

## INCORPORAÇÃO DE $\text{CuSO}_4$ RESIDUAL EM ARGAMASSA, COMO MÉTODO DE DISPOSIÇÃO FINAL

Matheus Paes Paschoalino, Antonio Alberto da Silva Alfaya, Maria Josefa Santos Yabe e Sônia Maria Nobre Gimenez\*

Departamento de Química, Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, CP 6001, 86051-990 Londrina - PR, Brasil

Recebido em 14/4/05; aceito em 14/9/05; publicado na web em 16/2/06

INCORPORATION OF RESIDUAL  $\text{CuSO}_4$  INTO CEMENT AS A FINAL DISPOSAL METHOD. Residual  $\text{CuSO}_4$  was incorporated into the mass utilized for cement preparation. To a cement mass with 1:0.5:5 of cement, lime and sand to 0.25, 0.50, 0.75 and 1.00% of residual  $\text{CuSO}_4$  were added. The sulfate was mixed separately with lime and water to induce metal precipitation. The hardened test bodies were submerged in Milli-Q water for three months. No Cu was detected in the water by Atomic Absorption Spectrometry. The best proportion for mechanical resistance and porosity is 0.50%. The cement is adequate for non-structural objects.

Keywords: residues; cement; final disposal.

### INTRODUÇÃO

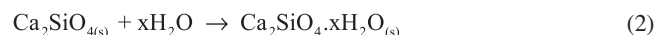
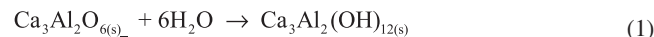
Nas últimas décadas tem aumentado a preocupação a respeito da disposição final de resíduos químicos, tanto por parte das Indústrias Químicas como das Instituições Acadêmicas e Órgãos Governamentais<sup>1</sup>. Muitas fontes de poluição existem e passam despercebidas até de órgãos de defesa ambiental, como os resíduos gerados em laboratórios de ensino, pesquisa, análises clínicas e prestadores de serviços. Por menores que possam ser algumas dessas fontes, podem causar grandes males para o ambiente ao longo do tempo<sup>2</sup>. Os resíduos contendo metais pesados são uma grande preocupação, pois o descarte inadequado pode causar sérios danos ao meio ambiente, devido à sua toxidez e/ou pela sua acumulação nos diversos compartimentos ambientais (solo, água e ar), bem como para a cadeia alimentar.

Alguns sais, como por ex. o reagente sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ), perdem suas características originais por excesso de umidade ou reações de desidratação e redução. Um projeto desenvolvido em 44 escolas de ensino médio do município de Londrina/PR indicou que nestas se encontram armazenados aproximadamente 15 kg de  $\text{CuSO}_4$ , em condições inadequadas de uso<sup>3</sup>. Considerando que em algumas situações existe a impossibilidade de utilização do composto, este passa a ser um resíduo e, portanto, necessita de descarte adequado. Alguns compostos, em condições similares, podem ser incorporados à argamassa utilizada para fabricação de diversos artefatos, como tijolos, mourões, bases para calçamentos e reboco de paredes. Esta técnica, denominada imobilização, inclui processos de solidificação e estabilização, sendo especialmente útil para resíduos inorgânicos de difícil tratabilidade. Assim, um resíduo concentrado pode ser solidificado por reação com cimento Portland®, por ex.<sup>4</sup>. No entanto, as substâncias incorporadas ao cimento não devem alterar consideravelmente a resistência mecânica do que será construído, e não deve haver liberação expressiva dos materiais incorporados para o meio. Esta liberação é minimizada quando o material é utilizado no preparo de rebocos, que geralmente são recobertos por camada de tinta.

### Cimento e argamassa

O cimento Portland® é produzido através da moagem e mistura de calcário ( $\text{CaCO}_3$ ) e outros materiais contendo silício, alumínio e óxidos de ferro. O material misturado é aquecido em fornos rotativos a temperaturas extremamente altas, onde os compostos se tornam líquidos e reagem entre si, formando o chamado “clínquer”, que é então resfriado e moído com pequenas porções de gesso (retardante de pega) e outros aditivos especiais para produzir cimento<sup>5</sup>. O cimento é uma mistura de silicato de cálcio e aluminato de cálcio hidratados polimerizados no interior de uma matriz altamente reticulada, sendo sua característica mais importante a chamada propriedade hidráulica, que é a habilidade de endurecer e manter-se desta maneira mesmo sob ação da água. Quando a areia e outros agregados, como por ex., britas e cascalho, são adicionados ao cimento, a mistura resultante é denominada de argamassa<sup>6</sup>.

