

Utilização de Lodo Galvânico como Matéria-prima em Cerâmica Vermelha e Caracterização dos Corpos Cerâmicos Obtidos quanto a Propriedades Tecnológicas e a Imobilização de Metais

A. C. Teloeken^a, D. L. Villanova^b, T. M. Basegio^a, C. P. Bergmann^{a*}

^aLaboratório de Materiais Cerâmicos – LACER,

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS,

Av. Prof. Osvaldo Aranha, 99, Sala 705, Porto Alegre - RS, Brasil

^bInstituto Federal do Rio Grande do Sul – IFRS, Campus de Farroupilha,

Av. São Vicente, 785, Farroupilha - RS, Brasil

*e-mail: bergmann@ufrgs.br

Resumo: Este trabalho teve como objetivo investigar a possibilidade de obtenção de cerâmica convencional à base de argila com adição de lodo galvânico, vidro sodocálcico ou borossilicato. Inicialmente, adicionou-se teores crescentes de lodo galvânico à argila, a saber 2, 5, 10 e 15%. Os corpos de prova foram queimados a 900, 1000 e 1100 °C, respectivamente. Posteriormente, as formulações foram analisadas com a adição de 5 e 10% de lodo e com teores de 5, 10 e 15% para ambos os tipos de vidros. Estas formulações foram queimadas a 1000 °C. Os corpos cerâmicos foram obtidos por prensagem uniaxial e caracterizados após a queima quanto à resistência mecânica, absorção de água e retração linear. Além disso, a imobilização de elementos perigosos presentes no lodo foi avaliada por testes de lixiviação e solubilização. Observou-se uma melhoria nas propriedades mecânicas com a adição de vidro, especialmente com a adição de vidro borossilicato. Além disso, os ensaios de lixiviação e solubilização mostraram que a adição crescente de vidro levou a uma redução dos metais pesados analisados nos extratos do lixiviado e do solubilizado.

Palavras-chave: *resíduos, lodo galvânico, materiais cerâmicos, vidro sodocálcico, vidro borossilicato.*

1. Introdução

O desenvolvimento industrial ao longo das últimas décadas tem gerado grandes quantidades de resíduos tóxicos, como por exemplo, cinzas volantes de usinas termoeletricas, escória metalúrgica, materiais que contenham amianto e argila de diferentes origens. A contaminação do solo por produtos químicos e metais pesados, como Pb, Cr, Zn, Cu, Cd e Hg, muitas vezes é outro grave problema ambiental¹.

Os regulamentos sobre resíduos sólidos estão se tornando cada vez mais exigentes, portanto a deposição em aterros com elevado teor de matéria orgânica e substâncias tóxicas está cada vez mais rigorosa nos países europeus².

Uma das maiores preocupações nos países desenvolvidos, tanto do ponto de vista ambiental e econômico, é o tratamento de quantidades crescentes de resíduos, quer de origem industrial ou urbana. Portanto, existe uma crescente busca por metodologias de valorização e reciclagem desses resíduos, que devem ser economicamente viáveis e de extrema importância, a fim de contribuir para um desenvolvimento sustentável. Este fato também é suportado por vários fatores, tais como a escassez de fontes de matérias-primas, a falta de espaço disponível para a eliminação de aterros de resíduos e os elevados custos de deposição em aterro^{3,4}.

A galvanoplastia, é uma tecnologia amplamente expandida para o tratamento de superfícies de metal. O princípio da galvanização consiste na formação de uma fina camada de metal em um objeto que está sendo banhado por meio da ação de corrente contínua em uma solução eletrolítica contendo cátions do metal usado. Os metais geralmente utilizados para produzir revestimentos galvanizados são Cr, Sn, Cu, Zn, Ni, Pb, Cd e Fe; e para fins especiais, Ag, Au e Pt. Sabe-se que a galvanização é uma importante fonte potencial de poluição ambiental que representa os resíduos perigosos, os quais

devem ser estabilizados antes da deposição em aterro a fim de evitar a liberação de poluentes presentes no meio ambiente⁵.

A vitrificação é amplamente aceita como um processo seguro no tratamento de resíduos perigosos no momento que imobiliza os mesmos, evitando assim a lixiviação. Este processo promove a imobilização dos metais pesados na rede de vidro e uma redução drástica do volume, que pode atingir um valor entre 70 e 90%^{1,6}.

Vários autores têm demonstrado que o processo de vitrificação, bem como as técnicas como a solidificação e estabilização podem ser utilizadas para reciclar resíduos diferentes, tais como resíduos radioativos⁷; cinzas do processo de incineração⁸⁻¹⁰; resíduos de galvanização¹¹; lodo gerado através do corte de pedra¹²; resíduos ricos em ferro provenientes de processos hidrometalúrgicos¹³; cinzas de carvão¹⁴⁻¹⁶; cinzas¹⁷⁻²⁰; resíduos de aciaria contendo Zn, Pb, Cd, Ni e Cr que foram misturados com argilas para a obtenção do chamado “tijolo ecológico”²¹; incorporação de lodo gerado em uma estação de tratamento de água em cerâmica vermelha²²; efeito dos resíduos de boro sobre as propriedades da argamassa e betão²³; incorporação de resíduos de lamas de aço fina em argila caulinitica utilizada para fabricação de tijolos e telhas²⁴. Assim, devido às características do lodo de galvanização, o processo de vitrificação aparece como uma alternativa para o seu tratamento. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência dos resíduos de galvanoplastia em corpos cerâmicos e suas propriedades tecnológicas, que são baseados na tecnologia de tratamento de resíduos sólidos.

