

VITRIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS GALVÂNICOS - SOLUÇÃO PARA A ZONA LESTE DE SÃO PAULO

Cleiton dos Santos Mattos^{1,2} e Sonia Regina Homem de Mello Castanho¹.

1 - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN

2 - Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT

Endereço: R. Eugene Carriere, 30 - Ap 25 - Bl 1 – Jd. das Vertentes – São Paulo – SP – CEP 05541-000

RESUMO

Os resíduos sólidos galvânicos possuem elevados teores de metais pesados e, geralmente, ficam estocados nas indústrias, criando um preocupante passivo ambiental. Este fato se agrava em áreas densamente povoadas, como a zona leste de São Paulo, que possui um pólo de indústrias de galvanoplastia do setor de cromação. O presente trabalho propõe caracterizar e oferecer uma opção tecnológica para a destinação dos resíduos gerados por esta atividade utilizando-se técnicas que permitem a incorporação destes em matrizes vítreas. Os resíduos foram caracterizados por FRX, EDS, ICP-AES, AAS, ATD/ATG, DRX e MEV-FEG e incorporados em vidros e fritas formulados a partir do sistema $\text{SiO}_2\text{-CaO-Na}_2\text{O}$, em até 30% em massa. Os resultados das análises dos resíduos mostraram a presença majoritária de Ni, Cr, B, Cu, Ca e S. Os vidros resultantes revelaram que os metais pesados foram incorporados à sua estrutura e, provavelmente em substituição ao Ca e Na. Em adição, os produtos apresentaram cores específicas indicando a possibilidade de utilização em alguns seguimentos de manufatura de cerâmicos, como em esmaltes, carga e pigmentos.

Palavras-chave: resíduos sólidos, galvanoplastia, cromação, processamento cerâmico, vidros silicatos.

INTRODUÇÃO

A poluição ambiental, a cada dia que passa torna-se mais crítica devido às consequências prejudiciais da ação do ser humano. A situação é ainda mais preocupante nas regiões densamente povoadas, como a zona leste da cidade de São Paulo, que possui cerca de 11.000 habitantes por quilômetro quadrado.

A zona leste de São Paulo apresenta um pólo de empresas de galvanoplastia, centrado predominantemente no setor de cromação, e estas empresas utilizam substâncias consideradas perigosas para o meio ambiente e para a saúde humana, como metais pesados, cromo hexavalente e cianeto.

A galvanoplastia é um processo eletroquímico de deposição de uma fina camada metálica sobre uma superfície, da ordem de micrômetros, para proporcionar proteção contra a corrosão e melhorar o aspecto estético.

Os resíduos sólidos gerados neste processo concentram as substâncias tóxicas mencionadas acima, sendo, desta forma, agressivos ao meio ambiente e ao ser humano se descartados ou armazenados sem devidas precauções. Por outro lado, estes resíduos sólidos apresentam potencial econômico que justifica o reuso ou reaproveitamento funcional de seus componentes.

Bases teóricas

Segundo a projeção do grupo de pesquisa *Population Reference Bureau*⁽¹⁾, a população mundial atinge sete bilhões em 2011, sem sinais de estabilização, apesar da redução no ritmo de crescimento em relação às previsões feitas há alguns anos. Este fato representa um crescimento de um bilhão nos últimos 12 anos, acarretando pressões pela busca por alimentos, infraestrutura e serviços essenciais, como educação e saneamento. Ao mesmo tempo em que as políticas mundiais tentam atender a estas demandas, encontram grandes dificuldades para reverter e minimizar os danos ao meio ambiente e diminuir as desigualdades econômicas e sociais⁽²⁾.

O crescimento populacional e das atividades industriais, por consequência, causa um aumento considerável na produção de resíduos sólidos. Desta forma, anseia-se por um gerenciamento criterioso destes resíduos, de modo a permitir o controle e a prevenção da poluição do meio ambiente⁽³⁾. Segundo a CETESB, os

resíduos sólidos podem ser divididos em duas grandes áreas: a) os resíduos urbanos e de serviços de saúde e b) os resíduos industriais⁽³⁾.

Considerando-se que neste trabalho serão focados os resíduos industriais, estes são classificados em função de suas propriedades físico-químicas, químicas ou infectocontagiosas e com base na presença e quantidade limite de contaminantes presentes em sua massa. A norma ABNT NBR 10004:2004⁽⁴⁾ apresenta três classificações para os resíduos industriais: a) Resíduos classe I - perigosos; b) Resíduos classe IIa - não inertes; c) Resíduos classe IIb - inertes.