O cimento Portland®, geralmente utilizado no preparo de argamassas, é classificado principalmente por duas características, o tipo e a classe de resistência<sup>7</sup>. Sua composição é bastante variada dependendo do tipo e da aplicação, sendo constituído principalmente de uma mistura de silicato e aluminato de cálcio, que se hidratam na presença de água, de acordo com as Equações 1 a 3:



Cada uma dessas reações indica que o cimento não endurece por secagem, mas pela reação química de hidratação<sup>8</sup>, já que os produtos de solubilidade dos compostos hidratados são extremamente pequenos em relação aos materiais não hidratados.

A relação água:cimento utilizada no preparo da argamassa é de fundamental importância para a resistência do produto final, sendo que a mistura deve ser elaborada utilizando-se a menor quantidade de água possível, para se obter menor permeabilidade e maior durabilidade<sup>8,9</sup>.

A corrosão do cimento pode ser física ou química. A corrosão física é geralmente atribuída às propriedades físicas da água, espe-

\*e-mail: sozi@uel.br

cialmente sua mudança de volume com a variação da temperatura e sua habilidade para dissolver os componentes do cimento, sendo o principal problema a presença de água livre no sistema. A água também transporta agentes químicos que podem degradar vários componentes do cimento, como é o caso dos sulfatos que reagem com hidróxido de cálcio para formar sulfato de cálcio, como mostram as Equações 4 e 5:



Devido à ação corrosiva dos sulfatos, a norma NBR-6118 estabelece que em misturas para preparo de concreto armado, a concentração máxima de sulfato livre na água utilizada deve ser de 300 mg L<sup>-1</sup> <sup>10</sup>.

Estudos recentes utilizando ressonância magnética nuclear por imagem (MRI) mostraram que o entendimento do comportamento da água no cimento é a base para se elucidar sua corrosão<sup>6</sup>. Esta técnica é utilizada para medir a distribuição espacial da água no material, e baseia-se no princípio de que a frequência da ressonância magnética nuclear de um núcleo, como <sup>1</sup>H, em um gradiente de campo magnético, é proporcional à sua posição espacial nesse gradiente.

A resistência mecânica é uma das mais importantes propriedades da argamassa, que depende de vários fatores, dentre os quais se destacam a espessura do cimento, a qualidade do clínquer, a relação água/cimento, o teor e a qualidade dos agregados e a dosagem de hidróxido de cálcio<sup>11</sup>.

A argamassa composta somente por cimento e água praticamente estabelece sua resistência, contudo, seu preço seria proibitivo. Deste modo, a mistura de cimento e água pode ser alterada com materiais agregados<sup>8</sup>, como areia e resíduos dos mais variados processos, com objetivo de diminuir o custo, sem prejudicar significativamente a qualidade da argamassa produzida.

### Agregados e aditivos

Os principais materiais empregados junto ao cimento para preparo da argamassa são areia, brita e cascalho. A cal é um aditivo aglomerante resultante da calcinação de rochas carbonatadas predominantemente por carbonato de cálcio e/ou carbonato de cálcio e magnésio, hidratados ou não. Nesta pesquisa, utilizou-se cal virgem, que também é resultante de processos de calcinação, sendo seu constituinte principal, o óxido de cálcio (CaO), capaz de reagir com água para formar a cal hidratada Ca(OH)<sub>2</sub>, liberando calor (272 kcal kg<sup>-1</sup>)<sup>12,13</sup>.

A areia empregada na argamassa usualmente é a natural, constituída essencialmente de quartzo, extraída de leitos de rios ou “cavas”, resultante de antiga erosão de rochas quartzosas e posterior sedimentação do mineral silicoso. Nestas areias, geralmente estão presentes, ao lado do quartzo, aglomerados argilosos, mica, minerais oxidados de ferro, pirita, silicatos ferro-magnesianos e matéria orgânica<sup>12,13</sup>.

