

Formação da eflorescência em cerâmica vermelha: fatores de influência no transporte dos íons SO_4^{2-} e Ca^{2+}

(Formation of efflorescence on red ceramics: factors of influence on the transport of SO_4^{2-} and Ca^{2+} ions)

C. C. Ferreira, C. P. Bergmann

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Osvaldo Aranha 99/706, Porto Alegre, RS 90035290

cristiano.unipampa@gmail.com

Resumo

Investigou-se o deslocamento dos íons SO_4^{2-} e Ca^{2+} em uma cerâmica vermelha, simulando o processo de eflorescência. Foram moldados corpos cerâmicos ($70 \times 27 \times 9 \text{ mm}^3$) por extrusão a vácuo, formulados com diferentes teores de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0, 2, 4, 8, 16% em peso) e queimados a diferentes temperaturas (800, 850, 900, 950 °C) por 12 h. A microestrutura foi avaliada quanto à absorção de água, porosidade aparente e distribuição de tamanho de poros. A eflorescência foi avaliada segundo a norma ASTM C67/2003 e por ensaios de solubilização dos íons SO_4^{2-} e Ca^{2+} após períodos de 1 h com os corpos cerâmicos imersos em água quente e por 7, 14 e 28 dias consecutivos com os corpos cerâmicos submersos em água fria. Também foram realizados testes de condutividade elétrica nos solubilizados dos corpos cerâmicos durante os períodos de 1 h e de 7 dias de ensaio e avaliou-se a potencialidade desses íons na formação do fenômeno em função da temperatura. Na quantificação do fenômeno de eflorescência foi desenvolvida uma metodologia por análise de imagem. Os resultados obtidos permitiram estabelecer uma relação entre a eflorescência dos íons investigados, propriedades físicas (absorção de água e porosidade aparente), distribuição do tamanho dos poros, solubilização e condutividade elétrica.

Palavras-chave: eflorescência, sulfato de cálcio, materiais cerâmicos.

Abstract

The displacement of SO_4^{2-} and Ca^{2+} ions in a red-clay ceramic, simulating the process of efflorescence, was studied. Ceramic bodies were molded ($70 \times 27 \times 9 \text{ mm}^3$) by vacuum extrusion formulated with different contents of $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0%, 2%, 4%, 8%, and 16% in weight) and fired at different temperatures (800, 850, 900, and 950 °C) for 12 h. Ceramic bodies were characterized in terms of water absorption, apparent porosity and pore size distribution. Efflorescence was evaluated according to the norms of ASTM C67/2003. The solubilization of SO_4^{2-} and Ca^{2+} ions was tested after 1 h with the ceramic bodies immersed in hot water as well as after 7, 14 and 28 consecutive days with the ceramic bodies immersed in cold water. Electrical conductivity tests were also carried out in the solubilized material from ceramic bodies 1 h and 7 days after the beginning of the assay, where the potential of these ions in the formation of efflorescence as a function of temperature was evaluated. In the quantification of efflorescence, a new image analysis methodology was developed. The results allowed establishing a relationship between the efflorescence of the investigated ions, physical properties (water absorption and apparent porosity), pore size distribution, solubilization and electrical conductivity.

Keywords: efflorescence, calcium sulfate, ceramic materials, porosity

INTRODUÇÃO

As eflorescências constituem uma patologia freqüente nos produtos cerâmicos tradicionais, cuja solução é particularmente difícil ou impossível. Sua origem está em parte associada à porosidade intrínseca e à natureza e distribuição de sais existentes no corpo cerâmico, tornando-os aptos migrarem à superfície, resultando na forma de eflorescência mais clássica. Evitar a eflorescência esbarra na impossibilidade física de realizar a total eliminação de sais solúveis quando presentes no corpo cerâmico. Embora os danos causados pelos sais solúveis venham sendo

investigados há várias décadas, os mecanismos e fatores que controlam a formação de cristais em meios porosos e o desenvolvimento do dano não são ainda compreendidos em sua totalidade [1]. Nesse contexto, o mecanismo de circulação de água e íons durante a evaporação e a cristalização de sais em materiais porosos gera um entendimento ainda não consolidado como fator preponderante no fenômeno da eflorescência. Sabe-se que para um sal se deslocar de uma região para outra através dos poros em um corpo cerâmico é necessário que haja um meio de transporte e um caminho e para [2, 3] o veículo é o líquido. No caso do sulfato, o ânion precursor pode originar-se intrinsecamente

nas argilas, componentes da massa cerâmica, na água de plasticidade, mas também de forma extrínseca, a partir da argamassa utilizada no acabamento da alvenaria, ou migrar do solo, ou do ar ou da água em contato com a alvenaria [4-8]. Nesse processo, além dos sais, a porosidade é outro fator que interfere na formação da patologia e a sua capacidade de retenção de água. A contribuição dos poros finos é mais limitada para o transporte capilar, por outro lado, os poros mais grossos contribuem melhor para transferir água aos capilares [9]. A presença de sais nos produtos cerâmicos não pode ser evitada; portanto, avaliar o de seu deslocamento em ambiente poroso pode ajudar na melhor compreensão do fenômeno da quantificação da eflorescência. No entanto, a quantificação da eflorescência carece de uma metodologia que diminua a subjetividade em uma análise visual. Sem uma ferramenta objetiva de quantificação do fenômeno, fica prejudicada a avaliação dos diferentes aspectos da mobilidade dos íons, principalmente em função da sua concentração na massa cerâmica. Essas são informações importantes para estimar a susceptibilidade à eflorescência de sais em corpos cerâmicos fabricados a partir de argilas vermelhas.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Fabricação dos corpos cerâmicos

