

Adição de Metais Tóxicos a Massas Cerâmicas e Avaliação de sua Estabilidade frente a Agente Lixiviante. Parte 2: Lixiviação

Humberto Naoyuki Yoshimura*, **Antonio Carlos de Camargo,**
José Carlos da Silva Portela

*Laboratório de Tecnologia Cerâmica – LTC, Divisão de Química – DQ,
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT,
Av. Prof. Almeida Prado, 532, 05508-901 São Paulo - SP
e-mail: hnyoshim@ipt.br

Resumo: Materiais cerâmicos têm sido considerados para o encapsulamento de resíduos com metais tóxicos, sendo um aspecto importante a estabilidade frente a agente lixiviante. Neste estudo foi verificada a influência isolada dos metais cádmio, chumbo, cromo, cobre, níquel, zinco, manganês e cobalto adicionados a uma massa argilosa em teores de 0,3%, 1%, 3% e 10%, na forma dos respectivos óxidos, na estabilidade frente à lixiviação de amostras queimadas em três temperaturas na faixa de 650 °C a 1050 °C. Em geral o teor de metal lixiviado aumenta com o aumento do teor de óxido adicionado e diminui com o aumento da temperatura de queima, à exceção da adição de óxidos de manganês e cobalto que apresentaram um máximo a 850 °C. Estes resultados mostram que o processo de incorporação dos metais estudados às massas cerâmicas é viável para a sua estabilização, desde que sejam respeitados os teores máximos de adição e as temperaturas mínimas de sinterização.

Palavras-chave: *resíduo, reciclagem, metais tóxicos, lixiviação*

1. Introdução

Vários fatores impulsionam as indústrias a procurarem destino alternativo e seguro para seus resíduos. Alguns são: responsabilidade ambiental; elevado custo de disposição em aterros industriais; e possibilidade de transformar o resíduo em subproduto. Há vários trabalhos na literatura mostrando a viabilidade de reciclagem do resíduo no próprio processo que o originou (regeneração) ou utilizando-o como parte da matéria-prima de outros produtos^{1,2}. A possibilidade de se estabilizar quimicamente um resíduo contendo contaminantes pela sua incorporação em outros produtos também vem sendo investigada. Por ex., Bina¹ observou que a utilização de uma areia de fundição de descarte para produção de um composto asfáltico imobilizou os contaminantes manganês, ferro, alumínio e cromo. A possibilidade de se utilizar este resíduo como agregado miúdo na produção de concretos para a construção civil também vem sendo investigada³.

Os materiais cerâmicos, principalmente aqueles de cerâmica estrutural, também têm sido considerados para o encapsulamento de rejeitos com teores elevados de metais potencialmente tóxicos como o chumbo, cádmio, níquel, cromo e outros. Essa utilização tem embasamento na suposição que os compostos vítreos, ricos em metais tóxicos, que se formam durante a queima, seriam estáveis frente à lixiviação que ocorre durante a vida útil e também na condição de entulho dos materiais cerâmicos. Balaton et al.⁴ estudaram a incorporação de um resíduo galvânico em uma massa de cerâmica vermelha e observaram que as propriedades técnicas das massas praticamente não foram alteradas com a adição de 2% do resíduo lavado. No ensaio de solubilização, observaram que alumínio, cádmio, chumbo e fluoreto ficaram abaixo dos limites permitidos, entretanto, o produto apresentou teores de ferro e fenol acima dos limites permitidos. O material de controle, sem resíduo, também apresentou excesso de ferro e fenol⁴. A análise do composto fenol tem apresentado resultados controversos³.

Os estudos com resíduos industriais apresentam a dificuldade de se analisar isoladamente os efeitos de um determinado metal tóxico na estabilidade química e nas propriedades físicas de um produto de cerâmica estrutural, pois geralmente são materiais complexos contendo diversos compostos.

Neste estudo foi verificada a influência isolada dos metais cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni), zinco (Zn), manganês (Mn) e cobalto (Co) adicionados a uma massa argilosa comercial em teores variando de 0,3% a 10%, na forma dos respectivos óxidos, na estabilidade frente ao ensaio de lixiviação e nas características físicas de amostras sinterizadas na faixa de temperatura de 650 °C a 1050 °C. O presente estudo visa obter dados para a utilização, ou não, de rejeitos contendo metais tóxicos na produção de cerâmica estrutural. Em trabalho anterior⁵, foram apresentados os resultados das características físicas. Neste trabalho são apresentados os resultados do ensaio de lixiviação das amostras sinterizadas com adição de metais tóxicos.

