argilo-minerais montmoriloníticos ou de matéria orgânica. A matéria orgânica pode ser a causa de vesículas esporádicas, no interior de cada vesícula observa-se um ponto escuro. Assim a utilização de rejeito queimado (estável) como agregado em substituição à areia é uma alternativa com benefícios inegáveis.

A reciclagem de entulho em construção civil, já recebeu uma atenção global e intensa tanto da comunidade acadêmica como da empresarial. Porém, a re-utilização de rejeitos cerâmicos na indústria da construção civil aparentemente ainda não foi investigada de modo fundamental, sendo igualmente uma opção importante¹⁻³. Isto se deve ao fato de se constituir no re-aproveitamento de resíduos virgens, como matéria prima que pode ser consumida em grandes volumes, em todas as regiões do país. Os benefícios gerais da reciclagem são auto-evidentes, dada a importância da preservação e o prolongamento da vida útil de recursos naturais e a diminuição de impactos ambientais decorrentes de descartes. A lei 9605 de 12/02/98 referente a ISO 14000 contempla esses aspectos, pois determina que as empresas geradoras de resíduos devam buscar alternativas de controle da poluição ambiental.

Este trabalho dá continuidade ao estudo pioneiro⁴⁻⁶ da reutilização de rejeitos virgens da indústria de cerâmica tradicional (tijolo, telha, louça sanitária, pisos e porcelana), como agregados alternativos em substituição à areia quartzosa e à brita em argamassas e concreto não estrutural para a construção civil. Tal reciclagem quando comparada à de entulho de obra apresenta vantagens evidentes pois envolve reciclar materiais química e mineralogicamente homogêneos, com os benefícios da eliminação das etapas de escolha e separação além e dos custos adicionais daí decorrentes.

O objetivo da pesquisa foi a investigação das características de cura resultante da utilização de agregados alternativos baseados em rejeitos virgens das indústrias, citadas. O estudo foi desenvolvido de modo comparativo com argamassas convencionais (cimento:cal:areia).

2. Materiais e Métodos

Na parte experimental foram elaborados traços de argamassas, utilizando-se cimento Portland, cal hidratada, e dois tipos de agregados; o reciclado e a areia natural. O material reciclado foi proveniente de indústrias de Barra Bonita, SP (tijolos e telhas) e de uma fábrica de louça sanitária do Estado de Minas Gerais. Os ensaios utilizados se nortearam pelas normas brasileiras da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT em vigência, objetivando a elaboração de um material próprio para o reciclado.

2.1. Materiais

2.1.1. Agregado proveniente de reciclado

Os agregados miúdos provenientes de reciclado, utilizados na presente pesquisa, foram resultante da britagem e moagem de cerâmica vermelha (tijolos e telhas) e louça sanitária, cujos grãos passaram pela peneira ABNT n° 4 (4,8 mm) e ficaram retidos na peneira ABNT n° 200 (0,075 mm) (NBR 7217)⁴. As granulometrias resultantes são mostradas nas Figuras 1-3.

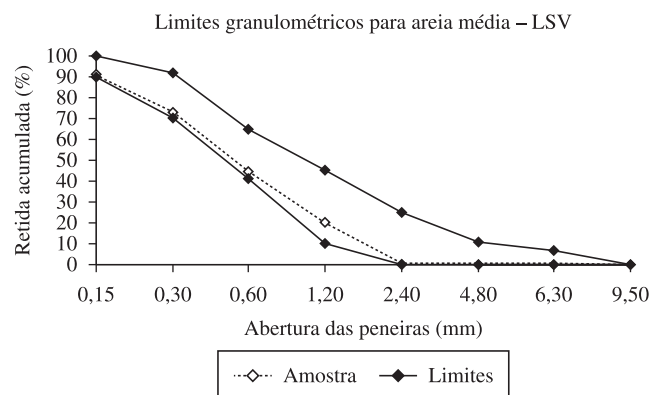


Figura 1. Curva granulométrica do agregado miúdo reciclado de louça sanitária vidrada (LSV). LSV – Diâmetro Máximo Característico = 2,4 mm. LSV – Módulo de Finura = 2,3 (NBR 7211)⁸.