Novos tipos de materiais já estão sendo incorporados na construção civil, como o isopor (poliestireno expandido). A disposição final deste material é problemática, pois ocupa muito espaço nos lixões e aterros, sendo de difícil degradabilidade. O isopor tem sido utilizado em substituição à pedra britada na argamassa leve (mistura de cimento, areia, cola e isopor), podendo ser aplicado na regularização de lajes, painéis pré-fabricados, bancos para ambientes externos, base para montagem de sofás, balcões, camas e quadras de esporte<sup>14</sup>.

O uso de agregados minimiza o efeito do encolhimento que ocorre no endurecimento da massa, uma vez que aumentam a constante elástica e a resistência à compressão do produto final<sup>6</sup>.

### Tratamento de resíduos

Dentro dos princípios da necessidade de um desenvolvimento sustentável, tem-se como regra que a Química deve manter e melhorar a qualidade de vida. Esta realidade requer uma nova conduta para aprimoramento dos processos químicos, com o objetivo fundamental da geração cada vez menor de resíduos e efluentes tóxicos<sup>15</sup>.

O reaproveitamento dos resíduos em processos diversos ou sua recuperação sob forma de insumos minimiza a quantidade de “rejeito”. Resíduos sem aproveitamento exigem um acondicionamento adequado<sup>1</sup>, o que nem sempre é possível devido a fatores práticos e financeiros.

A necessidade de tratar os resíduos gerados em empresas e instituições, como universidades, tem sido tema de destaque, devido às leis cada vez mais rígidas com relação a crimes ambientais e à possibilidade de ocorrência de acidentes. Portanto, torna-se necessário estimular o tratamento de resíduos produzidos logo após sua geração. Embora existam métodos confiáveis para destruição de alguns resíduos, uma grande parte é simplesmente armazenada em locais com segurança questionável, apenas adiando o problema<sup>4,16,17</sup>. Nestes locais podem ocorrer situações potencialmente perigosas, pela ocorrência de vazamentos, liberação de gases e até explosões, dependendo do tipo de resíduo armazenado. Outro aspecto importante é possibilitar que o processo de gerenciamento de resíduos não produza outros resíduos, ou se gerados, tenham também um tratamento adequado antes de serem descartados.

Nos laboratórios de ensino ou pesquisa nas áreas da Química, existem e são gerados os mais diversos tipos de resíduos.

Neste trabalho, o CuSO<sub>4</sub>, considerado resíduo nas condições em que se encontrava, foi incorporado em argamassa utilizada como base para calçamento, como forma de reaproveitamento e destinação final.

No Brasil, atualmente o cimento é um dos materiais mais usados (39.179.754 t ano<sup>-1</sup>)<sup>18</sup>, portanto, a argamassa pode ser considerada como uma matriz promissora para agregar determinados resíduos produzidos em diferentes laboratórios, devido à grande quantidade utilizada em nossa sociedade.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Preparo da argamassa e incorporação do resíduo

Para preparo da argamassa, utilizou-se a proporção de 1:0,5:5 entre cimento Portland® tipo CPII-F32, cal virgem tipo CV-C e areia média, respectivamente, indicada na literatura para uso em artefatos não estruturais como rebocos e base para calçamentos<sup>19</sup>. Considerando a massa seca final da mistura, foram incorporados os resíduos respeitando-se a proporção pré-estabelecida entre os componentes da argamassa, sendo primeiramente misturados o resíduo CuSO<sub>4</sub> com a respectiva quantidade de cal, adicionando-se água de torneira suficiente para homogeneização dos componentes.

Separadamente, misturou-se areia e cimento Portland® até se tornarem um pó sólido homogêneo para, em seguida, adicioná-lo na mistura de cal, resíduo e água, completando-se com a menor quantidade de água de torneira suficiente para formar uma pasta consistente, que foi transferida para copos plásticos descartáveis de 50 mL. Foram preparados 8 corpos de prova para cada proporção de resíduo incorporada (0; 0,25; 0,50; 0,75 e 1,0% m/m). Deixou-se a massa resultante endurecer por 10 dias ao abrigo do sol e

da chuva. Em seguida, retirou-se a embalagem plástica e cada corpo de prova foi pesado em balança analítica anteriormente ao início das análises e testes.