2. Materiais e Métodos

As matérias-primas utilizadas neste trabalho foram uma massa cerâmica a base de argila produzida pela UNICER (União Cerâmica Ltda.), típica para produção de cerâmicas estruturais, e óxidos de Cd, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn, Mn e Co. Quando necessário, os óxidos foram moídos para tamanho menor que 0,075 mm (200 *mesh*). Foram preparadas misturas da massa de argila com 0,3%, 1%, 3% e 10% de cada óxido, que foram homogeneizadas por 24 horas em moinho de bolas. As misturas com 10% de água foram prensadas uniaxialmente em prensa manual, sob pressão de 200 kgf/cm² (19,6 MPa), utilizando moldes de aço. Foram produzidos corpos-de-prova na forma de prisma reto com dimensões de 6,0 x 2,0 x 0,5 cm³ e na forma cilíndrica com diâmetro de 5,0 cm e altura variando entre 3,0 e 5,0 cm. Os corpos-de-prova foram sinterizados em forno elétrico com patamar de 3 horas, em três diferentes temperaturas, sendo que todas as misturas foram sinterizadas a 650 °C e 850 °C e a maior temperatura de sinterização variou conforme o óxido: 950 °C para os corpos-de-prova com óxidos de Cd e Cu, 1000 °C para os corpos com óxidos de Pb e Mn e 1050 °C para os corpos com óxidos de Cr, Ni, Zn e Co. Maiores detalhes relativos às matérias-primas e

o processamento dos corpos-de-prova podem ser encontrados em trabalho anterior⁵.

O ensaio de lixiviação foi realizado conforme norma ABNT NBR 10005⁶, usando como agente lixiviante uma solução de ácido acético glacial P.A. 0,5 N (Química Especializada Erich Ltda., com teor em CH₃COOH mínimo de 99,7%). Inicialmente os corpos-de-prova foram reduzidos até partículas abaixo de 9,5 mm (peneira ABNT 3/8⁷) e todo o material, inclusive os finos, participou da lixiviação. Após quarteamento o mesmo foi pesado em alíquotas de 100 g. Para efetuar a lixiviação foi adicionada água deionizada ao material em estudo, na proporção de 16:1. O pH foi ajustado com ácido acético e então iniciada a agitação em aparelho do tipo gira-potes com rotação de ~ 25 rpm. O pH foi corrigido em torno de 5,0 ± 0,2 aos 15, 30 e 60 minutos, de agitação, quando necessário. Após a correção do pH foi iniciada a contagem de tempo do ciclo de forma a totalizar 24 horas sendo que, nas últimas 4 horas, o pH foi controlado de hora em hora e ajustado quando preciso. Após a realização do ciclo, os potes foram deixados em repouso para decantação e em seguida foi feita a filtração a vácuo da mistura em duas etapas: inicialmente com filtro tipo Buchner utilizando papel de filtro nº 42 de filtração lenta, e em seguida em filtro Millipore com membrana de 0,45 µm de abertura para obtenção do líquido denominado como lixiviado. Após a filtração, o líquido lixiviado foi acondicionado em pote plástico, acidificado com ácido acético para um pH de ~ 3 para evitar a formação de fungos antes da realização da análise química. Os líquidos lixiviados foram submetidos à análise química para determinação do teor de metal (correspondente ao óxido metálico adicionado na massa), pela técnica de espectrometria de plasma-ICP (SPS 1700R, Seiko).

Dentre os metais investigados neste trabalho, Cd, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn, Mn e Co, a norma ABNT NBR 10004⁷ especifica limites máximos toleráveis no líquido lixiviado apenas para os elementos Cd, Pb e Cr. Como referência para os metais Cu, Ni, Zn e Mn foram utilizados os limites estabelecidos para a emissão de efluentes especificados no Decreto Estadual 8.468⁸. Não foi encontrada especificação de valor limite para o Co. A Tabela 1 apresenta estes limites, que serão utilizados como referência nas análises dos resultados de lixiviação deste trabalho.

Tabela 1. Valores limites especificados dos elementos Cd, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn, Mn e Co no ensaio de lixiviação segundo ABNT NBR 10004⁷ e para emissão de efluentes segundo Decreto 8.468⁸.