São considerados perigosos os resíduos que apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente, devido às características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. É o caso dos resíduos sólidos galvânicos (RSGs). São considerados não inertes os resíduos biodegradáveis e combustíveis. São considerados inertes os resíduos que podem ficar na água por sete dias, deixando-a ainda potável⁽⁴⁾.

Em relação aos tratamentos realizados nos resíduos sólidos para minimizar os efeitos agressivos ao meio ambiente, os mais utilizados para os resíduos de galvanoplastia são: “estocagem”, disposição em aterros, incineração, coprocessamento, plasma térmico, microencapsulação e reciclagem.

A incorporação de resíduos sólidos galvânicos em matrizes cerâmicas tem sido estudada como uma efetiva técnica de baixo custo para fixação de espécies metálicas em produtos manufaturados ou como uma tentativa de reduzir o volume de resíduos no ambiente, de acordo com MAGALHÃES *et al.*^(5 e 6), CIOFFI *et al.*⁽⁷⁾, PEREZ *et al.*^(8 e 9). No mesmo sentido, há também a incorporação em matrizes vítreas por SILVA e MELLO-CASTANHO^(10 e 11) e MELLO-CASTANHO *et al.*⁽¹²⁾. Luz *et al.*⁽¹³⁾ estudaram a incorporação em cimento de sulfoaluminato de cálcio (CSA) e CHAJKIN *et al.*⁽¹⁴⁾ em concreto asfáltico. Uma alternativa funcional para a inertização dos constituintes nocivos foi estudada por Milanez *et al.*⁽¹⁵⁾ na formulação de pigmentos inorgânicos. A reciclagem de metais pesados também foi estudada por JANDOVÁ *et al.*^(16 e 17), BARRERA-GODÍNEZ *et al.*⁽¹⁸⁾, SIEBENHOFER *et al.*⁽¹⁹⁾, BROMBACHER *et al.*⁽²⁰⁾ e MOATS *et al.*⁽²¹⁾.

Diversos elementos químicos presentes nos resíduos sólidos galvânicos são utilizados na estrutura dos vidros para a melhoria de suas propriedades físico-químicas. O vidro é um material com estrutura amorfa, contendo particularidades que não o definem nem como líquido, nem como sólido cristalino⁽²²⁾. Os vidros são

classificados de acordo com sua composição química, aplicação e processo de fabricação e os mais comuns são os vidros silicatos, usados para aplicações em janelas, placas, embalagens e bulbos de lâmpadas incandescentes, por exemplo⁽²³⁾.

Revestimentos cerâmicos também podem ser feitos à base de silicatos e outros óxidos. Sua função principal é impermeabilizar a superfície de um corpo cerâmico, de modo a permitir a aplicação de técnicas de decoração e, em alguns casos, aumentar as propriedades tecnológicas, tais como a resistência à abrasão⁽²⁴⁾.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, o setor de cromação foi selecionado para o estudo, devido ao seu potencial de risco ambiental. Pelas atividades realizadas pelo Projeto de Unidades Móveis do setor de Tratamento de Superfícies (PRUMO/TS) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A - IPT, que atua intensamente junto aos processos de galvanoplastia, observou-se que o setor de cromação se concentra na zona leste do município de São Paulo, que é a região de maior densidade demográfica e merece atenção detalhada direcionada às questões voltadas ao meio ambiente.

Com base no universo de aproximadamente 30 empresas de cromação atendidas pelo PRUMO/TS na zona leste da cidade de São de Paulo, cinco empresas foram selecionadas para o estudo, de acordo com as características de faturamento, processo produtivo e localização, onde amostras de resíduos sólidos (RSGs) foram coletadas para a caracterização química e físico-química.

Quatro técnicas foram utilizadas para a quantificação dos teores dos elementos (Espectrometria de Emissão Atômica de Plasma - ICP-AES; Espectrometria de Absorção Atômica com Chama – FAAS; Gravimetria e Titulação Potenciométrica) e três técnicas foram utilizadas para estudar o comportamento dos materiais com o aumento da temperatura (Análise Térmica Diferencial e Termogravimétrica - ATD/ATG; Difractometria de raios X - DRX e Microscopia Eletrônica de Varredura por Emissão de Campo - MEV-FEG).