A massa cerâmica escolhida para a realização da investigação foi a processada industrialmente por uma empresa localizada no município de Gravataí, RS. A essa massa cerâmica foi adicionado sulfato de cálcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ /P.A., A.C.S. Synth), a diferentes quantidades: 4, 8, 12 e 16% em peso e suas correspondentes massas foram denominadas A4, A8, A12 e A16, respectivamente, a massa cerâmica A0 foi a caracterizada sem adição de sulfato. As Tabelas I e II apresentam respectivamente a distribuição granulométrica por difração a laser da massa cerâmica utilizada e do sulfato de cálcio e a composição química por fluorescência de raios X da massa cerâmica utilizada. A mistura da massa cerâmica e do sulfato de cálcio foi cominuída a seco e homogeneizada em moinhos de bolas durante 20 min. Após, a massa cerâmica foi conformada por extrusão a vácuo e queimada a diferentes temperaturas (800, 850, 900 e 950 °C) com patamar de 12 h, em forno elétrico tipo mufla.

Tabela I - Distribuição granulométrica do sulfato de cálcio e da massa cerâmica.

[Table I - Size distribution of calcium sulfate and ceramic mass.]

	Tamanho médio (µm)	D ₁₀ (µm)	D ₅₀ (µm)	D ₉₀ (µm)
Massa cerâmica	5,24	0,76	3,68	12,11
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	12,18	2,16	10,09	24,81

Tabela II – Composição química da massa cerâmica.

[Table II – Chemical composition of the ceramic mass.]

Composição	(%)
SiO_2	67,37
Al_2O_3	12,62
Fe_2O_3	7,32
CaO	0,29
K_2O	3,68
MgO	1,31
Na_2O	0,10
CO_2	6,39
TiO_2	0,78
P_2O_5	0,08
Soma total	99,04

Caracterização dos corpos cerâmicos

Os corpos cerâmicos foram caracterizados quanto à absorção de água [10], porosidade aparente [10] e quanto à distribuição do volume de poros por isoterma de adsorção em nitrogênio líquido (BET) em um equipamento Nova 1000. Para os ensaios de solubilização os corpos-de-prova foram fragmentados até atingir um volume médio de 1 cm³ e pesados em lotes de 50 g de cada amostra. Após, as amostras foram colocadas em um frasco contendo 250 mL de água deionizada. Duas metodologias de ensaio foram empregadas. A primeira consistiu em aquecer os 250 mL de água deionizada com as amostras durante 1 h a 100 °C sob agitação constante. A seguir o líquido foi filtrado e resfriado à temperatura ambiente. A segunda metodologia empregada para avaliar a solubilização dos íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} consistiu em submeter o balão volumétrico de 250 mL com água e amostras durante 5 min a um agitador magnético IKA (C-MAG HS7) com rotação de ~30 rpm. Ao término desse período, o material foi deixado em repouso durante 7, 14 e 28 dias, e o líquido foi filtrado. Após os ensaios de solubilização por ambas metodologias, os líquidos filtrados foram analisados para a quantificação dos íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} (por ICP - OES). Ao final de 168 h (7 dias) determinou-se no material solubilizado a condutividade elétrica e também foram feitas avaliações da condutividade elétrica a três diferentes temperaturas: 15, 25 e 35 °C. Os testes para determinação da eflorescência consistiram em deixar os corpos cerâmicos 7 dias em repouso em meio aquoso a 17 °C e umidade relativa média de 70%, como previsto na norma ASTM C67/2003 [11]. Com o propósito de quantificar e classificar a formação da mancha oriunda da eflorescência desenvolveu-se um método de tratamento de imagem no *software* gráfico *Image Tools* versão 3.0. O método está baseado no mapeamento da peça a partir de uma imagem em preto e branco. Inicialmente, fez-se a leitura das dimensões do corpo cerâmico com um paquímetro digital. Após, as peças foram fotografadas em um ambiente