Elemento	NBR 10004 (mg/L)	Decreto 8.468 (mg/L)
Cd	0,5	0,2
Pb	5,0	0,5
Cr	5,0	5,0
Cu	ne	1,0
Ni	ne	2,0
Zn	ne	5,0
Mn	ne	1,0
Co	ne	ne

Nota: (ne) – não especificado.

3. Resultados e Discussão

A Figura 1 apresenta os teores determinados do elemento metálico antes e após a sinterização dos corpos cerâmicos preparados com os correspondentes óxidos em função da temperatura de sinterização e do teor de óxido adicionado. Em geral não se observou variação significativa do teor de metal adicionado em decorrência do processo de sinterização dos corpos-de-prova, à exceção do Cd que apresentou pequena perda, principalmente os corpos-de-prova com adição de 3% e 10% de óxido de Cd. Os teores de óxidos médios calculados nas amostras sinterizadas nas três temperaturas são apresentados na Tabela 2. As diferenças destes teores em relação aos respectivos teores nominais estão relacionadas à pureza química e, provavelmente, ao estado de oxidação dos produtos óxidos utilizados.

Os corpos cerâmicos preparados com a massa de argila, sem adição de óxido metálico, sinterizados entre 650 °C e 1050 °C, foram submetidos ao ensaio de lixiviação para se obter os resultados de controle (branco). Os teores detectados de Cd, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn e Mn foram bem inferiores (pelo menos uma ordem de grandeza menor) aos limites especificados da Tabela 1 e o teor de Co foi inferior ao limite de detecção da análise (0,02 mg/L).

A Figura 2a apresenta os resultados do teor de Cd lixiviado das amostras sinterizadas entre 650 °C e 950 °C com diferentes teores de óxido de Cd. Os teores de Cd detectados variaram entre 0,23 e 135 mg/L. O teor de Cd lixiviado diminuiu com o aumento da temperatura de sinterização, com diminuição acentuada na passagem de 650 °C para 850 °C, principalmente nas amostras com 3% e 10% de óxido de Cd. Apesar desta forte redução, as amostras com 3% e 10% de óxido de Cd apresentaram teores lixiviados acima do limite da NBR 10004 (0,5 mg/L) mesmo na temperatura de sinterização de 950 °C. A amostra com 1% de óxido de Cd também apresentou teores lixiviados de Cd acima do limite da NBR 10004, mas na temperatura de sinterização de 950 °C o teor detectado foi próximo do limite, o que indica que uma temperatura maior de queima poderia estabilizar este teor adicionado de óxido de Cd. A amostra com 0,3% de óxido de Cd apresentou a 650 °C teor de Cd ligeiramente maior do que o limite da NBR 10004 e a partir de 850 °C apresentou teor inferior ao do limite. Os resultados mostram que a incorporação de Cd na massa cerâmica deve ser realizada em quantidade pequena com controle da temperatura de sinterização. Nas condições deste trabalho o máximo a ser incorporado é de 0,3% de óxido de Cd, com temperatura mínima de sinterização de 850 °C, segundo o limite de Cd lixiviado da NBR 10004 (0,5 mg/L). A Figura 2b apresenta os resultados do teor de Pb lixiviado das amostras sinterizadas entre 650 °C e 1000 °C com diferentes teores de óxido de Pb. Os teores de Pb detectados variaram entre < 0,05 e 10,3 mg/L. Em geral, o teor de Pb lixiviado diminuiu com o aumento da temperatura de sinterização, com diminuição acentuada na passagem de 650 °C para 850 °C, principalmente nas amostras com 3% e 10% de óxido de Pb. Com esta redução, as amostras com 3% e 10% de óxido de Pb, que apresentaram teor lixiviado acima do limite da NBR 10004 (5 mg/L) a 650 °C, passaram a apresentar teor lixiviado abaixo deste limite a partir de 850 °C, e a 1000 °C apresentaram teor lixiviado de 0,5 mg/L ou menos. As amostras com 0,3% e 1% de óxido de Pb apresentaram teor de Pb lixiviado bem abaixo do limite da NBR 10004 em toda a

Tabela 2. Teores de óxidos médios nas amostras sinterizadas nas três temperaturas.