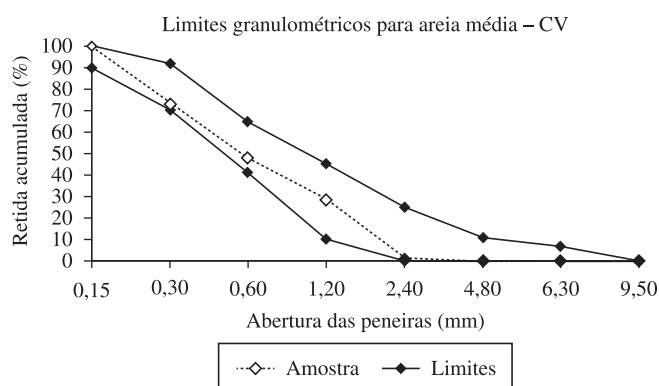


Figura 2. Curva Granulometria de agregado miúdo reciclado de cerâmica vermelha (CV) (tijolos e telhas). CV – Diâmetro Máximo Característico = 2,4 mm; CV – Módulo de Finura = 2,51 (NBR 7211)⁸.

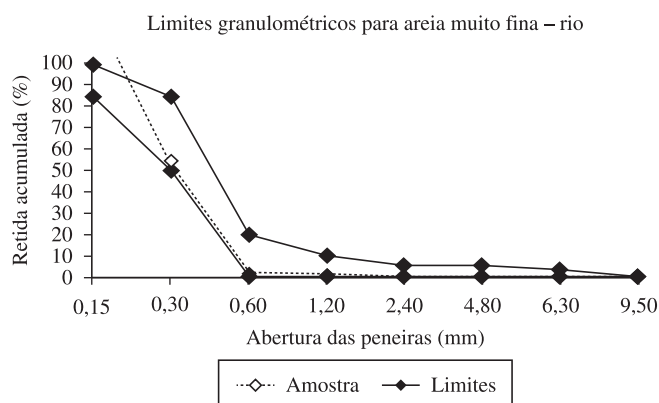


Figura 3. Curva granulométrica de agregado miúdo natural (areia rio). Diâmetro Máximo Característico = 0,6 mm. Módulo de Finura = 1,85 (NBR 7211)⁸.

2.1.2. Cimento comum

- O Cimento utilizado atende a NBR 05732⁵.

2.1.3. Cal hidratada

- A cal utilizada atende a NBR 07175⁶.
- A Tabela 1 apresenta as características desses materiais.

Tabela 1. Características do cimento e cal.

Característica	Cimento	Cal
Tipo	CP II-F-32	CH III
Finura (%)	3	13
Massa unitária (g.cm ⁻³)	1,15	0,70

2.1.4. Moldagem e cura dos corpos-de-prova

Foram moldados corpos-de-provas cilíndricos dimensões de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura, conforme a NBR 7215⁷, para verificação da resistência à compressão e absorção de água por imersão. Os corpos foram ensaiados após as idades de 7, 14, 28, 63 e 91 dias, cura ao ar, conforme a ABNT⁷.

2.1.5. Preparo das argamassas

Todas as argamassas estudadas seguiram o traço de composição volumétrica Traço:1:2:9 (cimento:cal:agregado reciclado); sendo o traço comumente utilizado no meio especializado.

Preparou-se uma argamassa com agregado reciclado de cerâmica vermelha (CV) (tijolos e telhas), e uma argamassa com agregado reciclado de louça sanitária vidrada (LSV).

As composições foram preparadas em laboratório utilizando um misturador planetário. O tempo de mistura foi cerca de 5 minutos na fase final, sendo que os materiais foram introduzidos com o misturador em funcionamento. O teor de água na composição corresponde à consistência padrão, utilizada na caracterização de argamassas para revestimento.

Para comparação foi utilizada uma argamassa convencional (cimento:cal:areia de rio) de mesmo traço denominada C1. Esta foi obtida diretamente do canteiro de uma obra que estava sendo realizada na cidade de São Carlos, SP, tendo sido preparada utilizando os métodos tradicionais de preparo de grandes quantidades em obras, ou seja, com auxílio de uma betoneira.

Foi utilizado também para comparação; uma argamassa convencional de mesmo traço denominada P1, feita em laboratório utilizando os métodos tradicionais, porém com misturador planetário.

3. Resultados e Discussões

3.1. Índice físicos das argamassas estudadas no estado fresco (Tabela 2)

Tabela 2. Índices físicos das argamassas em estudo e massa unitária dos agregados em estudo.