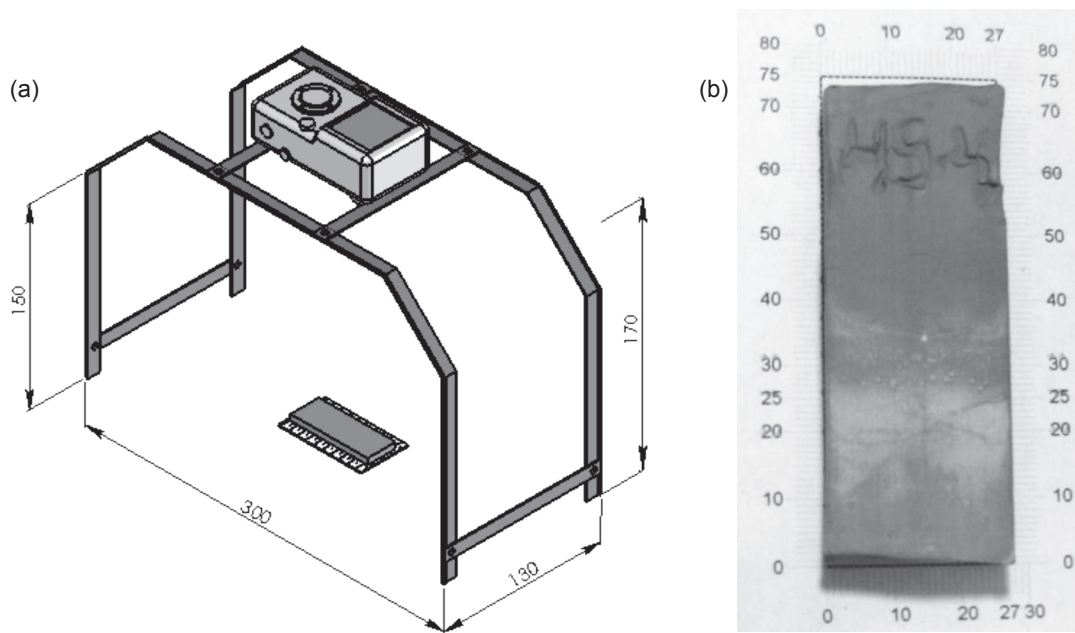


Figura 1: Procedimento adotado para a estimativa da eflorescência com o auxílio do *software Image Tools*: a) dispositivo para fixação da distância entre a câmera fotográfica digital e o corpo cerâmico e b) gabarito utilizado para a colocação do corpo cerâmico a ser fotografado. [Figure 1: Procedure estimating efflorescence with the help of *software Image Tools* 3.0: a) the schematic of the device used for fixing the distance between the digital camera and the ceramic body and b) image of the digital caliper used for measuring the ceramic body to be photographed.]

iluminado com luz artificial com uma câmera digital (*Nikon Coolpix L5*, com resolução de 7,2 megapixels), fixada em um suporte metálico (Fig. 1a), que assegurava manter uma distância de 170 mm de um gabarito (Fig. 1b) em forma de escala gráfica, onde era colocado o corpo cerâmico a ser fotografado.

As imagens obtidas foram salvas em formato jpeg e em seguida processadas pelo *software* gráfico *Image Tools*, segundo a seqüência: i) determinação da área do corpo cerâmico fotografada; ii) extração das regiões que não pertencem ao corpo cerâmico; iii) determinação da área resultante e iv) determinação na área resultante da quantidade relativa de *pixels* pretos (indicativo da eflorescência) sobre o total de *pixels* da imagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela III apresenta as imagens obtidas dos corpos cerâmicos que apresentaram nítida formação de eflorescência e a correspondente imagem processada pelo *software*. Os corpos cerâmicos sem adição de sulfato de cálcio não apresentaram formação de eflorescência, não sendo, portanto, incluídos na Tabela III. Pelas imagens apresentadas, observa-se que os corpos cerâmicos queimados nas temperaturas de 900 e 950 °C apresentam manchas menos intensas em relação aos queimados a 800 e 850 °C.

A Fig. 2 apresenta os valores obtidos na quantificação da zona enegrecida com o tratamento de imagem *plotados* em função do teor de sulfato de cálcio e da temperatura de queima. Por esses gráficos, nota-se uma tendência bastante evidente entre o maior teor de sulfato de cálcio dos corpos

cerâmicos e a manifestação mais intensa da eflorescência, porém atingindo um valor máximo, similar ao obtido já com 8% de silicato de cálcio na formulação. Fica também evidente que quanto menor a temperatura de queima, mais intensa a eflorescência no corpo cerâmico.