2. Materiais e Métodos

2.1. Materiais

Os materiais utilizados foram:

- Lodo de galvanoplastia (L): o lodo utilizado foi resultante do processo de galvanoplastia do município de Guaporé - RS.
- Argila vermelha (A): a argila vermelha foi proveniente da região de Nova Santa Rita, RS.
- Vidro sodocálcico (VS): foi empregado um vidro sodocálcico proveniente de embalagens de bebidas.
- Vidro borossilicato (VB): foi empregado um vidro borossilicato proveniente de recipientes de laboratório.

Os materiais foram caracterizados quanto à composição química por fluorescência de raios-X. Os resultados são apresentados na Tabela 1 e são dados em óxidos. O lodo tem Cr, Pb e Cd, que, entre outros elementos, levam à sua classificação como “resíduos perigosos”.

2.2. Metodologia

Inicialmente, a matéria-prima foi seca em estufa elétrica a 110 ± 5 °C para remover a umidade residual, e depois moída em um moinho planetário até que 100% fosse passante através da peneira 80 da ABNT (180 μ m).

O trabalho experimental foi realizado em duas etapas: i) desenvolvimento de formulações com lodo (L) e argila vermelha (A), queimadas nas temperaturas de 900, 1000 e 1100 °C, conforme mostrado na Tabela 2; ii) desenvolvimento de formulações com 5 e 10% em peso de lodo, argila, vidro sodocálcico (VS) ou vidro

Tabela 1. Composição química por fluorescência de raios X do lodo galvânico, da argila vermelha, do vidro sodocálcico e borossilicato.

Óxidos	Lodo (%)	Argila (%)	VS (%)	VB (%)
SiO ₂	-	67,54	70,24	73,42
Al ₂ O ₃	49,862	13,28	1,62	2,48
Fe ₂ O ₃	0,2207	4,95	0,64	0,09
MnO	-	0,04	0,06	-
MgO	0,1817	2,6	1,11	3,65
CaO	0,1873	0,29	12,95	3,11
Na ₂ O	49,244	0,2	12,48	7,84
K ₂ O	2,747	2,76	0,71	0,89
TiO ₂	-	0,64	0,1	-
P ₂ O ₅	-	0,03	0,05	-
SO ₂	0,6362	-	-	-
SnO ₂	0,5754	-	-	-
P ₂ O ₅	0,5715	-	-	-
Se	0,0099	-	-	-
I	0,053	-	-	-
CO	3,655	-	-	-
Cr ₂ O ₃	0,0516	-	-	-
CuO	15,52	-	-	-
NiO	0,5093	-	-	-
PbO	0,0406	-	-	-
Cl	2,434	-	-	-
ZnO	8,305	-	-	-
O ₂	50,902	-	-	-
B ₂ O ₃	-	-	-	6,93
Perda ao fogo	33,54	8,17	-	-

borossilicato (VB), as quais foram queimadas a 1000 °C, conforme mostrado na Tabela 3. A adição de lodo e argila, assim como a temperatura de queima foram definidas de acordo com os resultados obtidos na etapa anterior.

Todas as formulações testadas foram prensadas a 40 MPa e queimadas por 2 horas, com taxa de aquecimento de 150 °C/h. Os corpos cerâmicos foram caracterizados com relação à absorção de água, retração linear e resistência mecânica à flexão.

A absorção de água foi medida usando o método de Arquimedes de acordo com as normas ASTM C-373/94-88 (porosidade) e ASTM C-134/95 (densidade aparente)^{25,26}. A retração linear foi determinada pela diferença do comprimento da barra de teste antes e após a queima²⁷. A resistência mecânica foi determinada pelo teste de flexão à quatro pontos utilizando uma máquina universal, de acordo com as especificações ASTM C-773/94-88²⁸. A imobilização de elementos como Cr, Pb e Cd foram analisados pelos testes de lixiviação de acordo com as normas técnicas brasileiras NBR 10004 e 10005^{29,30}.

3. Resultados

As Figuras 1, 2 e 3 mostram o efeito da retração linear, absorção de água e resistência mecânica, respectivamente, em função da adição de lodo e temperatura de queima para as formulações investigadas. Como esperado, houve um aumento da retração linear com o aumento da temperatura de queima. O aumento da quantidade de lodo também contribuiu para uma maior retração, com exceção das formulações queimadas a 900 °C. A maior retração foi observada nas formulações com 10 e 15% de lodo. Quanto à absorção de água, houve uma redução com o aumento da temperatura de queima. Na temperatura de 900 °C, observou-se uma redução da absorção para as formulações com 10 e 15% de lodo. Em 1000 °C, o aumento do teor de resíduos levou a uma redução da absorção de água. Já em 1100 °C, a menor absorção de água observada foi de aproximadamente 2,5%, com a adição de 10% de lodo.