Tipo	Consistência (mm)	Densidade de massa (g.cm ⁻³)	Fator água/cimento (a/c)	Massa unitária (g.cm ⁻³)
Traço 1:2:9				
LSV	252	1,90	3,30	1,90
CV	244	1,99	3,57	1,35
P1	249	2,08	2,91	1,46
C1	265	3,11	3,61	1,46
NBR	13276 ⁹	13278 ¹⁰	-	7251 ¹¹

3.2. Resistência mecânica

3.2.1. Resultado da resistência à compressão axial das argamassas estudadas. Estado endurecido nas idades de 7, 14, 28, 63, e 91 dias de idade

Pelos dados da Tabela 3 e Figura 4, pode-se constatar que dentre todas as argamassas, aquelas contendo agregado reciclado de

cerâmica vermelha apresentaram as maiores resistências mecânicas em todas as idades. Isto pode ser atribuído à pozolanicidade comprovada do material, além do maior grau de empacotamento dos grãos. Podemos também perceber que as resistências mecânicas apresentadas pelas argamassas contendo agregado de louça sanitária foram maiores do que as das argamassas convencionais e ligeiramente menores do que aquelas contendo reciclado de cerâmica vermelha. Em adição fica claro que o vidrado da louça sanitária não interferiu no desenvolvimento da resistência mecânica das argamassas em que estiveram presentes. Com relação a argamassa convencional, os níveis de resistência mecânica apresentados são compatíveis com os reportados na literatura para estes materiais.

3.3. Avaliações mineralógicas

De modo a se acompanhar comparativamente a evolução do endurecimento e sua relação com o desenvolvimento de fases utilizou-se a técnica de Termogravimetria com DSC. Os resultados são apresentados nas Figuras 5-8:

- Termograma e DSC da argamassa contendo agregado natural (areia), fabricada em um canteiro de obra (C1) (Figura 5).
- Termograma e DSC da argamassa contendo agregado natural fabricada em laboratório (P1) (Figura 6).
- Termograma e DSC da argamassa contendo agregado reciclado de cerâmica vermelha (CV) (Figura 7).
- Termograma e DSC da argamassa contendo agregado de louça sanitária (LSV) (Figura 8).

Tabela 3. Resistência à compressão simples (MPa) das argamassas com agregado de louça sanitária vidrada (LSV); argamassa de agregado de cerâmica vermelha (CV) e argamassa confeccionada com agregado natural (areia) (P1 e C1) ensaiadas aos 7, 14, 28, 63 e 91 dias de idade.

Traço	7	14	28	63	91
LSV	2,10	2,30	2,44	2,95	3,26
CV	3,18	3,71	3,80	3,87	4,05
P1	1,23	1,30	1,76	1,78	1,81
C1	0,92	1,23	1,24	1,27	1,35
NBR	13279 ¹²				

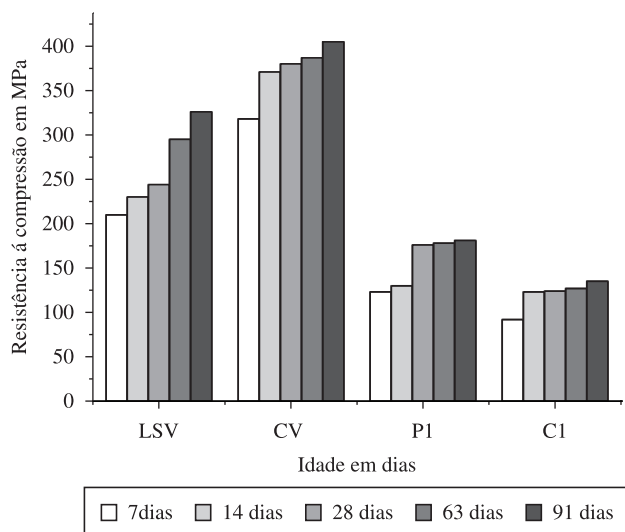


Figura 4. Resistência à compressão simples (MPa) das argamassas com agregado de louça sanitária vidrada (LSV); argamassa de agregado de cerâmica vermelha (CV) e argamassa confeccionada com agregado natural (areia) (P1 e C1) ensaiadas aos 7, 14, 28, 63 e 91 dias de idade.