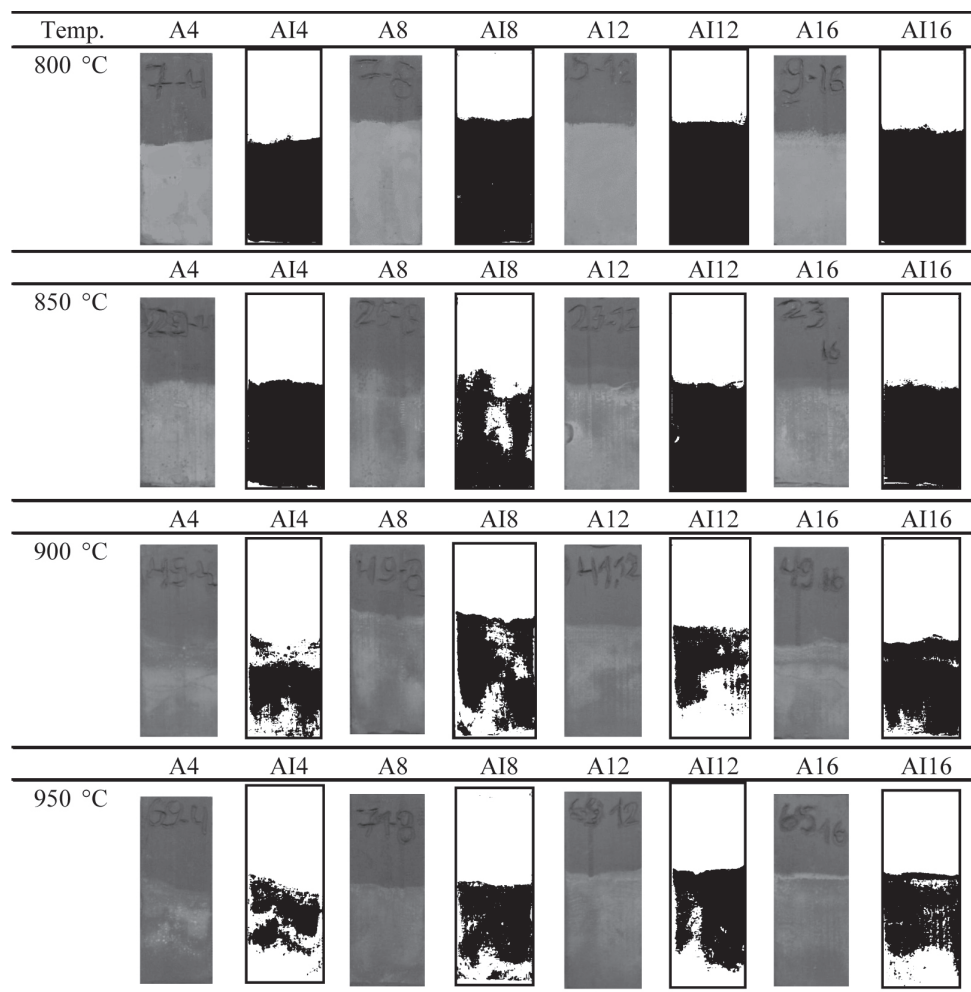
Por exemplo, para as temperaturas de queima de 800 e 850 °C, os maiores valores de eflorescência são cerca de 20% maiores do que a eflorescência manifestada nos corpos cerâmicos contendo 4% de sulfato de cálcio. Para os corpos cerâmicos queimados a 900 e 950 °C, a eflorescência mais intensa manifestou-se a 12% de sulfato de cálcio na formulação e foram, respectivamente, 35% e 50% mais intensas que nos corpos cerâmicos formulados com 4% de sulfato de cálcio. Os resultados podem ser associados à maior absorção de água das amostras queimadas nas temperaturas menos elevadas que apresentam maior porosidade aberta (Fig. 3a). Observa-se que a absorção de água praticamente não variou com o teor de sulfato de cálcio na formulação para uma mesma temperatura de queima, mesmo em teores tão elevados como 16% em peso. Isso ocorreu para todas as temperaturas de queima praticadas. Portanto, o teor de sulfato de cálcio não influenciou significativamente a absorção de água dos corpos cerâmicos (porosidade aberta), nem a densificação durante o processo de queima, como pode ser deduzido pela análise da Fig. 3b.

Essas constatações estão coerentes com as apresentadas na ref. [11], que também obtiveram dados relacionando a maior temperatura de queima e microestrutura com capilares de menor diâmetro e menor absorção de água.

A Tabela IV apresenta os resultados obtidos nos testes de solubilização dos íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} que permitem colher

Tabela III - Imagens obtidas dos corpos cerâmicos que apresentaram nítida formação de eflorescência e a correspondente imagem processada pelo software *Image Tools 3.0*.

[Table III - Images obtained from the ceramic bodies that showed clear efflorescence formation and the corresponding image processed by *Image Tools 3.0*.]



Ax – imagem processada pelo *Image Tools* referente ao corpo cerâmico de formulação Ax, sendo x igual 4, 6, 8, 12 e 16, respectivamente, teores - em % em peso - de sulfato de cálcio na formulação.

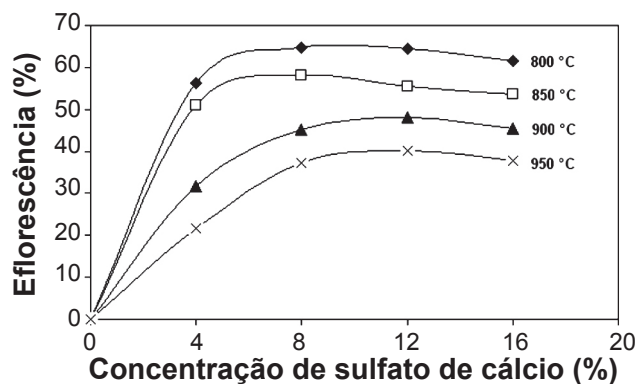


Figura 2: Valores de eflorescência determinados por *Image Tools* dos corpos cerâmicos em função do teor de sulfato de cálcio na formulação e da temperatura de queima dos corpos cerâmicos.