Nominal	CdO	PbO	Cr ₂ O ₃	CuO	NiO	ZnO	MnO	CoO
0,3%	0,24 ± 0,04	0,27 ± 0,02	0,21 ± 0,06	0,28 ± 0,02	0,28 ± 0,04	0,31 ± 0,07	0,32 ± 0,04	0,23 ± 0,02
1%	0,80 ± 0,13	0,83 ± 0,04	0,84 ± 0,03	0,98 ± 0,05	0,93 ± 0,13	0,99 ± 0,01	0,95 ± 0,13	0,81 ± 0,03
3%	2,21 ± 0,36	2,47 ± 0,03	2,66 ± 0,18	3,13 ± 0,05	2,61 ± 0,04	3,19 ± 0,10	2,50 ± 0,05	2,53 ± 0,08
10%	8,67 ± 0,51	8,74 ± 0,21	9,14 ± 0,46	10,08 ± 0,08	9,13 ± 0,16	8,58 ± 0,22	8,64 ± 0,26	8,12 ± 0,01

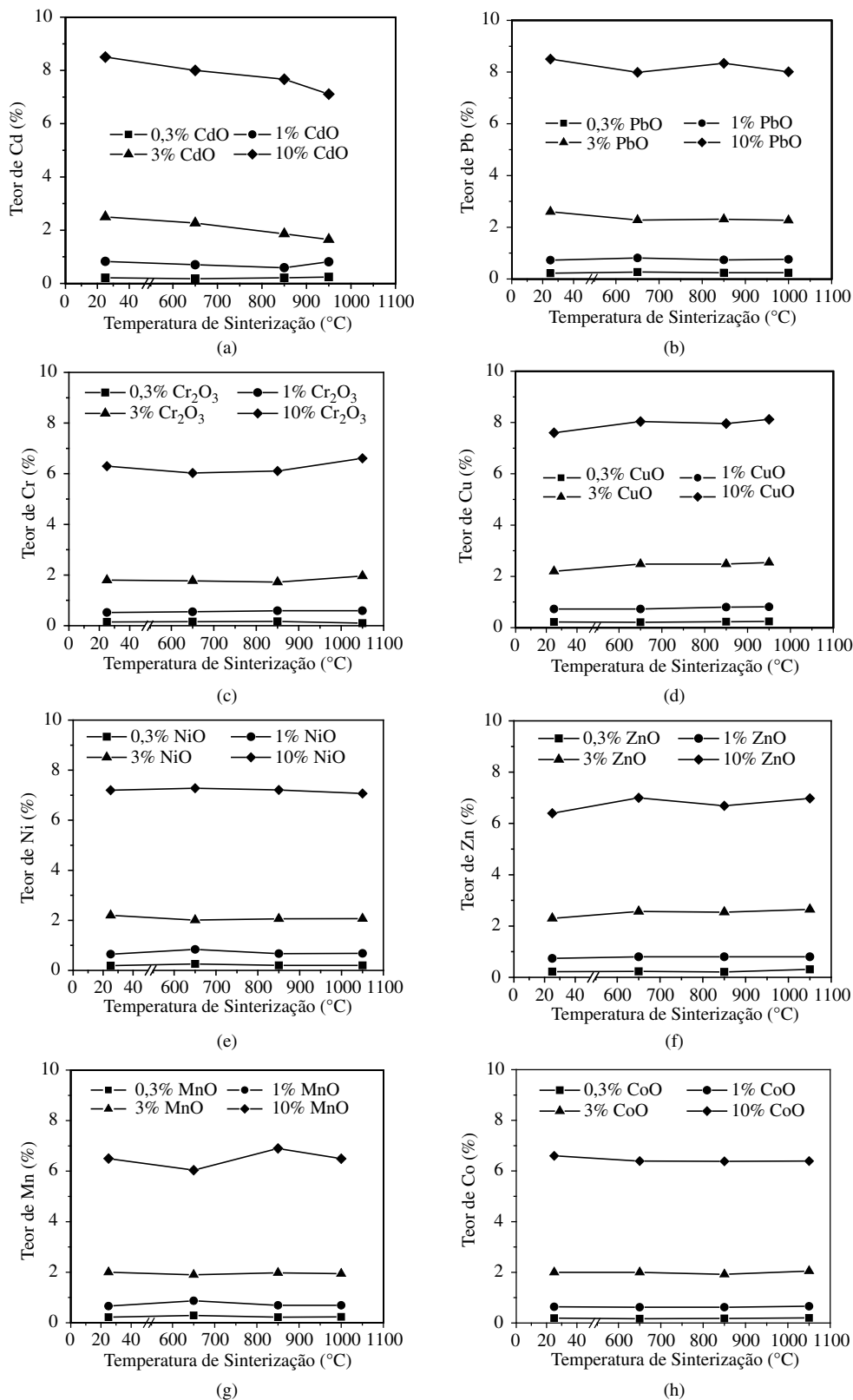


Figura 1. Teores dos elementos a) Cd; b) Pb; c) Cr; d) Cu; e) Ni; f) Zn; g) Mn; e h) Co presentes nos corpos-verdes e corpos sinterizados preparados com os correspondentes óxidos.