Considerando a resistência mecânica, o melhor resultado foi obtido para a formulação com adição de 15% de lodo, queimados a 1000 °C, com valores em torno de 15,5 MPa. Em temperaturas de queima mais

Tabela 2. Formulações desenvolvidas com lodo galvânico e argila vermelha.

Formulações	Lodo (%)	Argila (%)
Argila	-	100
2L98A	2	98
5L95A	5	95
10L90A	10	90
15L85A	15	85

Tabela 3. Formulações desenvolvidas com lodo galvânico, argila e vidro.

Formulações	Lodo (%)	Argila (%)	VS (%)	VB (%)
10L5VS	10	85	5	-
10L10VS	10	80	10	-
10L15VS	10	75	15	-
15L5VS	15	80	5	-
15L10VS	15	75	10	-
15L15VS	15	70	15	-
10L5VB	10	85	-	5
10L10VB	10	80	-	10
10L15VB	10	75	-	15
15L5VB	15	80	-	5
15L10VB	15	75	-	10
15L15VB	15	70	-	15

baixas, os resultados não foram significativos. Os resultados obtidos na temperatura de queima mais elevada indicaram um efeito de fusão em alguns dos óxidos. Nessa temperatura, não foi susceptível uma fusão parcial do lodo galvânico, o qual preencheria parte da porosidade residual, contribuindo para um aumento da resistência mecânica e consequentemente uma redução da absorção de água.

Os corpos cerâmicos queimados a 1100 °C, com 15% de lodo sofreram uma forte deformação física, o que impossibilitou a avaliação de sua resistência mecânica.

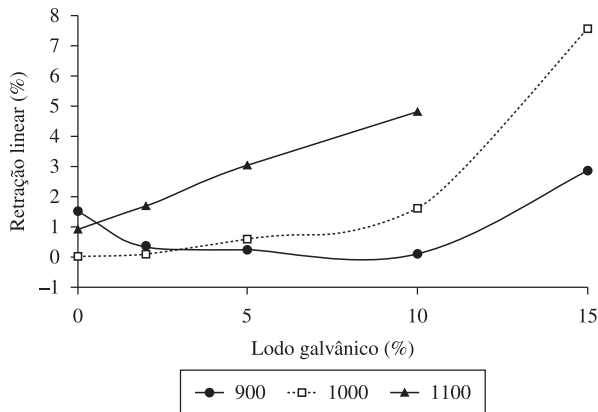


Figura 1. Retração linear dos corpos cerâmicos em função da adição de lodo galvânico e da temperatura de queima.

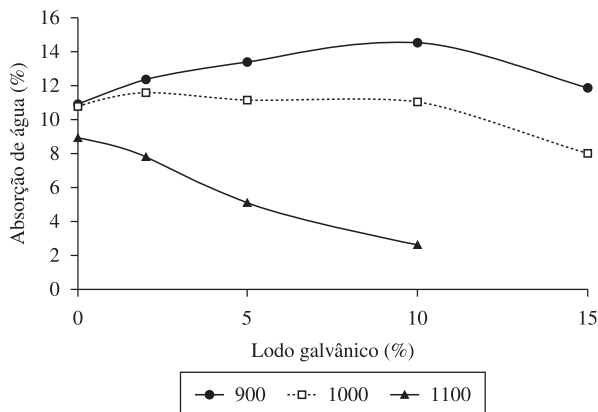


Figura 2. Absorção de água dos corpos cerâmicos em função da adição de lodo galvânico e da temperatura de queima.

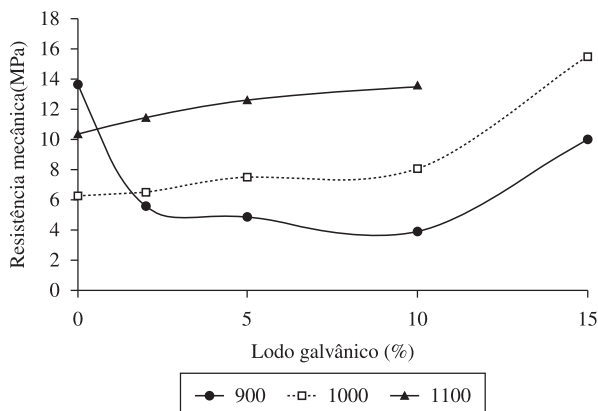


Figura 3. Resistência mecânica dos corpos cerâmicos em função da adição de lodo galvânico e da temperatura de queima.

Os resultados apresentados nas Figuras 4, 5 e 6 mostram a influência da adição de vidro sobre as propriedades mecânicas. Observou-se um aumento na retração linear com o aumento da adição de vidro para as formulações com vidro borossilicato. No entanto, houve uma redução para as formulações com 15% de lodo, enquanto que para as formulações com 10% de lodo a adição de vidro não mostrou alterações significativas. Quanto à absorção de água, houve uma redução desse parâmetro em relação aos corpos cerâmicos sem vidro.