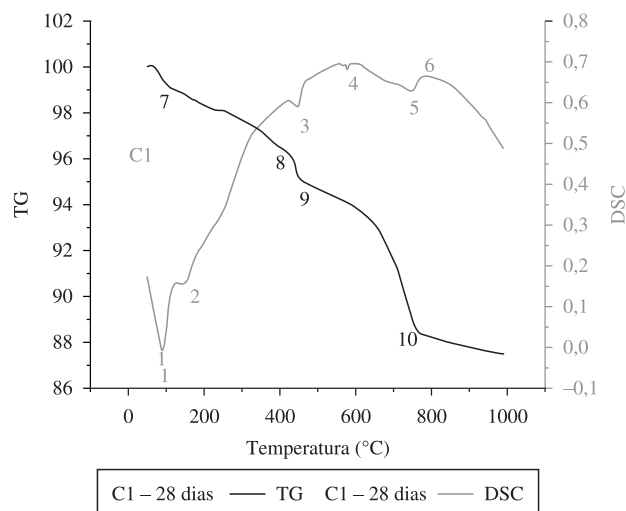


Figura 5. Análise Térmica Gravimétrica e Calorimétrica da argamassa C1, traço:1:2:9 (cimento:cal:agregado natural (areia)). Coletada em um canteiro de obra na cidade de São Carlos, SP.

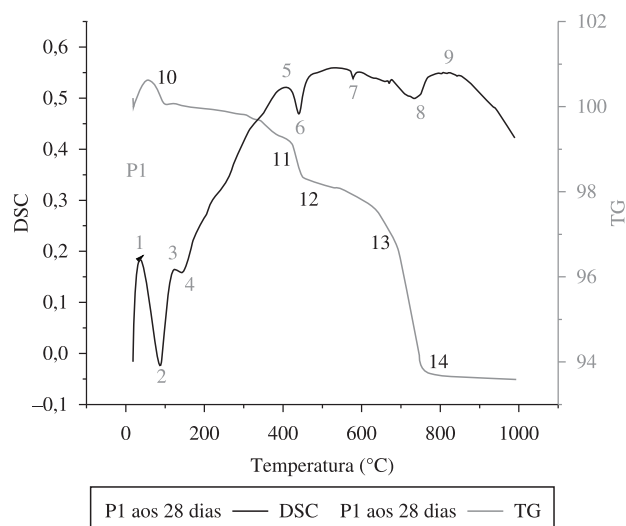


Figura 6. Análise Térmica Gravimétrica e Calorimétrica da argamassa P1, traço:1:2:9 (cimento:cal:agregado natural (areia)), fabricada em laboratório.

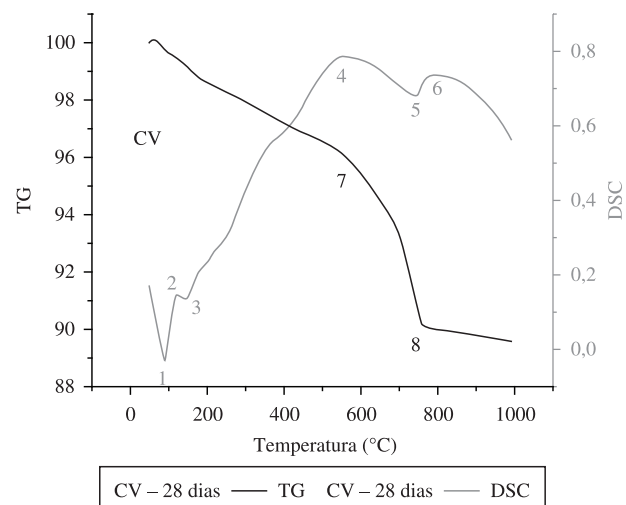


Figura 7. Análise Térmica Gravimétrica e Calorimétrica da argamassa com agregado de cerâmica vermelha (CV); traço:1:2:9 (cimento:cal:agregado reciclado de cerâmica vermelha (tijolos e telas)).