faixa de temperatura de sinterização estudada (650 °C a 1000 °C). Os resultados mostram que a incorporação de Pb na massa cerâmica pode ser realizada em altos teores desde que haja um controle da temperatura de sinterização. Nas condições deste trabalho o máximo

a ser incorporado pode ser de 10% de óxido de Pb, com temperatura mínima de sinterização de 850 °C, segundo o limite de Pb lixiviado da NBR 10004 (5 mg/L).

A Figura 2c apresenta os resultados do teor de Cr lixiviado das

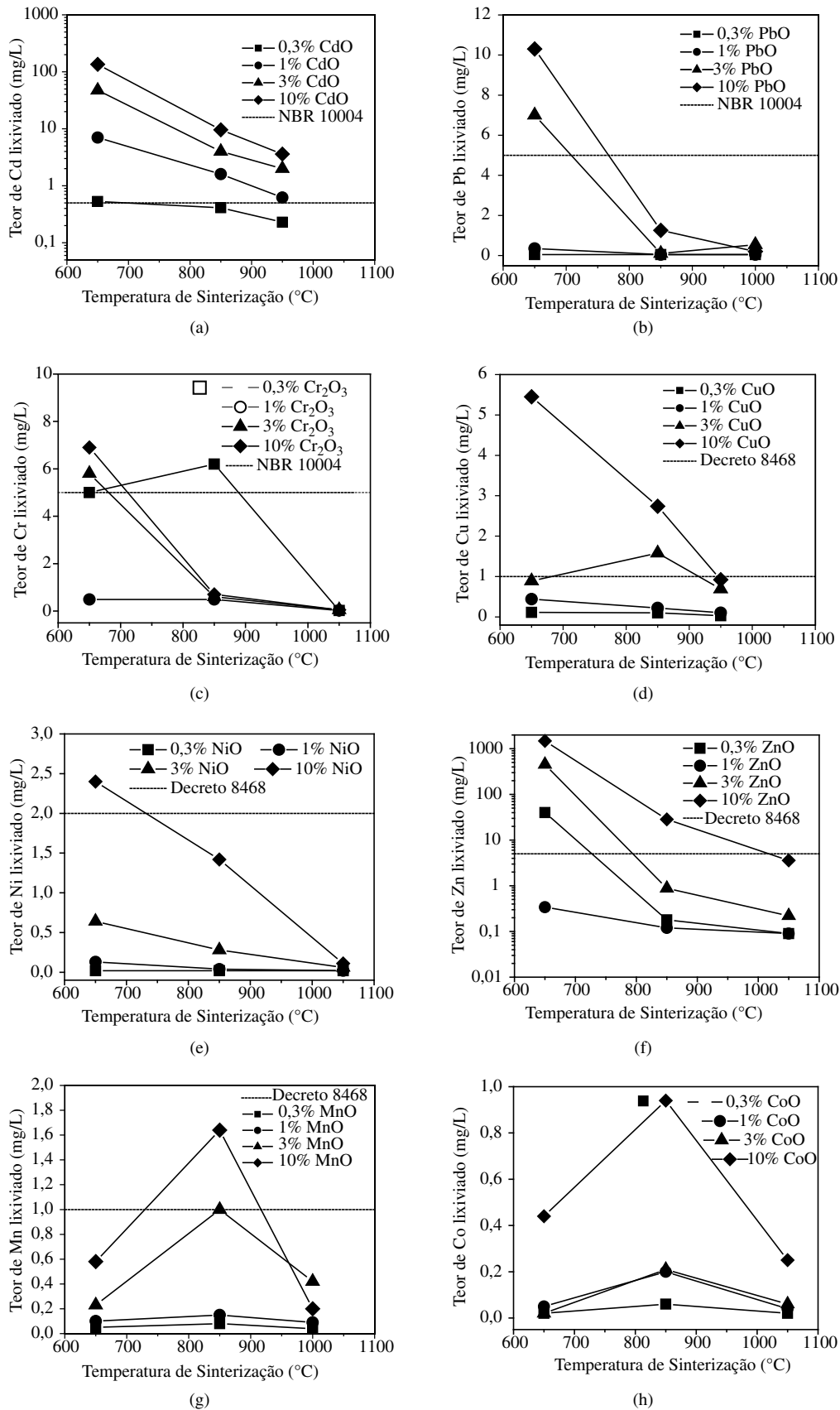


Figura 2. Resultados do ensaio de lixiviação em função da temperatura de sinterização e do teor adicionado de óxido: a) Cd; b) Pb; c) Cr; d) Cu; e) Ni; f) Zn; g) Mn; e h) Co. Nota: nos gráficos a) e f), a ordenada é apresentada em escala logarítmica.