Antes das análises, cada material coletado foi seco em estufa a 110°C por 24 h e, posteriormente, homogeneizado em moinho de discos oscilantes (tamanho de partícula < 75 µm).

Baseando-se em uma análise comparativa entre os resultados das composições químicas, amostras de três empresas foram selecionadas para a incorporação de seus constituintes funcionais em estrutura vítrea, de acordo com as seguintes características:

- alto teor de cromo (21,3%) – RSG 2;
- baixo teor de cromo (0,4%) – RSG 5;
- médio teor de cromo (9,4%) – RGS 4.

As formulações para a obtenção dos vidros e fritas silicato do tipo soda-cal foram calculadas baseando-se em estudos anteriores realizados por [SILVA, 2004]⁽²⁵⁾, [SILVA, 2008]⁽²⁶⁾ e [MARIALVA, 2003]⁽²⁴⁾, e obedecendo as condições do sistema $\text{Na}_2\text{O}:\text{CaO}:\text{SiO}_2$ ⁽²⁷⁾. As características são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1 – Identificação das composições para obtenção de vidros e fritas

Identificação da composição	Características da mistura			
	Produto	RSG	Na_2O	CaO
F 27R2 29N 6C	Frita	27% de RSG 2	29%	6%
V 20R2 29N 11C	Vidro	20% de RSG 2	29%	11%
F 24R5 27N 0,5C	Frita	24% de RSG 5	27%	0,5%
V 21R4 21N 5C	Vidro	21% de RSG 4	21%	5%

Após as formulações, realizou-se a moagem das misturas em almofariz, com pistilo, e as mesmas foram acondicionadas em cadinho de alumina para as fusões.

As fusões foram realizadas em Forno da marca LINDBERG, modelo Blue M, com atmosfera a ar e aquecimento de 10°C/min. As temperaturas de patamar foram de 1300°C por 2 h para as três primeiras composições (contendo RSG 2 e RSG 5) e de 1500°C por 3 h para a última composição (contendo RSG 4).

Após a fusão, as fritas foram obtidas com o vertimento do fundido em água fria sob agitação. Os vidros foram conformados também por vertimento, mas em moldes prismáticos de aço-carbono com superfície interna polida, medindo (1 x 1 x 3) cm. Após a conformação, os vidros foram recozidos a 500°C, por 3 h.

As fritas e vidros, bem como as águas utilizadas no banho das fritas, foram caracterizados por FRX, ICP e FAAS, para a determinação dos elementos químicos presentes, com o objetivo de verificar se os elementos funcionais foram incorporados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização química e físico-química

Os resultados obtidos para os ensaios de caracterização química dos RSGs coletados estão apresentados a seguir. Na Tabela 2, os elementos destacados em negrito representam os maiores teores detectados (entre 10% e 50% em massa) e os resultados destacados em itálico representam os teores em pequenas proporções (entre 1% e 10% em massa). Os resultados não destacados representam os teores na forma de traço e não detectados.

Observa-se que os RSGs são constituídos, em sua maior parte, por metais pesados considerados perigosos para o meio ambiente e para a saúde humana. Estes elementos podem ser utilizados para se obter vidros e fritas, pois podem fazer parte da estrutura como modificadores. Além dos metais pesados, os RSGs ainda possuem outros elementos utilizados para se obter vidros, como silício, boro, cálcio, sódio, potássio, magnésio e outros.

O comportamento da amostra de RSG 1 com o aumento da temperatura, por meio das análises de ATD e ATG, está apresentado na Figura 1. Observa-se que até a temperatura de aproximadamente 450°C ocorre uma perda acentuada de massa (28%), principalmente, pela eliminação de água livre e combinada. O pico endotérmico em 97°C indica evaporação de água e os picos endotérmicos em 172°C e 374°C indicam, provavelmente, desidratação do sulfato de cálcio, conforme os resultados obtidos por DRX, apresentados na Figura 2, onde na amostra tratada a 600°C, é observada somente a presença de sulfato de cálcio anidro. Pela literatura⁽²⁸⁾, o sulfato de cálcio di-hidratado libera água de cristalização a 128°C e o mesmo ocorre a 163°C para o sulfato de cálcio meio hidratado

Na Figura 1, a curva de perda de massa continua decrescendo até a temperatura máxima utilizada no ensaio (1400°C). A perda de massa total foi de 41% em relação à massa inicial. Alguns pontos de mudança de comportamento na perda de massa são observados, conforme mostra a curva da derivada da massa, que indica a velocidade de perda de massa. Similarmente, nos mesmos pontos, a curva de ATD apresenta picos endotérmicos discretos a 521°C, 783°C e 1147°C.