[Figure 2: Efflorescence values of ceramic bodies because of calcium sulfate content on the formula and the burning temperature of ceramic bodies, as determined by *Image tools*.]

alguns subsídios para o entendimento da mobilidade iônica. São apresentados os valores da concentração dos íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} após 1 h, 7 dias, 14 dias e 28 dias de repouso para diferentes misturas que foram queimadas entre 800 a 950 °C. A Fig. 4 apresenta os mesmos dados da Tabela IV em uma escala logarítmica de tempo e de concentração dos íons investigados, transformando-os em mols/L. Para tanto, os valores foram divididos por 40 g/mol para o íon Ca^{2+} e 96 g/mol para o íon SO_4^{2-} .

Os resultados indicaram um aumento crescente da solubilização com o tempo de repouso, para ambos os íons investigados. É possível identificar a tendência (com poucas exceções) da concentração dos íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} elevar-se com o aumento do teor de sulfato de cálcio na formulação e com o volume total de poros nos corpos cerâmicos. Esses comportamentos podem ser justificados, respectivamente, pela maior quantidade de íons disponíveis para solubilizar e pela maior densificação do corpo cerâmico com o aumento

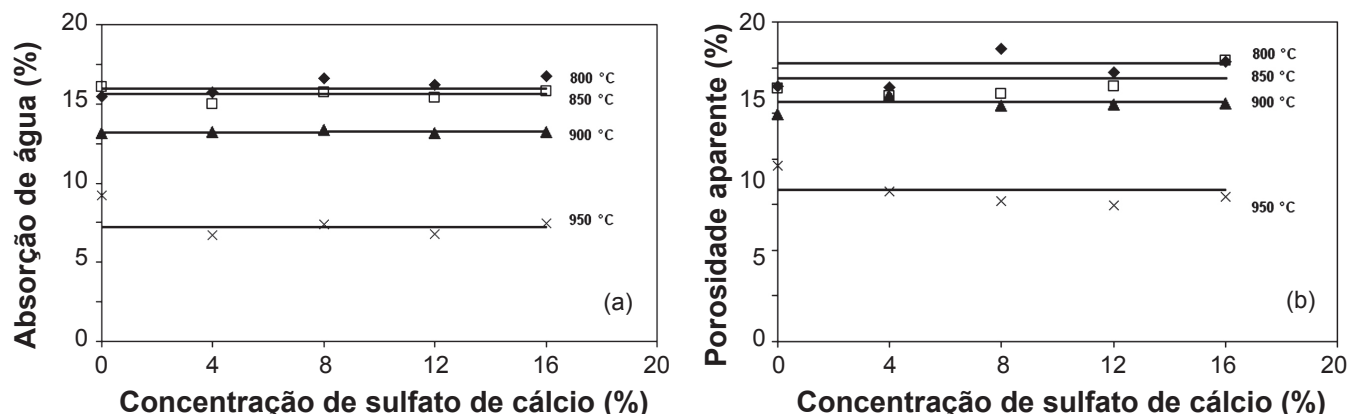


Figura 3: Variação da absorção de água (a) e da porosidade aparente total (b) dos corpos cerâmicos em função do teor de sulfato de cálcio e da temperatura de queima.

[Figure 3: Variation in water absorption (a) and the total apparent porosity (b) of ceramic bodies as a function of calcium sulfate content and burning temperature.]

Tabela IV - Concentração (mg/L) dos íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} após repouso em água destilada por 1 h, 7 dias, 14 dias e 28 dias, em função do teor de sulfato de cálcio na formulação da massa cerâmica e da temperatura de queima do corpo cerâmico.

[Table IV - Concentration (mg/L) of Ca^{2+} and SO_4^{2-} ions after allowing to rest in distilled water for 1 h, 7 days, 14 days and 28 days as function of the calcium sulfate content in the formularization of the ceramic mass and burning temperature of the ceramic body.]

Amostra	Temp. (°C)	1h íon Ca^{2+} (mg/L)	1h íon SO_4^{2-} (mg/L)	7 dias íon Ca^{2+} (mg/L)	7 dias íon SO_4^{2-} (mg/L)	14 dias íon Ca^{2+} (mg/L)	14 dias íon SO_4^{2-} (mg/L)	28 dias íon Ca^{2+} (mg/L)	28 dias íon SO_4^{2-} (mg/L)
A4	800	204	455	844	1358	810	2790	876	2430
	850	149	244	998	1098	670	1590	895	2190
	900	198	369	668	808	580	1380	720	1670
	950	46	52	374	458	437	906	678	1450
A8	800	443	816	886	1266	915	1900	941	2550
	850	284	363	856	1052	894	2090	1190	2880
	900	212	223	631	671	647	1420	754	1780
	950	103	88	442	793	623	1220	835	1750
A12	800	554	952	974	1205	930	2330	990	2740
	850	342	546	911	1220	1000	2660	1200	2160
	900	258	334	805	1022	791	1800	1090	2650
	950	205	238	733	961	661	1310	1150	2360
A16	800	456	1370	910	1388	951	2580	1120	2960
	850	289	537	854	1236	1100	2450	1210	2096
	900	261	442	797	976	869	1900	1180	2600
	950	221	314	823	1007	881	1890	1080	2610