amostras sinterizadas entre 650 °C e 1050 °C com diferentes teores de óxido de Cr. Os teores de Cr detectados variaram entre < 0,05 e 6,9 mg/L. Os resultados com diferentes teores de óxido de Cr foram ambíguos. A amostra com 0,3% de óxido de Cr apresentou teor de Cr lixiviado abaixo do limite da NBR 10004 (5 mg/L) somente após sinterização a 1050 °C, enquanto a amostra com 1% de óxido de Cr apresentou teores abaixo do limite em toda a faixa de temperatura de sinterização estudada (650 °C a 1050 °C). As amostras com 3% e 10% de óxido de Cr apresentaram teores acima do limite da NBR 10004 quando sinterizadas a 650 °C, mas a partir de 850 °C tiveram forte redução do teor de Cr lixiviado apresentando valores bem inferiores ao limite. Estes resultados foram confirmados com a repetição dos ensaios de lixiviação e das análises químicas. Os resultados indicam um processo complexo na incorporação de Cr na massa cerâmica. Os resultados sugerem que a adição menor que 1% de óxido de Cr só pode ser realizada quando a massa é sinterizada em elevada temperatura (1050 °C), enquanto a adição entre 1% e 10% de óxido de Cr pode ser realizada quando a massa é sinterizada a 850 °C ou acima, segundo o limite de Cr lixiviado da NBR 10004 (5 mg/L).

A Figura 2d apresenta os resultados do teor de Cu lixiviado das amostras sinterizadas entre 650 °C e 950 °C com diferentes teores de óxido de Cu. Os teores de Cu detectados variaram entre 0,03 e 5,45 mg/L. Em geral, o teor de Cu lixiviado diminuiu com o aumento da temperatura de sinterização, com exceção da amostra com 3% de óxido de Cu que apresentou um máximo a 850 °C. A Norma NBR 10004 não apresenta teor limite de Cu lixiviado. Com relação ao limite do Decreto 8.468 (1 mg/L), as amostras com 0,3% e 1% de óxido de Cu apresentaram teores de Cu lixiviado bem abaixo do limite em toda a faixa de temperatura de sinterização (650 °C a 950 °C), a amostra com 3% de óxido de Cu apresentou teores inferiores quando sinterizada a 650 °C e 950 °C, mas não a 850 °C, e a amostra com 10% de óxido de Cu apresentou teor inferior ao limite somente quando sinterizada a 950 °C. Nas condições deste trabalho, considerando o limite do Decreto 8.468 (1 mg/L), a incorporação de Cu na massa cerâmica pode ser realizada com até 1% de óxido de Cu em temperatura de sinterização a partir de 650 °C e até 10% de óxido de Cu em temperatura de sinterização a partir de 950 °C.

A Figura 2e apresenta os resultados do teor de Ni lixiviado das amostras sinterizadas entre 650 °C e 1050 °C com diferentes teores de óxido de Ni. Os teores de Ni detectados variaram entre < 0,02 e 2,4 mg/L. Em geral, o teor de Ni lixiviado diminuiu com o aumento da temperatura de sinterização. A Norma NBR 10004 não apresenta teor limite de Ni lixiviado. Com relação ao limite do Decreto 8.468 (2 mg/L), as amostras com 0,3%, 1% e 3% de óxido de Ni apresentaram teores de Ni lixiviado abaixo do limite em toda a faixa de temperatura de sinterização (650 °C a 1050 °C), e a amostra com 10% de óxido de Ni apresentou teor acima do limite quando sinterizada a 650 °C e teores inferiores quando sinterizada a 850 °C e 1050 °C. Nas condições deste trabalho, considerando o limite do Decreto 8.468 (2 mg/L), a incorporação de Ni na massa cerâmica pode ser realizada com até 10% de óxido de Ni, quando a sinterização for realizada em temperatura de pelo menos 850 °C.