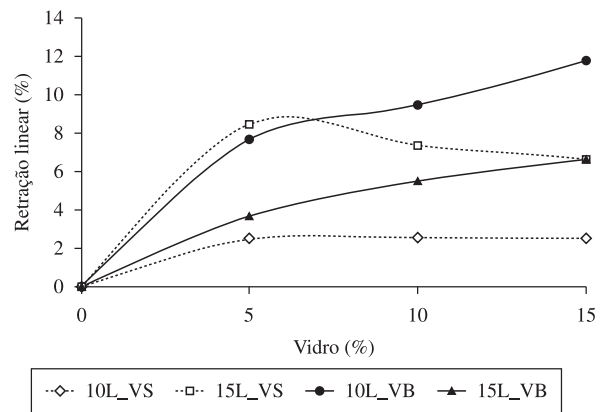


Figura 4. Retração linear dos corpos cerâmicos em função da adição dos vidros sodocálcico e borossilicato.

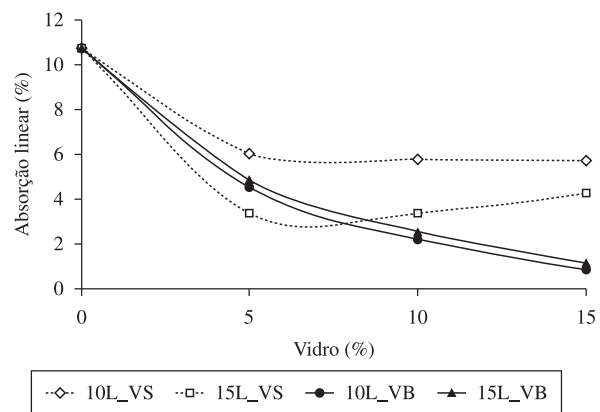


Figura 5. Absorção de água dos corpos cerâmicos em função da adição dos vidros sodocálcico e borossilicato.

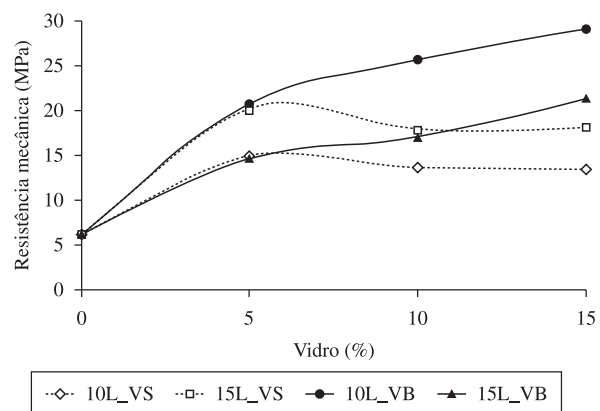


Figura 6. Resistência mecânica dos corpos cerâmicos em função da adição dos vidros sodocálcico e borossilicato.

A adição de vidro borossilicato levou a uma redução significativa da absorção, ou seja, para valores em torno de 1% houve uma variação significativa à medida que se aumentou a adição do teor de vidro. Considerando a resistência mecânica, o vidro sodocálcico levou a uma redução neste parâmetro, embora a variação do seu percentual não tenha refletido esse resultado. No entanto, a adição de vidro borossilicato aumentou a resistência mecânica dos corpos cerâmicos. A melhor resistência mecânica foi observada em cerca de 29 MPa, com a adição de 15% de lodo.

Os resultados de resistência mecânica e absorção de água servem de parâmetro para a classificação dos corpos cerâmicos quanto a possíveis usos como telhas, blocos cerâmicos e placas cerâmicas de revestimento (Tabela 4). Os valores obtidos revelam que nas condições investigadas, a queima a temperatura de 1100 °C levou a valores de resistência mecânica acima do valor mínimo previsto

na norma brasileira ABNT NBR 15310:2009³¹. Em relação aos resultados de absorção de água dos corpos cerâmicos, observa-se que os mesmos ficaram dentro dos parâmetros fornecidos pelas normas da NBR para telhas ABNT NBR 15310:2009³¹, blocos cerâmicos ABNT NBR 15270-3:2005³² e placas para revestimentos ABNT NBR 13817:1997³³.

Quanto aos testes de testes de lixiviação, nenhum dos corpos cerâmicos ultrapassou os limites do Pb, Cd e Cr estabelecidos pela NBR 10004 (Tabela 5). As formulações com vidro borossilicato apresentaram maiores valores para o elemento cádmio e chumbo. No entanto, para os testes com vidro sodocálcico, apesar de nenhuma das formulações ter ultrapassado os limites de lixiviação para os elementos químicos analisados, a formulação com 10% de lodo e 10% de vidro sodocálcico apresentou o maior valor para o elemento Cr.

Tabela 4. Dados de absorção de água e da resistência mecânica dos materiais cerâmicos empregados em telhas, blocos cerâmicos e placas cerâmicas de revestimento.