da temperatura de queima. Ainda, pela análise das curvas de solubilização da Fig. 4, constata-se que o íon cálcio teria uma maior solubilidade do que o íon sulfato, após 7 dias de repouso. Para maiores tempos de repouso, 14 e 28 dias, a diferença entre ambas concentrações diminui consideravelmente. Também é possível identificar uma tendência (com poucas exceções) de que os valores da concentração do íon Ca^{2+} são maiores do que os da concentração de SO_4^{2-} para um mesmo volume total de poros

e mesma quantidade de sulfato de cálcio na formulação. Os resultados da solubilização poderiam ser também justificados pelo fato de que o íon Ca^{2+} tem um tamanho bem menor que o íon SO_4^{2-} segundo autores como [12, 13] afirmam que os íons menores são mais solvatados que os grandes. Um íon menor pode se encaixar nos vazios existentes das moléculas de H_2O com maior facilidade. Os raios de hidratação do íon Ca^{2+} e SO_4^{2-} são respectivamente 2,53 Å e 3,00 Å [14, 15].

A Fig. 5 mostra a condutividade elétrica em função da

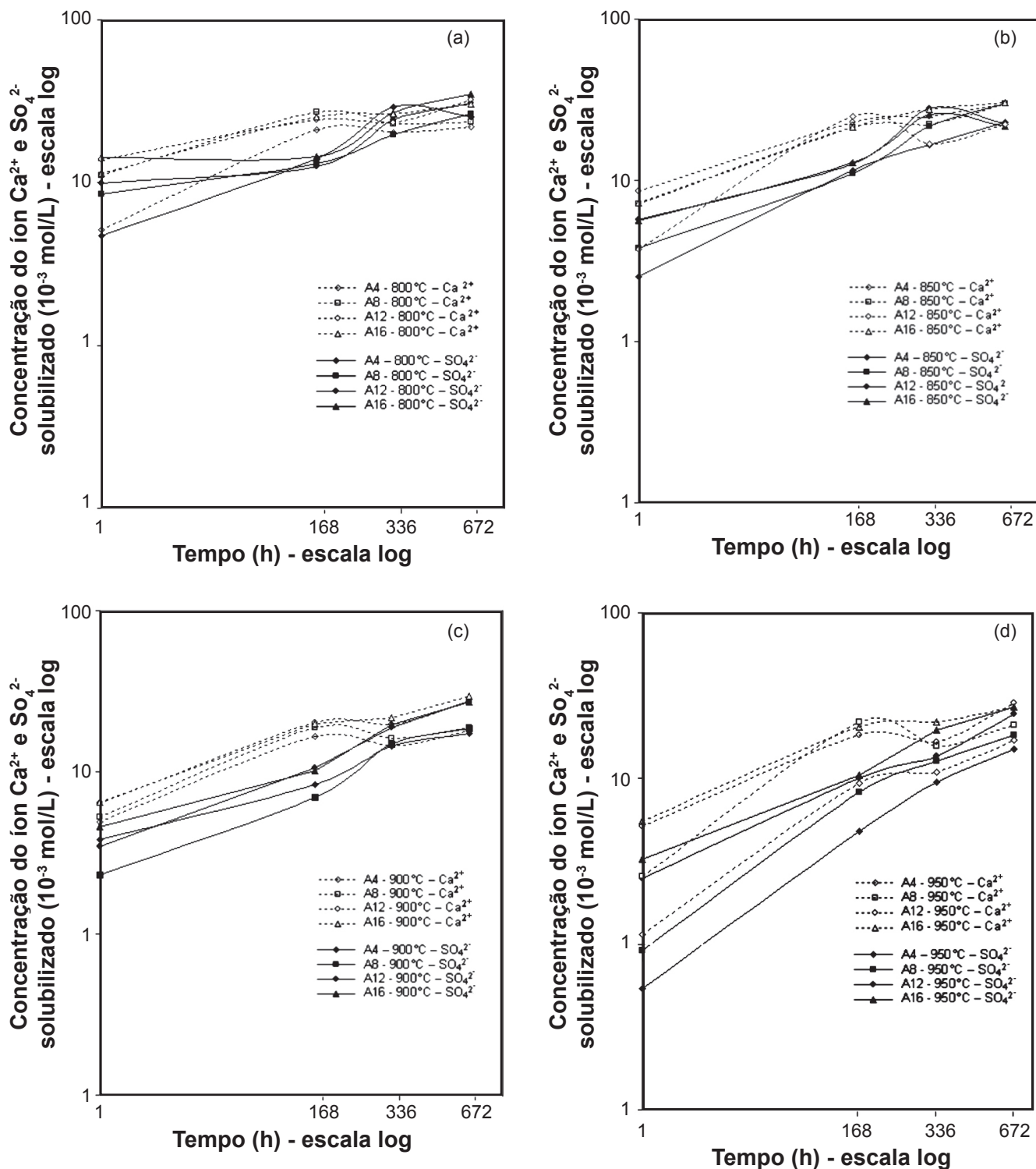


Figura 4: Concentração em mol/L dos íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} , após tempos de repouso em ensaios de solubilização por 1 h, 7, 14, e 28 dias de corpos cerâmicos com diferentes teores de sulfato de cálcio na formulação, em função da temperatura de queima. (a) 800 °C, (b) 850 °C, (c) 900 °C, (d) 950 °C.

[Figure 4: Concentration of Ca^{2+} e SO_4^{2-} ions in mol/L, after times of rest in assays of solubilization of ceramic bodies with different calcium sulfate contents in the formulation for 1 h, 7 days, 14 days, and 28 days as a function of burning temperature. (a) 800 °C, (b) 850 °C, (c) 900 °C and (d) 950 °C.]

concentração e também em relação aos diferentes modos de solubilização, onde se verifica que a condutividade elétrica é menor para as soluções submetidas ao processo

de solubilização por 1 h se comparado ao processo de solubilização realizado em 7 dias. A Fig. 5 também revela que a partir da formulação A8 a condutividade elétrica

mantém-se praticamente constante o que ratifica as constatações apresentadas na Fig. 2 em relação à formação da eflorescência. A solubilidade origina maior teor de íons na solução e conseqüentemente o aumento da condutividade elétrica. Outro aspecto a considerar a partir da Fig. 5 é o fato de que a condutividade elétrica das amostras A8 apresenta para as temperaturas de queima de 900 °C uma oscilação para menos que não é verificada para as demais amostras.