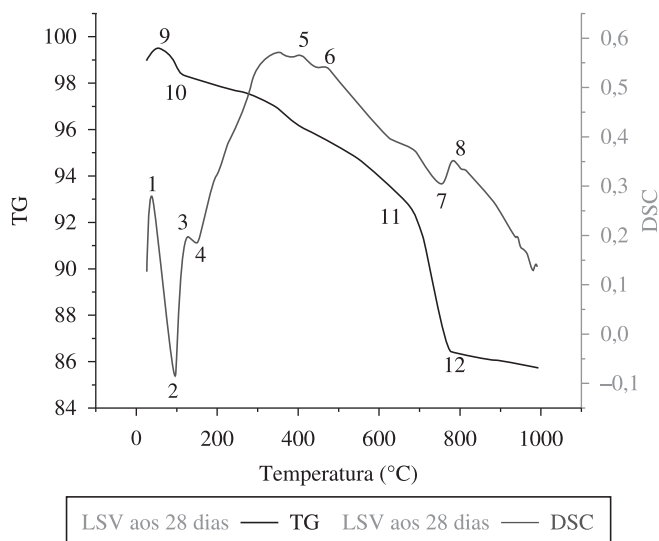


Figura 8. Análise Térmica Gravimétrica e Calorimétrica da argamassa com agregado de louça sanitária vidrada (LSV); traço: 1:2:9 (cimento:cal:agregado reciclado de louça sanitária aos 28 dias de idade).

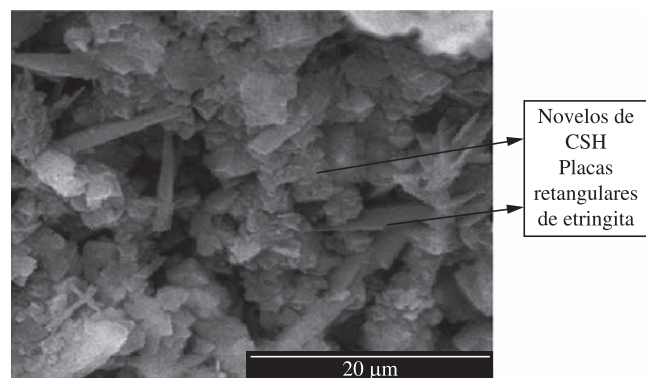


Figura 9. Micrografia eletrônica de varredura da superfície de uma amostra de argamassa de cerâmica vermelha (CV), aos 28 dias de idade - Traço: 1:2:9 (cimento:cal:agregado de cerâmica vermelha (telhas e tijolos)).

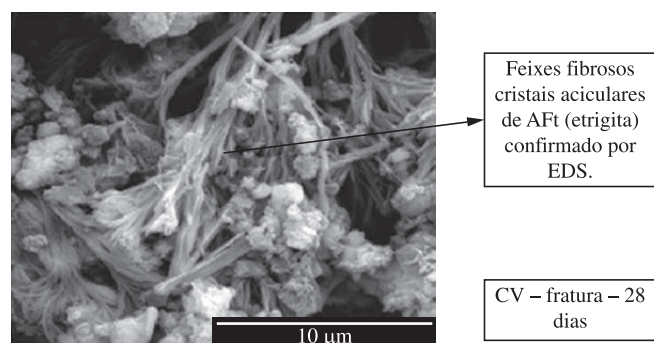


Figura 10. Micrografia eletrônica de varredura da superfície de fratura de uma amostra de argamassa de cerâmica vermelha (CV), aos 28 dias de idade - Traço: 1:2:9 (cimento:cal:agregado de cerâmica vermelha (telhas e tijolos)).

Pelas Figuras 5-8 fica evidente que as argamassas contendo agregado natural (areia de rio) ainda retém quantidade apreciável de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mesmo após 28 dias de idade. Isto pode ser visto na perda de massa e respectivo pico de DSC nos pontos 3 e 9 da Figura 5 e pontos 6 e 12 da Figura 6. Tais pontos estão na faixa de temperatura de decomposição do hidróxido de cálcio (430 a 450 °C). Por outro lado não se nota perda de massa nesta faixa de temperatura, na argamassa

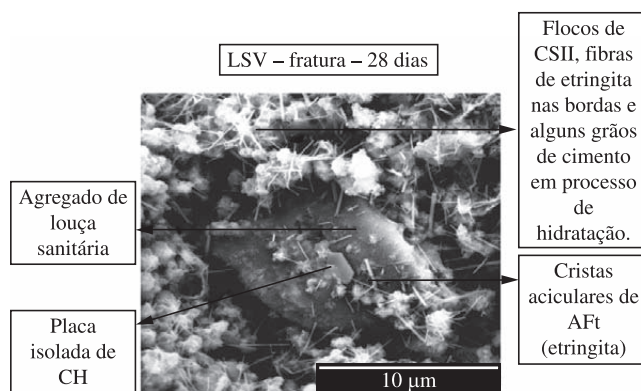


Figura 11. Micrografia eletrônica de varredura da superfície de fratura de uma amostra de argamassa LS1.2, aos 28 dias de idade - Traço: 1:2:9 (cimento:cal:agregado de louça sanitária).