### Avaliação da lixiviação do metal incorporado

Após 14 dias de endurecimento, separaram-se 3 dos 8 corpos de prova preparados para cada proporção de resíduo incorporado. Em recipientes plásticos transparentes de 250 mL previamente lavados com HNO<sub>3</sub> 10%, foram colocados os 3 corpos de prova separadamente, completando-se o volume com água Milli-Q até a graduação de 250 mL. Em seguida tampou-se cada recipiente.

A partir da data de submersão, foram coletadas mensalmente, durante 3 meses, alíquotas de 10 mL da solução e efetuadas medidas de pH utilizando potenciômetro Tecnal TEC2. Também foi determinada a concentração de cobre total através de espectrometria de emissão atômica acoplada com plasma – massa de argônio induzido (ICP-MS) da Perkin-Elmer, modelo 3300 DV. Após 3 meses, foi medida a condutividade de todas as soluções com um condutivímetro Tecnopon CA150.

### Testes de resistência mecânica e porosidade dos corpos de prova

Após 28 dias de endurecimento, 5 corpos de prova, remanescentes dos 8 preparados para cada proporção de resíduo incorporado, foram medidos com paquímetro e submetidos ao teste de resistência mecânica à compressão simples por prensa hidráulica manual Solotest, com o objetivo de conhecer os efeitos do resíduo em sua resistência.

Após 3 meses de submersão, 3 corpos de prova de cada incorporação de resíduo foram retirados da água, secos com papel absorvente e pesados em balança analítica para determinar a porosidade aparente da argamassa pela absorção de água<sup>20</sup>.

### Tratamento dos resíduos gerados

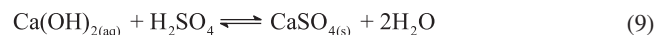
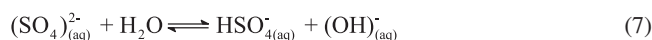
Terminados todos os testes, os corpos de prova rompidos, assim como os que estavam submersos, foram triturados e utilizados como base de calçamentos em uma área do Campus da UEL.

As soluções com possíveis traços do metal incorporado tiveram seu pH neutralizado pela adição de HNO<sub>3</sub> 10% ou cal, foram diluídas na proporção de 1:100 e, em seguida, descartadas no solo. A diluição do resíduo pode viabilizar processos de dispersão e adsorção de íons pela matriz.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cimento Portland® utilizado no presente trabalho foi o CII-F32, por se tratar de material de fácil disponibilidade no mercado e, principalmente, por ser o cimento geralmente utilizado na produção dos elementos construtivos não estruturais de infraestrutura urbana<sup>21</sup>.

O sulfato de cobre em condições inadequadas de uso foi escolhido como resíduo a ser incorporado na argamassa, por ser um dos compostos problemáticos, já que o sulfato é um agente corrosivo para essa matriz, pois reage com água formando ácido sulfúrico<sup>22</sup>. O hidróxido de cálcio, um dos componentes da argamassa, pode reagir com ácido sulfúrico, de acordo com as Equações 6 a 9.

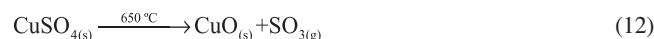
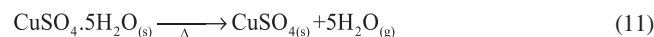


Com adições de proporções diferenciadas, pôde-se estudar a forma mais adequada de fazer a incorporação desse composto inorgânico em material cimentífero possibilitando, assim, um destino adequado para o resíduo. Deste modo, realizando-se estudos específicos para outros resíduos, a quantidade incorporada pode ser maior que as indicadas no presente trabalho.

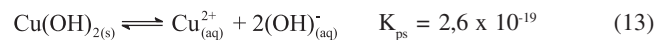
A forma mais correta encontrada para empregar o sulfato foi misturá-lo separadamente à cal e água, pois assim foi induzida uma precipitação máxima do metal na forma de hidróxido (Equação 10) e foram minimizadas as possibilidades de lixiviação.