Materiais cerâmicos	Absorção de água	Resistência mecânica
Telhas	ABNT NBR 15310:2009 ³¹ . Os valores podem ser menores ou iguais a 18%.	ABNT NBR 15310:2009 ³¹ . Os valores podem variar de 6,8 a 9,8; e no máximo 12,7 MPa dependendo do tipo de telha.
Blocos cerâmicos	ABNT NBR 15270-3:2005 ³² . Encontra-se nos intervalos entre 8 e 18%.	Está dividido em classes, onde o valor mínimo é de (1 MPa).
Placas cerâmicas de revestimentos	ABNT NBR 13817:1997 ³³ . Pode variar dependendo do tipo de material, (grês, porcelanato, semi-grês, semi-porosos e porosos) podendo atingir valores entre 0,5 a 10% ou superior a este.	ABNT NBR 13818:1997 ³⁴ . Pode atingir valores entre 15 a 35 MPa ou superior a este dependendo do tipo de material.

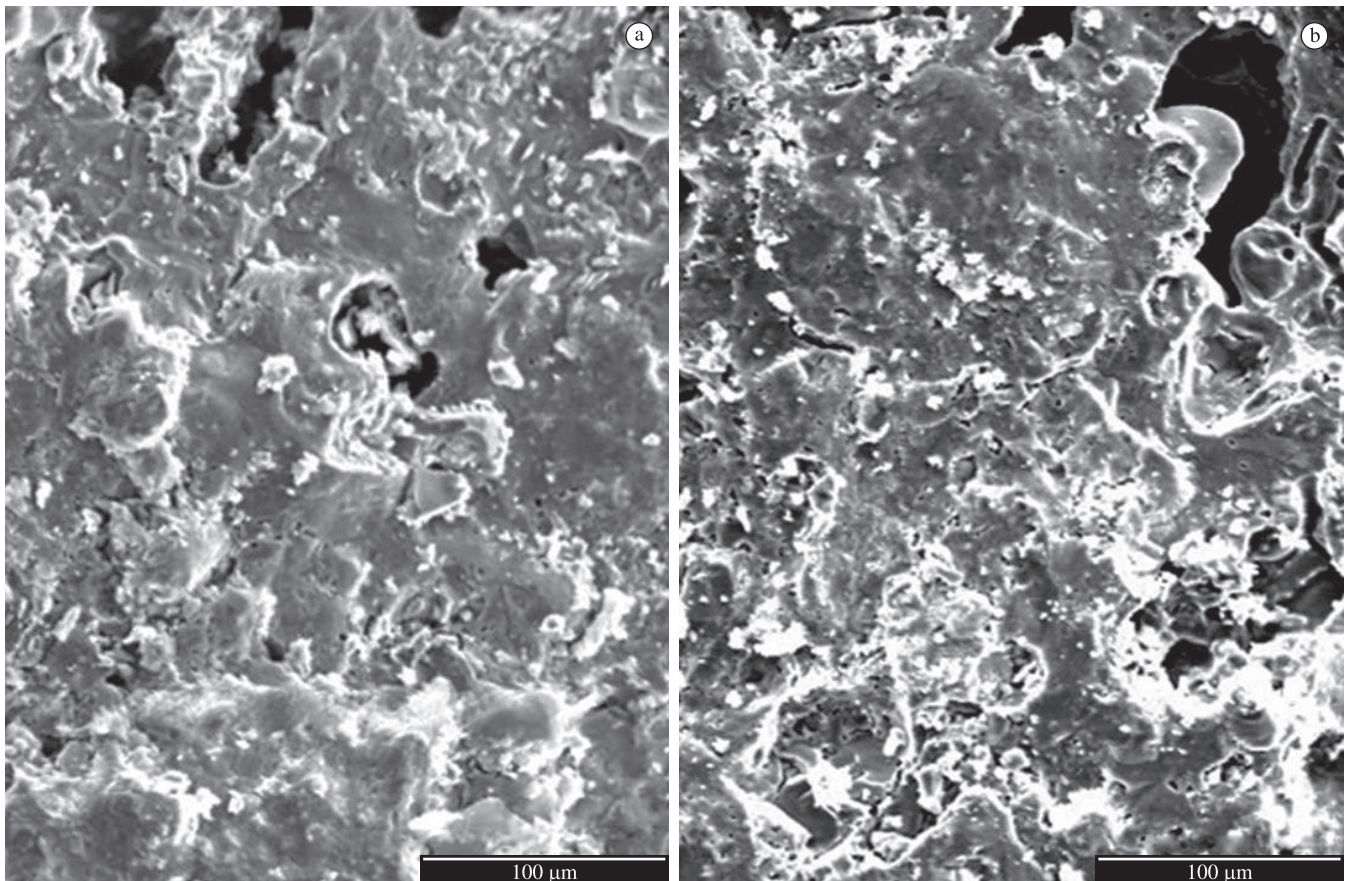


Figura 7. Micrografias dos corpos cerâmicos com vidro sodocálcico a) 10% em peso e b) 15% em peso.