A Figura 2f apresenta os resultados do teor de Zn lixiviado das amostras sinterizadas entre 650 °C e 1040 °C com diferentes teores de óxido de Zn. Os teores de Zn detectados variaram entre 0,09 e 1479 mg/L. O teor de Zn lixiviado diminuiu com o aumento da temperatura de sinterização, com diminuição acentuada na passagem de 650 °C para 850 °C, principalmente nas amostras com 3% e 10% de óxido de Zn. Com esta redução, as amostras com 0,3% e 3% de óxido de Zn, que apresentaram teor lixiviado acima do limite do Decreto 8.468 (5 mg/L) a 650 °C, passaram a apresentar teor lixiviado abaixo do limite a partir de 850 °C. A amostra com 1% de óxido de Zn apresentou teores de Zn lixiviado abaixo do

limite em toda a faixa de temperatura de sinterização (650 °C a 1050 °C), enquanto a amostra com 10% de óxido de Zn apresentou teor abaixo do limite somente a 1000 °C. Nas condições deste trabalho, considerando o limite do Decreto 8.468 (5 mg/L), a incorporação de Zn na massa cerâmica pode ser realizada com teor de até 3% de óxido de Zn em temperatura de sinterização a partir de 850 °C e até 10% de óxido de Zn quando a sinterização for realizada em temperatura de 1000 °C.

A Figura 2g apresenta os resultados do teor de Mn lixiviado das amostras sinterizadas entre 650°C e 1000°C com diferentes teores de óxido de Mn. Os teores de Mn detectados variaram entre 0,04 e 1,64 mg/L. O teor de Mn lixiviado apresentou um máximo na temperatura de 850 °C. Este resultado indica que pode haver mudança de mecanismo de lixiviação do Mn quando a temperatura de sinterização varia de 650 °C para 850 °C. A Norma NBR 10004 não apresenta teor limite de Mn lixiviado. Com relação ao limite do Decreto 8.468 (1 mg/L), as amostras com 0,3% e 1% de óxido de Mn apresentaram teores de Mn lixiviado abaixo do limite em toda a faixa de temperatura de sinterização (650 °C a 1000 °C), a amostra com 3% de óxido de Mn apresentou teores abaixo do limite nas temperaturas de sinterização de 650 °C e 1000 °C e valor igual ao do limite a 850 °C e a amostra com 10% de óxido de Mn apresentou teores abaixo do limite a 650 °C e 1000 °C e valor maior ao do limite a 850 °C. Nas condições deste trabalho, considerando o limite do Decreto 8.468 (1 mg/L), a incorporação de Mn na massa cerâmica pode ser realizada com teor de óxido de Mn menor do que 3% em temperatura de sinterização a partir de 650 °C, e acima de 3% até 10% de óxido de Mn quando a sinterização for realizada em temperatura de 1000 °C.

A Figura 2h apresenta os resultados do teor de Co lixiviado das amostras sinterizadas entre 650 °C e 1050 °C com diferentes teores de óxido de Co. Os teores de Co detectados variaram entre < 0,02 e 0,94 mg/L. O teor de Co lixiviado apresentou um máximo na temperatura de 850 °C. Como no caso da adição de óxido de Mn (Figura 2g), este resultado indica que pode haver mudança de mecanismo de lixiviação do óxido de Co quando a temperatura de sinterização varia de 650 °C para 850 °C. A Norma NBR 10004 e o Decreto 8.468 não apresentam teor limite de Co. Os teores de Co detectados foram inferiores a 1 mg/L em todas as condições estudadas e, com exceção da amostra com 10% de óxido de Co sinterizada a 850 °C, as demais apresentaram teores lixiviados inferiores a 0,5 mg/L.

A análise comparativa entre os resultados de lixiviação dos corpos cerâmicos com adição de Cd, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn, Mn e Co, sinterizados entre 650 °C e 1050 °C, mostrou algumas tendências comuns. Em geral o teor de metal lixiviado aumenta com o aumento do teor de óxido adicionado e diminui com o aumento da temperatura de sinterização, à exceção da adição de óxido de Mn e óxido de Co que apresentaram um máximo a 850 °C. Os resultados mostraram que o processo de incorporação de metais tóxicos às massas cerâmicas é viável para a estabilização destes metais, desde que sejam respeitados os teores máximos de adição e as temperaturas mínimas de queima.

Ressalta-se que os limites de teor de óxido e temperatura de queima estabelecidos acima devem ser entendidos como valores relativos e restringem-se, em princípio, às condições deste trabalho. Os resultados servem como uma base de informações para se antever aproximadamente as condições de incorporação, mas os limites devem ser estabelecidos para cada resíduo e nas condições de processamento do produto cerâmico.