Outro método, como a transformação de CuSO<sub>4</sub> em CuO por calcinação, foi testado, porém o gasto energético foi grande, além da possível liberação de enxofre para a atmosfera como mostram as Equações 11 e 12<sup>23</sup>.



Um aspecto positivo da reação do sulfato de cobre com a cal é a formação de dois produtos sólidos, como demonstram as Equações 13 e 14, apesar da solubilidade do CaSO<sub>4</sub> ser maior, podendo causar perda de resistência mecânica da argamassa caso esta seja lixiviado<sup>24</sup>.



A variação média das massas dos corpos de prova em relação ao branco foi de 5,0%, diminuindo à medida que aumentava a proporção de resíduo.

Os resultados médios da variação da resistência mecânica em relação à porosidade de 5 corpos de prova, conforme a proporção de resíduo incorporado, estão ilustrados na Figura 1.

A medida da resistência foi realizada aos 28 dias, período mais utilizado para trabalhos na área de cimento. A quantidade de água usada no preparo da argamassa foi maior que a empregada normalmente, com objetivo de garantir uma máxima solubilização do sul-

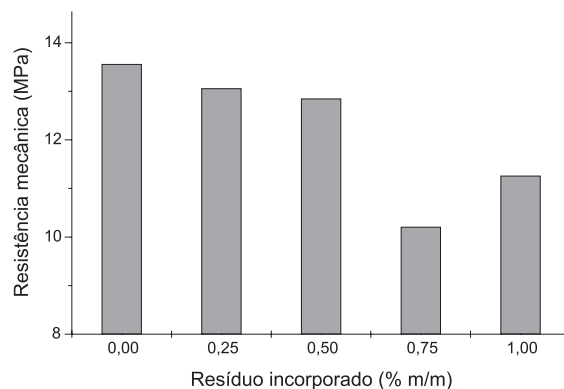


Figura 1. Variação da resistência dos corpos de prova de acordo com a proporção de resíduo (CuSO<sub>4</sub>) incorporada

fato e da cal que devem reagir. Isso elevou a relação água/cimento, que é um dos principais fatores que influenciam a resistência mecânica da argamassa. Mesmo assim, a resistência da argamassa incorporada apresentou valores próximos aos encontrados na literatura (12,4 MPa) para a proporção empregada (1:0,5:5), aos 28 dias de endurecimento<sup>21</sup>.

Analisando-se a Figura 1 verifica-se que todos os corpos de prova que tiveram resíduo incorporado apresentaram resistência menor que o branco, sendo a maior perda de resistência observada para a proporção de 0,75%, em cerca de 25%. Verificou-se também que a resistência volta a aumentar para a proporção de 1,00%, porém continua inferior aos valores das proporções de 0,25 e 0,50%. Com base na literatura<sup>11</sup> e nos dados obtidos, o comportamento demonstrado na Figura 1 era esperado, pois não se observa uma tendência de influência na variação dessa propriedade com a adição do resíduo, já que a resistência mecânica depende em grande parte da compatibilidade cimento-resíduo em nível reticular. Neste caso em particular, os teores ótimos de adição com relação ao desenvolvimento das resistências mecânicas à compressão foram de 0,25 e 0,50%, já que estes apresentaram pequena diferença em suas resistências.

Analisando-se a porosidade dos corpos de prova (Figura 2), verifica-se que todas as proporções contendo resíduo apresentaram aumento na porosidade, constatando-se que a proporção de 0,50% apresentou a melhor relação resistência/porosidade.

Quanto ao pH, observa-se na Figura 3 que, com o tempo, este diminuiu para todas as soluções coletadas, sendo que a variação para o branco, ainda que pequena, considerando as condições em que os corpos de prova se encontravam, foi maior que para as outras proporções utilizadas.