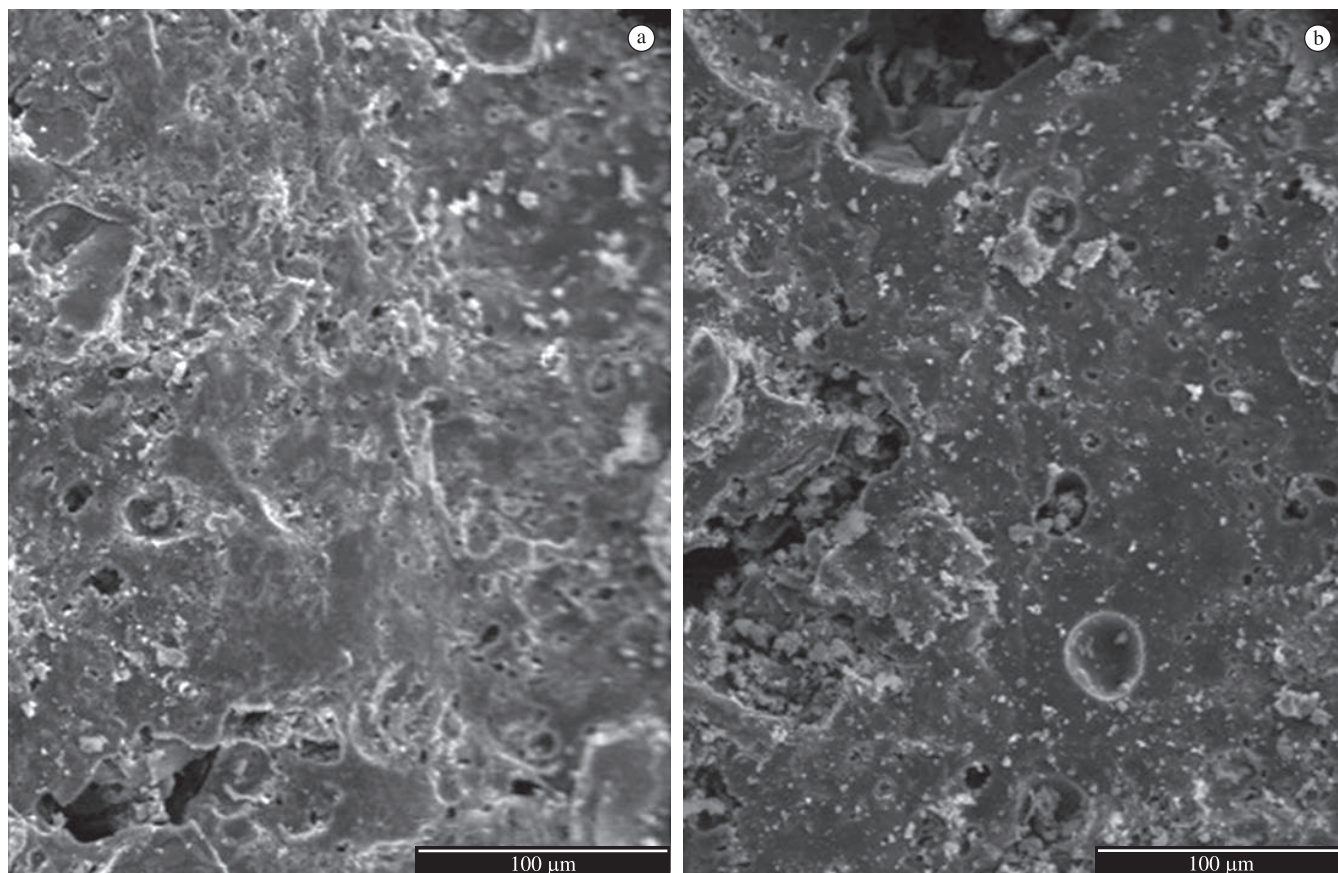


Figura 8. Micrografias dos corpos cerâmicos com vidro borossilicato a) 10% em peso e b) 15% em peso.

Tabela 5. Avaliação da quantidade de cromo, chumbo e cádmio liberado durante o ensaio de lixiviação para as formulações com argila, lodo galvânico e vidro.

Formulações	Pb ($< 1,0 \text{ mg.L}^{-1}$)*	Cr ($< 5 \text{ mg.L}^{-1}$)*	Cd ($0,5 \text{ mg.L}^{-1}$)*
10% L + 5% VS	$< 0,02$	$< 0,004$	0,02
10% L + 10% VS	$< 0,02$	0,07	0,01
10% L + 15% VS	$< 0,02$	0,005	$< 0,002$
15% L + 5% VS	$< 0,02$	$< 0,004$	$< 0,002$
15% L + 10% VS	$< 0,02$	$< 0,004$	$< 0,002$
15% L + 15% VS	$< 0,02$	$< 0,004$	$< 0,002$
10% L + 5% VB	$< 0,019$	$< 0,005$	0,025
10% L + 10% VB	$< 0,017$	$< 0,005$	0,021
10% L + 15% VB	$< 0,022$	$< 0,004$	0,026
15% L + 5% VB	$< 0,019$	$< 0,03$	0,061
15% L + 10% VB	$< 0,024$	$< 0,002$	0,042
15% L + 15% VB	$< 0,033$	$< 0,005$	0,016

Os resultados mostram que a maior resistência mecânica foi obtida com o aumento da fusão para os dois tipos de vidro. Este resultado provavelmente está relacionado ao aumento na densificação dos corpos cerâmicos, como consequência da redução da porosidade causada pelo aumento da fusão. Isto sugere que os poros foram mais efetivamente fechados nas temperaturas de queima mais elevadas. Através das micrografias das Figuras 7 e 8, é possível observar que houve uma redução da porosidade e uma mudança na forma dos poros com as temperaturas de queima crescentes, especialmente para os corpos de prova com vidro borossilicato.