Os resultados das características físicas das amostras sinterizadas com os diversos óxidos foram apresentados em trabalho anterior⁵, onde se observou que a tensão de ruptura à flexão, a massa específica aparente, a variação linear dimensional, a absorção de água e a porosidade aparente variaram significativamente, em geral, acima da temperatura de sinterização de 850 °C. Esta tendência difere

da tendência deste estudo de lixiviação, que apresentou, em geral, variação significativa dos teores lixiviados entre 650 °C e 850 °C. A comparação entre estas tendências indica que a estabilização dos metais na lixiviação é pouco influenciada pelas características físicas dos corpos cerâmicos, sendo determinada principalmente pela temperatura de sinterização.

4. Conclusões

Neste estudo foi verificada a influência isolada dos metais Cd, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn, Mn e Co adicionados a uma massa argilosa em teores de 0,3%, 1%, 3% e 10%, na forma dos respectivos óxidos, na estabilidade frente à lixiviação de amostras sinterizadas em três temperaturas na faixa de 650 °C a 1050 °C. Os resultados de lixiviação de Cd, Pb e Cr foram avaliados conforme os limites estabelecidos na Listagem nº 7 da norma ABNT NBR 10004⁷, enquanto os resultados de Cu, Ni, Zn e Mn foram avaliados conforme os limites estabelecidos para a emissão de efluentes especificados no Artigo 18 do Decreto Estadual 8.468⁸.

Em geral o teor de metal lixiviado aumenta com o aumento do teor de óxido adicionado e diminui com o aumento da temperatura de sinterização, à exceção da adição de óxidos de Mn e Co que apresentaram um máximo a 850 °C. Os resultados mostraram que o processo de incorporação dos metais Cd, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn, Mn e Co às massas cerâmicas é viável para a estabilização destes metais, desde que sejam respeitados os teores máximos de adição e as temperaturas mínimas de sinterização.

A comparação entre as tendências dos resultados de lixiviação e das características físicas em função da temperatura de sinterização indica que a estabilização dos metais na lixiviação é pouco influenciada pelas características físicas dos corpos cerâmicos, sendo determinada principalmente pela temperatura de sinterização.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Secretaria da Ciência, Tecnologia, Desenvolvimento Econômico e Turismo do Estado de São Paulo – SCTDET-

SP pelo financiamento para a realização desta pesquisa (Proc. SCTDE nº 123/01). Os autores agradecem também à colaboração de Debora Corvello e Gláucio I. Horita, nas etapas de preparação de amostras e lixiviação, e Rosana A. Hoshino, pelas análises químicas.

Referências

1. Bina, P. **Metodologia de utilização de rejeitos industriais na pavimentação: estudo de caso de uso de areia de fundição**. 2002. 124 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Habitação) - Centro de Aperfeiçoamento Tecnológico, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2002.
2. Fernandes, P. F.; Oliveira, A. P. N.; Hotza, D. Reciclagem do lodo da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de revestimentos cerâmicos. Parte 1: Ensaios laboratoriais. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 26-34, mar./abr. 2003. Parte 2: Ensaios Industriais. **Cerâmica Industrial**, v. 8, n. 4, p. 26-32, jul./ago. 2003.
3. Castro, P. R. F. **Estudo de viabilidade técnica para o emprego de areia de fundição de descarte como agregado miúdo na produção de concreto**. 2003. 115 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Habitação) - Centro de Aperfeiçoamento Tecnológico, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2003.
4. Balaton, V. T.; Gonçalves, P. S.; Ferrer, L. M. Incorporação de resíduos sólidos galvânicos em massas de cerâmica vermelha. **Cerâmica Industrial**, v. 7, n. 6, p. 42-45, 2002.
5. Camargo, A. C.; Portela, J. C. S.; Yoshimura, H. N. Adição de metais tóxicos a massas cerâmicas e avaliação de sua estabilidade frente a agente lixivante. Parte 1: Avaliação das características físicas. **Cerâmica Industrial**, v. 10, n. 2, p. 39-46, mar./abr. 2005.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005**: Lixiviação de resíduos – Procedimento. Rio de Janeiro, 1987. 10 p.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 1987. 63 p.
8. BRASIL. Decreto nº. 8.468 de 8 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei nº. 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio-ambiente. **Lex**: Legislação Estadual, São Paulo, p. 460-505, 1976.