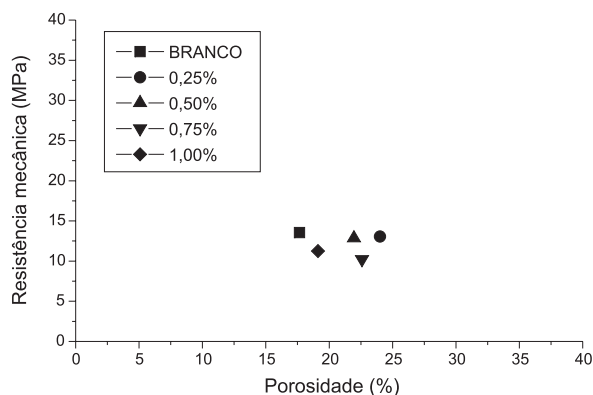
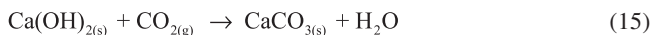


Figura 2. Variação da resistência dos corpos de prova com a sua porosidade

A argamassa comum possui um pH de aproximadamente 12,5, que no decorrer do tempo vai se reduzindo até 9,0, devido à reação entre o CO<sub>2</sub> atmosférico e o Ca(OH)<sub>2</sub> da argamassa (Equação 15)<sup>25,26</sup>.



No experimento proposto, como o corpo de prova estava submerso, sem contato direto com o ar, possivelmente algum componente do resíduo como o sulfato pode ter lixiviado, gerando um composto básico no equilíbrio com a água, proporcionando um pequeno aumento de pH comparado à solução do branco (Equação 16).



Uma possível explicação para as distintas variações do pH entre o branco e os corpos de prova está relacionada à inibição dos microrganismos capazes de produzir alguma substância ácida, já

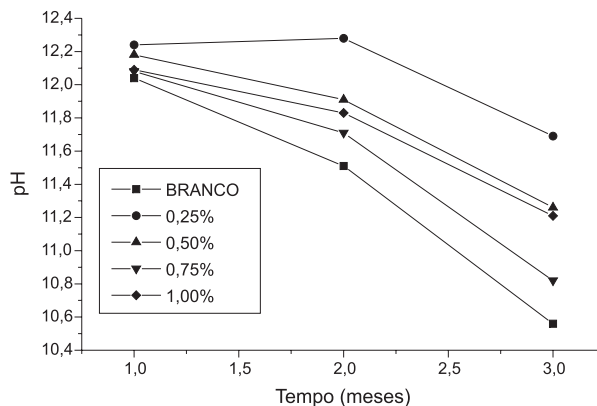


Figura 3. Variação do pH da água durante 3 meses de submersão dos corpos de prova

que o CuSO<sub>4</sub> misturado à cal é um agente fungicida muito utilizado, conhecido como “calda bordalesa”<sup>13</sup>.

As determinações por espectrometria de emissão atômica (EEA) das alíquotas aquosas das amostras de cada proporção não acusaram a presença de cobre em nenhuma das soluções coletadas a cada mês, pois a quantidade do metal nas mesmas foi inferior ao limite de detecção do aparelho (EEA-ICP). Esses resultados demonstram a eficiência do modo de preparo da argamassa, que induz a precipitação do metal antes da mistura dos outros componentes da massa.

Os diferentes comportamentos da condutividade da água depois de 3 meses de submersão estão ilustrados na Figura 4, mostrando que a presença do resíduo também influenciou muito pouco a condutividade, já que a variação média em relação ao branco foi de aproximadamente 4%.

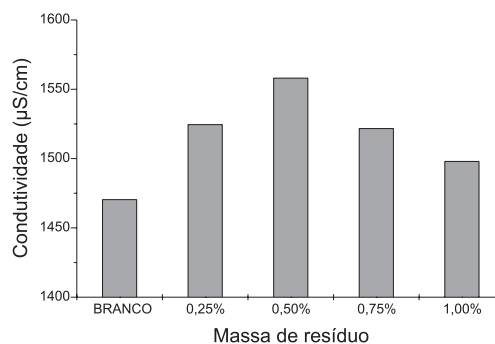


Figura 4. Condutividade da água de submersão após 3 meses

Comparando-se a variação do pH com a condutividade das soluções verificou-se que as proporções que mais desviaram do comportamento do branco (0,25 e 0,5%) foram as mesmas que apresentaram as maiores condutividades. Como este parâmetro depende do número de íons presentes<sup>27</sup>, é possível inferir que o precipitado mais solúvel (CaSO<sub>4</sub>) da reação ocorrida na mistura cal/resíduo pode estar sendo lixiviado liberando íons Ca<sup>2+</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, aumentando a condutividade e proporcionando menor alteração do pH das soluções em relação ao branco.