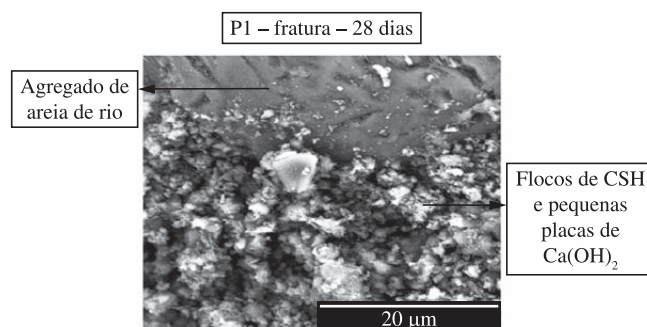


Figura 12. Micrografia eletrônica de varredura da superfície de fratura de uma amostra de argamassa P1, aos 28 dias de idade - Traço: 1:2:9 (cimento:cal:areia), produzida em laboratório.

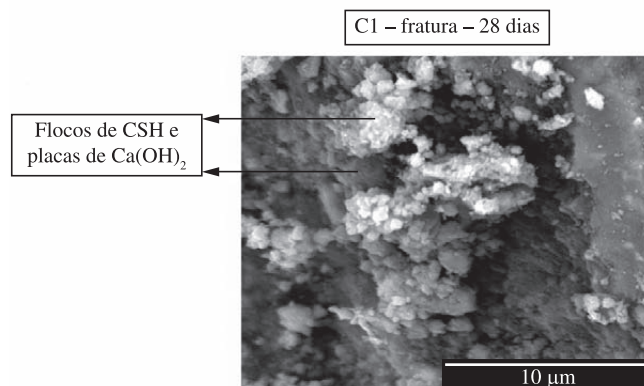


Figura 13. Micrografia eletrônica de varredura da superfície de fratura de uma amostra de argamassa C1, aos 28 dias de idade - Traço: 1:2:9 (cimento:cal:areia), produzida em um canteiro de obra na cidade de São Carlos, SP.

contendo agregado reciclado de cerâmica vermelha Este fato é uma prova do efeito pozolânico deste material. Também não se nota perda de massa sensível na faixa de temperatura mencionada na argamassa contendo agregado reciclado de louça sanitária. Isto poderia indicar um efeito pozolânico similar ao da argamassa CV, porém pode-se perceber que sua carbonatação é bastante intensa, conforme mostra a perda de massa elevada na faixa de 720 a 780 °C. Assim pode-se explicar as maiores resistências mecânicas encontradas para as argamassas contendo agregados reciclados como uma combinação do efeito pozolânico e carbonatação e ausência de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ livre.

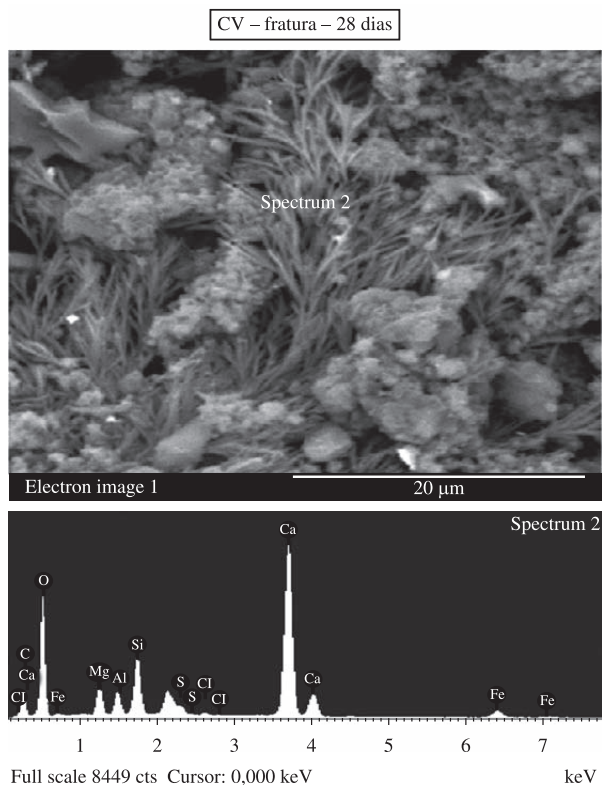


Figura 14. Micrografia e EDAX- formação de ATt(etrigita) e CH nos poros da amostra de argamassa CV fraturada.