Na Figura 7, pode-se observar a partir das micrografias dos corpos de prova com vidro sodocálcico que os poros foram isolados e não foram arredondados, e esse efeito não se alterou com a adição de vidro. Em vez disso, a Figura 8 mostra que as micrografias dos corpos cerâmicos com vidro borossilicato apresentaram alguns poros arredondados com a adição de 15% em peso de vidro. Este efeito poderia ser uma explicação para o aumento da resistência mecânica observada, como já foi visto em outros trabalhos³⁵.

4. Conclusão

Através dos resultados obtidos verificou-se a possibilidade de desenvolver produtos de cerâmica aditivados com lodo galvânico. Os melhores resultados tecnológicos foram obtidos com a adição de 15% em peso de lodo e 15% em peso de vidro borossilicato. Os resultados de resistência mecânica e absorção de água indicaram que nas condições investigadas, a queima a temperatura de 1100 °C levou a valores que possibilitam enquadrar os corpos cerâmicos produzidos com essa formulação para aplicações como telhas, blocos cerâmicos e placas cerâmicas de revestimento.

Quanto a imobilização de metais presentes no lodo galvânico, as formulações com vidro borossilicato foram mais eficientes que as formulações com vidro sodocálcico para a imobilização do elemento Cr. No entanto, o vidro sodocálcico, apresentou os menores valores de lixiviação nos resultados para os elementos Pb e Cd.

Referências

- COLOMBO, P.; BRUSATIN, G.; BERNARDO, E.; SCARINCI, G. Inertization and reuse of waste materials by vitrification and fabrication of glass-based products. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, v. 7, p. 225-239, 2003. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cossms.2003.08.002>