A Fig. 6 mostra os resultados obtidos através da condutividade dos corpos cerâmicos que foram solubilizados durante o período de 7 dias quando foram alteradas as

temperaturas para 15, 25 e 35 °C. A condutividade elétrica é maior para as amostras sinterizadas a 800 e 850 °C. Em contrapartida, as formulações sinterizadas a 900 °C apresentaram índices inferiores aos encontrados nas amostras sinterizadas nas temperaturas anteriores. Já a condutividade das formulações queimadas a 950 °C foi a que apresentou o menor percentual. A formulação A0 apresentou patamares de condutividade muito baixos. As temperaturas testadas não representaram mudanças significativas em termos de condutividade elétrica se comparados aos resultados obtidos anteriormente.

CONCLUSÕES

Uma nova metodologia baseada em análise de imagens mostrou-se bastante eficiente para quantificar a eflorescência em corpos cerâmicos, diminuindo a subjetividade da avaliação visual. Constatou-se que o íon cálcio possui maior mobilidade do que o íon sulfato. Para maiores tempos de repouso, 14 e 28 dias, a diferença entre as concentrações por solubilização dos íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} diminui significativamente. Também foi possível identificar uma tendência (com poucas exceções) de que os valores da concentração do íon Ca^{2+} são maiores do que os da concentração de SO_4^{2-} para um mesmo volume total e diâmetro médio de poros e mesma quantidade de sulfato de cálcio na formulação. A condutividade elétrica mantém-se praticamente constante a partir da formulação A8 para todas as temperaturas de queima analisadas. A formação da eflorescência está intimamente ligada à porosidade, aos índices de concentração de sal e absorção de água contidos nos produtos ao mesmo tempo. Os ensaios de solubilização investigados mostraram-se ótimos instrumentos para análise da mobilidade iônica permitindo de forma bastante confiável que se disponha de dados sobre a formação da eflorescência em corpos cerâmicos.

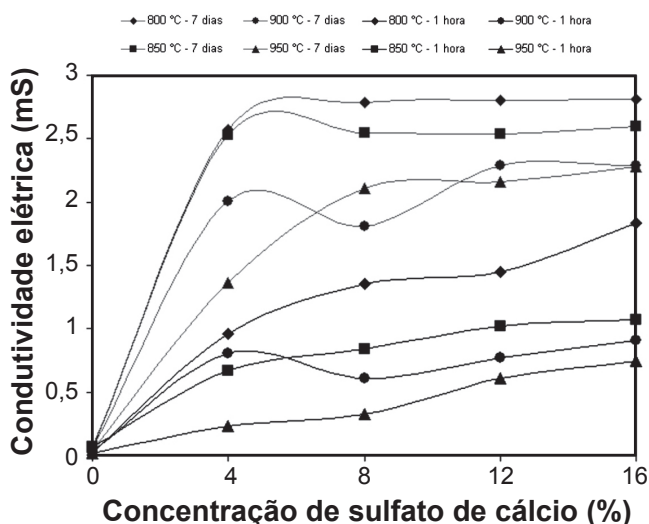


Figura 5: Condutividade elétrica do material submetido à solubilização nos períodos de 1 h e 7 dias.