Os corpos de prova mais porosos apresentaram maiores condutividades, confirmando a hipótese de possível lixiviação de algum outro componente.

Analisando-se a Figura 5 observa-se que a concentração de cálcio detectada por EEA foi maior para todas as proporções contendo resíduo, assim como para a condutividade e porosidade quando comparadas ao branco.

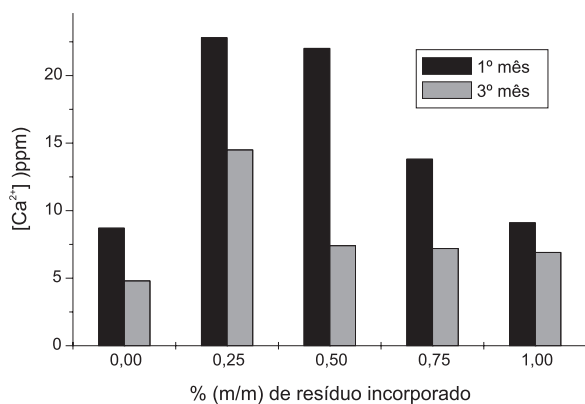


Figura 5. Concentração de íons  $\text{Ca}^{2+}$  na água após 1 e 3 meses de submersão dos corpos de prova

Na proporção de 0,25% foi observada a maior concentração de cálcio na solução de lixiviação, em concordância com os dados de porosidade. Verificou-se que para todas as proporções há uma diminuição da concentração de cálcio do 1º para o 3º mês de submersão, o que pode ser justificado pela combinação de íons  $\text{Ca}^{2+}$  com o  $\text{CO}_2$  presente na atmosfera formando  $\text{CaCO}_3$ , o que foi evidenciado pelo aparecimento de uma camada delgada de um sólido branco na interface água/ar e no fundo dos recipientes de armazenamento dos corpos de prova.

A condição em que se encontravam os corpos de prova era extrema, pois estavam totalmente submersos em água durante o período de teste, o que dificilmente ocorrerá no cotidiano, já que geralmente as construções elaboradas com argamassa se encontram isoladas por tijolos e protegidas por tinta. Mesmo com essa condição, a taxa de lixiviação foi desprezível, sendo provavelmente necessário muito tempo para que parte do metal incorporado seja lixiviado.

## CONCLUSÃO

A proporção de 0,50% de  $\text{CuSO}_4$  incorporado parece ser a mais indicada para preparo da argamassa, devido à sua melhor relação resistência/porosidade. Tal proporção deve ser usada para preparo de objetos não estruturais, como mourões e bases para calçamentos.

Nas condições estudadas concluiu-se que a taxa de lixiviação do resíduo incorporado foi desprezível para o cobre que se deseja imobilizar, já que este foi associado a uma matriz insolúvel, que libera muito lentamente este elemento para o ambiente, sem causar um impacto localizado. Como rotineiramente se utiliza muito cimento, diferentes quantidades de resíduo podem ser misturadas nesse material. De acordo com os dados obtidos, seria possível adicionar 5 kg de  $\text{CuSO}_4$  em cada t de massa para preparo de argamassa.

Portanto, o método apresentado neste trabalho aparenta ser qualificado e prático para ser reproduzido, possibilitando um descarte ambientalmente adequado para outros resíduos inorgânicos. Cabe ressaltar que, para cada resíduo, devem ser realizados estudos prévios.