2. BASEGIO, T.; BERUTTI, F.; BERNARDES, A.; BERGMANN, C. P. Environmental and technical aspects of the utilisation of tannery sludge as a raw material for clay products. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 22, p. 2251-2259, 2002a. [http://dx.doi.org/10.1016/S0955-2219\(02\)00024-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0955-2219(02)00024-9)
3. JORDAN, M.; SANCHEZ, M. A.; PADILLA, L.; CÉSPEDES, R.; OSSES, M.; GONZÁLEZ, B. Kraft Mill residues effects on monterey pine growth and soil microbial activity. **Journal of Environmental Quality**, v. 31, p. 1004-1009, 2002. PMID:12026067. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2002.1004>
4. TRAVAR, I.; LIDELow, S.; ANDREAS, L.; THAM, G.; LAGERKVIST, A. Assessing the environmental impact of ashes used in a landfill cover construction. **Waste Management**, v. 29, p. 1336-1346, 2009. PMID:19081235. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2008.09.009>
5. BEDNARIK, V.; VONDRUSKA, M.; KOUTNY, M. Stabilization/solidification of galvanic sludges by asphalt emulsions Vratislav. **Journal of Hazardous Materials**, v. 122, p. 139-145, 2005. PMID:15943936. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.03.021>
6. MONTEIRO, R. C. C.; ALENDouro, S. J. G.; FIGUEIREDO, F. M. L.; FERRO, M. C.; FERNANDES, M. H. V. Development and properties of a glass made from MSWI bottom ash. **Journal of Hazardous Materials**, v. 122B, p. 139-145, 2005.
7. GARRIDO, F.; GENTILS, A.; THOMÉ, L. On the use of ion beams for the selection of radioactive waste matrices. **Surface and Coatings Technology**, v. 196, p. 63-68, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.08.097>
8. CHEESEMAN, C. R.; ROCHA, S. M.; SOLLARS, C.; BETHANIS, S.; BOCCACCINI, A. R. Ceramic processing of incinerator bottom ash. **Waste Management**, v. 23, p. 907-916, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0956-053X\(03\)00039-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0956-053X(03)00039-4)
9. KIM, I. T.; KIM, J. H.; LEE, K. S.; SEO, Y. C.; KOO, J. K. Leaching characteristics of glassy waste forms containing two different incineration ashes. **Waste Management**, v. 20, p. 409-416, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0956-053X\(99\)00343-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0956-053X(99)00343-8)
10. ROMERO, M. R. D.; RAWLINGS, J. M. A. Development of a new glass-ceramic by means of controlled vitrification and crystallisation of inorganic wastes from urban incineration. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 19, p. 2049-2058, 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/S0955-2219\(99\)00011-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0955-2219(99)00011-4)
11. SILVA, A. C.; MELLO CASTANHO, S. R. H. Silicate glasses obtained from fine silica powder modified with galvanic waste addition. **Journal of Non-Crystalline Solids**, v. 348, p. 211-217, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2004.08.171>
12. AL-ZBOON, K.; TAHAT, M.; ABU-HAMATTEH, Z. S. H.; AL-HARAHSEH, M. S. Recycling of stone cutting sludge in formulations of bricks and terrazzo tiles. **Waste Management & Research**, v. 28, p. 568-574, 2010. <http://dx.doi.org/10.1177/0734242X09350246>
13. PELINO, M. Recycling of zinc-hydrometallurgy wastes in glass and glass ceramic materials. **Waste Management**, v. 20, p. 561-568, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0956-053X\(00\)00002-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0956-053X(00)00002-7)
14. NEUFELD, R. D.; COBB, J. T.; PRITTS, J.; CLIFFORD, V.; BENDER, C.; BEEGHLEY, J. Hazardous Waste Stabilization with Clean-Coal Technology Ash Residuals. **Water Science Technology**, v. 34, n. 10, p. 179-185, 1996. [http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223\(96\)00712-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223(96)00712-3)
15. CIMDINS, R.; ROZENSTRAUHA, A.; BERZINA, L.; BOSSERT, J.; BÜCKER, M. Glassceramics obtained from industrial waste. **Resources Conservation & Recycling**, v. 29, p. 285-290, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0921-3449\(00\)00053-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-3449(00)00053-7)
16. PEREIRA, C. P.; RODRIGUEZ-PIÑERO, M.; VALE, J. J. Solidification/Stabilization of Electric Arc Furnace Dust Using Coal Fly Ash. **Journal of Hazardous Materials**, v. 82, p. 183-195, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3894\(00\)00359-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3894(00)00359-9)
17. BARBIERI, L.; BONAMARTINI, A. C.; LANCELLOTTI, I. Alkaline and alkaline-earth silicate glasses and glass-ceramics from municipal and industrial wastes. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 20, p. 2477-2483, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0955-2219\(00\)00124-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0955-2219(00)00124-2)
18. PISCIELLA, P.; CRISUCCI, S.; KARAMONOV, A.; PELINO, M. Chemical durability of glasses obtained by vitrification of industrial wastes. **Waste Management**, v. 21, p. 1-9, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0956-053X\(00\)00077-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0956-053X(00)00077-5)
19. PARSA, J.; MUNSON-MCGEE, S. H.; STEINER, R. Stabilization/Solidification of hazardous wastes using fly ash. **Journal of Environmental Engineering**, v. 12, no. 10, p. 935-940, 1996. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1996\)122:10\(935\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1996)122:10(935))
20. JONKER, A.; POTGIETER, J. M. An evaluation of selected waste resources for utilization in ceramic materials applications. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 25, p. 3145-3149, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2004.07.024>
21. DOMÍNGUEZ, E. A.; ULLMANN, R. "Ecological bricks" made with clays and steel dust pollutants. **Applied Clay Science**, v. 11, p. 237-249, 1996. [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-1317\(96\)00020-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-1317(96)00020-8)
22. MONTEIRO, S. N.; ALEXANDRE, J.; MARGEM, J. I.; SÁNCHEZ, R.; VIEIRA, C. M. F. Incorporation of sludge waste from water treatment plant into red ceramic. **Construction and Building Materials**, v. 22, p. 1281-1287, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.01.013>
23. TOPÇU, I. B.; BOGA, A. R. Effect of boron waste on the properties of mortar and concrete. **Waste Management & Research**, v. 28, p. 626-633, 2010. <http://dx.doi.org/10.1177/0734242X09345561>
24. VIEIRA, C. M. F.; ANDRADE, P. M.; MACIEL, G. S.; VERNILLI, JR. F.; MONTEIRO, S. N. Incorporation of fine steel sludge waste into red ceramic. **Material Science and Engineering**, v. 427, p. 142-147, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2006.04.040>
25. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-373/94-88** - Test method for water absorption, bulk density, apparent porosity, and apparent specific gravity of fired whiteware products. Philadelphia: ASTM, 1988-1994.
26. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-134/95** - Test methods for size, dimensional measurements, and bulk density of refractory brick and insulating firebrick. Philadelphia: ASTM, 1995.
27. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-210/95** - Test method for reheat change of insulating firebrick. Philadelphia: ASTM, 1995.
28. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-773/94-88** - Test method for compressive (crushing) strength of fired whiteware materials. Philadelphia: ASTM, 1988-1994.
29. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
30. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.005**: Lixiviação dos resíduos. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
31. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15310:2009**. Componentes cerâmicos - Telhas - Terminologia, requisitos e métodos de ensaio.
32. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15270-3:2005**. Componentes cerâmicos. Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural - Terminologia e requisitos.
33. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13817:1997**. Placas cerâmicas para revestimento – Classificação.
34. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13818:1997**. Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios.
35. VILLANOVA, D. L.; BERGMANN, C. P. Sinterability study of ceramic bodies made from a mixture of mineral coal bottom ash and soda-lime glass cullet. **Waste Management & Research**, v. 25, p. 77-82, 2007. <http://dx.doi.org/10.1177/0734242X07069764>