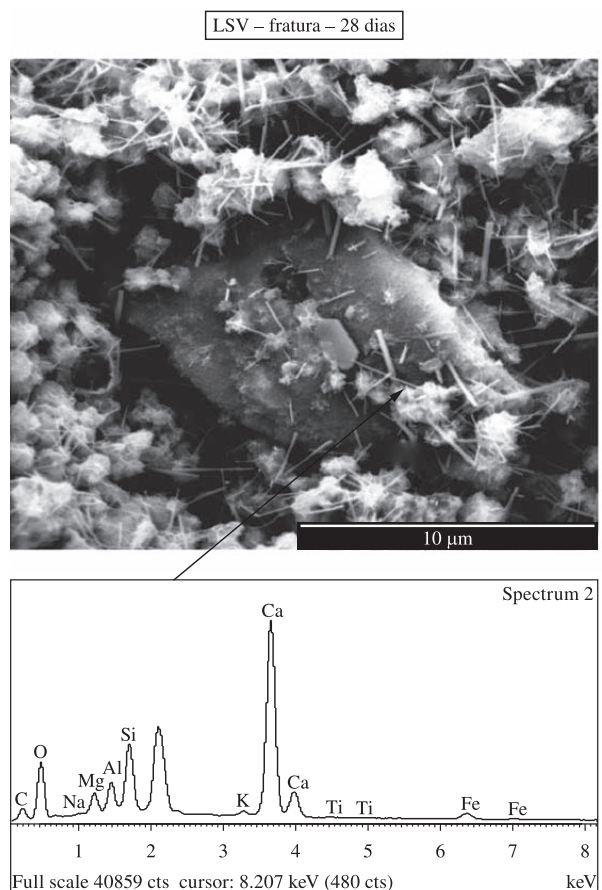


Figura 15. Micrografia e EDAX - Formações de Aft e CSH nos poros na amostra LSV fraturada.

3.4. Avaliações microestruturais

A avaliação microestrutural das argamassas foi feita através de microscopia eletrônica de varredura da superfície de fratura das argamassas endurecidas, conforme mostram as Figuras 9-13.

3.5. Microanálise (EDAX)

- Argamassa com agregado de cerâmica (CV) (Figura 14).
- Argamassa com agregado de louça sanitária (LSV) (Figura 15).

4. Conclusões

Os resultados indicam que nos traços investigados, a utilização do agregado reciclado resultou em melhores propriedades físicas e maiores níveis de resistência mecânica quando comparados a traços similares feitos com areia de rio.

Durante a cura é maior o desenvolvimento de CSH e Carbonatação nas amostras contendo agregados reciclados.

A análise mineralógica e as micrografias eletrônicas de varredura e respectivos EDS confirmaram esses resultados.

Referências

1. JOHN, V. M. Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos. In: SEMINÁRIO SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1996, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ANTAC, PCC-USP, 1996. p. 21-30.
2. GASPAR JÚNIOR, L. A. et al. Panorama atual do pólo cerâmico de Santa Gertrudes em função de novos estudos mineralógicos e texturais da matéria-prima utilizada na indústria de revestimentos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 41., 1997, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABC, 1997. p. 696-699.
3. CAVALCANTE, J. R.; CHERIAF, M. Ensaio de avaliação para controle ambiental de materiais com resíduos incorporados. In: SEMINÁRIO SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1997, São Paulo. *Anais...* São Paulo, EP/USP, ANTAC, 1997. p. 31-38.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7217**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. Método de Ensaio.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5732 -1988**: Cimento Portland Comum. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7175-92**: Cal hidratada para argamassas. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7215- 91**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7211**: Agregados para concreto - especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - eterminação do teor de água para obtenção do índice de consistência padrão. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7251**: Agregado no estado solto - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos -Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.