[Figure 5: Electrical conductivity of the material submitted to the dissolution at 1 h and 7 days.]

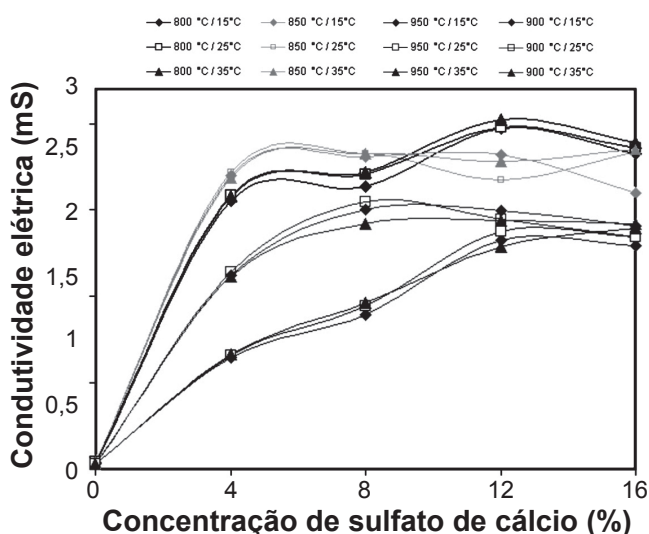


Figura 6: Condutividade elétrica da concentração solubilizada durante o período de 7 dias e em função da variação da temperatura (15, 25 e 35 °C).

[Figure 6: Electrical conductivity of solubilized concentration during the period of 7 days and depending on the temperature variation (15, 25 and 35 °C).]

REFERÊNCIAS

- [1] L. Pel, H. Huinink, K. Kopinga, R. P. J. van Hees, O. C. G. Adan, "Efflorescence pathway diagram: understanding salt weathering", *J. Constr. Build. Mater.* **18** (2004) 309.
- [2] M. P. E. Merrigan, "Efflorescence: cause and control", *Masonry Institute of America* (2004), <<http://www.masonryinstitute.org>> (accessado em Nov. 2007).
- [3] L. Henneiter, J. V. Almeida, A. M. S. Correia, V. M. Ferreira, "Efflorescence and its quantification in ceramic building materials", *J. Br. Ceram. Trans.* **100** (2001) 72.
- [4] H. Brocken, G. T. Nijland, "White efflorescence on brick masonry and concrete masonry blocks, with special emphasis on sulfate efflorescence on concrete blocks", *J. Constr. Build. Mater.* **18** (2004) 315.
- [5] L. Dei, M. Mauro, G. Bitossi, "Characterisation of salt efflorescences in cultural heritage conservation by thermal analysis", *Thermochim. Acta* **317** (1998) 133.
- [6] V. L. Acevedo, C. Viedma, V. González, A. La Iglesia, "Salt crystallization in porous construction materials II. Mass transport and crystallization processes", *J. Crystal*

Growth **182** (1997) 103.

[7] Y. Matsukura, C. T. Oguchi, N. Kuchitsu, "Salt damage to brick kiln walls in Japan: spatial and seasonal variation of efflorescence and moisture content", *J. Bull. Eng. Geol. Environ.* **63** (2004) 167.

[8] D. Benavente, M. A. G. Cura, J. G. Guinea, S. S. Moral, S. Ordóñez, "Role of pore structure in salt crystallisation in unsaturated porous stone", *J. Crystal Growth* **260** (2004) 532.

[9] ASTM: "Standard test methods for water absorption, bulk density, apparent porosity, and apparent specific gravity of fired whiteware products", ASTM C373-94, EUA (1994).

[10] ASTM: "Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile", ASTM C 67-03a, EUA (2003).

[11] A. E. Charola, "Salts in the deterioration of porous materials: an overview", *J. Am. Inst. Conserv.* **39** (2000) 327.

Website: <<http://www.jstor.org/stable/3179977>> (accessado Agosto 2009).

[12] J. E. Lindqvist, U. Akesson, K. Malaga, "Microstructure and functional properties of rock materials", *J. Mater. Charact.* **58** (2007) 1183.

[13] S. A. Bawendi, "Physical Chemistry", 4th Ed., John Wiley & Sons, Inc. (2005).

[14] M. Y. Kiriukhin, K. D. Collins, "Dynamic hydration numbers for biologically important ions", *Biophys. Chem.* **99** (2002) 155.

[15] T. Berrin, J. Sager, T. Rector, J. Garland, R. F. Strayer, L. Levine, M. Roberts, M. Hummerick, J. Bauer, "Significance of hydrated radius and hydration shells on ionic permeability during nanofiltration in dead end and cross flow modes", *Sep. Purif. Technol.* **51** (2006) 40.

(*Rec. 07/07/2010, Ac. 30/12/2010*)