## REFERÊNCIAS

- Amaral, S. T.; Machado, P. F. L.; Peralba, M. C. R.; Câmara, M. R.; Santos, T.; Berzele, A. L.; Falcão, H. L.; Martinelli, M.; Gonçalves, R. S.; Oliveira, E. R.; Brasil, J. L.; Araújo, M. A.; Borges, A. C.; *Resumos do 8º Encontro de Química da Região Sul*, Santa Maria, Brasil, 2000.
- Pacheco, E. V.; Hemais, C. A.; Fontoura, G. A. T.; Rodrigues, F. A.; *Polímeros: Ciência e Tecnologia* **2003**, *13*, 14.
- Gimenez, S. M. N.; Paschoalino, M. P.; Yabe, M. J. S.; Alfaya, A. A. S.; Alfaya, R. V. S.; Galão, O. F.; Bueno, E. S.; Hirossi, T.; Bonfim, P. G.; Pescada, C. E. A.; *Resumos da 26ª Reunião Anual da SBQ*, Poços de Caldas, Brasil, 2003.
- Baird, C.; *Química Ambiental*, 2ª ed., Bookman: Porto Alegre, 2002.
- <http://www.votorantim.com.br>, acessada em Maio 2003.
- Maclaren, D. C.; White, M. A.; *J. Chem. Educ.* **2003**, *80*, 623.
- [http://www.secil.pt/prod\\_cimtip.html](http://www.secil.pt/prod_cimtip.html), acessada em Agosto 2003.
- Van Vlack, L. H.; *Princípios de Ciência e Tecnologia dos Materiais*, 4ª ed., Campus: Rio de Janeiro, 1984.
- [http://www.soeicom.com.br/produtos/dicas\\_02.html](http://www.soeicom.com.br/produtos/dicas_02.html), acessada em Julho 2004.
- <http://www.edificações.com.br/apoi/d21.htm>, acessada em Março 2003.
- <http://www.ecotrade.net/lavori/ARTIGODO.pdf>, acessada em Julho 2004.
- Guimarães, J. E. P.; *A Cal – Fundamentos e aplicações na Engenharia Civil*, 2ª ed., Pini: São Paulo, 2002.
- Lee, J. D.; *Química Inorgânica não tão Concisa*, 5ª ed., Edgard Blücher: São Paulo, 1999.
- Assunção, L. F.; *A Notícia* **2002**, Caderno Geral.
- Prado, A. G. S.; *Quim. Nova* **2003**, *26*, 738.
- Alberguini, L. B. A.; Silva, L. C.; Rezende, M. O. O.; *Quim. Nova* **2003**, *26*, 291.
- Amaral, S. T.; Machado, P. F. L.; Peralba, M. C. R.; Câmara, M. R.; Santos, T.; Berzele, A. L.; Falcão, H. L.; Martinelli, M.; Gonçalves, R. S.; Oliveira, E. R.; Brasil, J. L.; Araújo, M. A.; Borges, A. C.; *Quim. Nova* **2001**, *24*, 419.
- [http://www.dnpm.gov.br/dnpm\\_legis/suma2001/CIMENTO\\_Revisado.doc](http://www.dnpm.gov.br/dnpm_legis/suma2001/CIMENTO_Revisado.doc), acessada em Janeiro 2004.
- TABELA de composições de preços para orçamentos – TCPO 10*, Ed. Pini, 2000.
- Salgueiro, W.; Somoza, A.; Cabrera, O.; Consolati, G.; *Cem. Concr. Res.* **2004**, *34*, 97.
- [http://www.reciclagem.pcc.usp.br/a\\_utilização\\_entulho.htm](http://www.reciclagem.pcc.usp.br/a_utilização_entulho.htm), acessada em Fevereiro 2003.
- Gentil, V.; *Corrosão*, Livros Técnicos e Científicos S.A.: Rio de Janeiro, 1996, cap. 17.
- Lide, D. R.; *Handbook of Chemistry and Physics*, 78ª ed., CRC Press, 1997-1998.
- Ebbing, D. D.; *Química Geral*, 5ª ed., Livros Técnicos e Científicos: Rio de Janeiro, 1998.
- <http://www.imape.com.br/artwanderley.htm>, acessada em Março 2003.
- [http://publicacoes.pcc.usp.br/PDFs%20novos/BTs/BT216%20Neide\\_Vahan%20.pdf](http://publicacoes.pcc.usp.br/PDFs%20novos/BTs/BT216%20Neide_Vahan%20.pdf), acessada em Fevereiro 2004.
- Atkins, P. W.; *Físico-Química*, 6ª ed., LTC: Rio de Janeiro, 1999, vol. 3.