TABELA 2 – Resultado dos teores dos elementos nos RSGs, por ICP-AES, FAAS, gravimetria e titulação potenciométrica

Elem.	Teores dos elementos (% em massa)				
	RSG 1	RSG 2	RSG 3	RSG 4	RSG 5
Ag	0,0010 ± 0,0004	0,0001 ± 0,0001	0,0005 ± 0,0002	-	-
Al	0,1499 ± 0,0082	0,2247 ± 0,0112	0,3809 ± 0,0325	0,141 ± 0,004	0,003 ± 0,002
Au	0,0076 ± 0,0022	-	0,0051 ± 0,0010	-	-
B	16,1042 ± 1,3424	12,5386 ± 2,6083	13,4104 ± 0,3069	0,356 ± 0,030	0,036 ± 0,005
BA	0,0014 ± 0,0012	0,0713 ± 0,0037	0,4251 ± 0,0249	0,151 ± 0,006	-
Ca	<i>1,2801 ± 0,0922</i>	<i>8,1440 ± 0,2394</i>	<i>4,1362 ± 0,6010</i>	18,027 ± 0,351	0,920 ± 0,431
Cd	0,0003 ± 0,0001	0,0002 ± 0,0001	0,0002 ± 0,0002	-	0,0020 ± 0,0001
Cl	0,3208 ± 0,0900	0,7404 ± 0,0300	0,7759 ± 0,1000	0,4732 ± 0,0800	<i>2,6093 ± 0,4000</i>
Co	0,0016 ± 0,0002	0,0014 ± 0,0009	-	-	-
Cr	15,8935 ± 0,8442	21,2579 ± 0,4089	33,7337 ± 1,4138	<i>9,382 ± 0,082</i>	0,384 ± 0,272
Cu	<i>6,8637 ± 0,1851</i>	<i>1,9924 ± 0,0488</i>	<i>6,0372 ± 0,5443</i>	0,649 ± 0,011	36,922 ± 2,519
Fe	0,7561 ± 0,0616	<i>4,1295 ± 0,0661</i>	0,6196 ± 0,0094	<i>1,725 ± 0,012</i>	<i>1,201 ± 0,429</i>
K	0,0357 ± 0,0085	0,0288 ± 0,0056	0,0740 ± 0,0186	0,0040 ± 0,0001	0,881 ± 0,057
MG	0,4332 ± 0,0231	<i>1,2602 ± 0,0231</i>	0,2172 ± 0,0182	0,263 ± 0,026	0,090 ± 0,010
Mn	0,1014 ± 0,0072	0,0702 ± 0,0016	0,0054 ± 0,0003	0,008 ± 0,001	0,018 ± 0,005
Na	<i>1,9164 ± 0,3383</i>	<i>2,8252 ± 0,0862</i>	<i>3,9756 ± 0,6051</i>	0,540 ± 0,015	0,492 ± 0,014
Ni	41,5272 ± 0,7930	28,5832 ± 0,5340	<i>7,7664 ± 0,3028</i>	19,700 ± 0,064	17,315 ± 4,028
P	0,5064 ± 0,0197	0,0424 ± 0,0397	0,5991 ± 0,0488	0,043 ± 0,003	0,393 ± 0,005
PB	0,0824 ± 0,0013	0,0601 ± 0,0024	0,3546 ± 0,0025	0,119 ± 0,009	0,0030 ± 0,0001
Pd	0,0004 ± 0,0003	-	0,0008 ± 0,0001	-	0,0020 ± 0,0001
PT	0,1140 ± 0,0530	0,0006 ± 0,0024	0,1113 ± 0,0382	0,068 ± 0,016	0,082 ± 0,025
S	<i>4,67 ± 0,42</i>	<i>3,28 ± 0,40</i>	<i>5,92 ± 0,55</i>	<i>5,59 ± 0,62</i>	0,37 ± 0,10
Si	0,2993 ± 0,0580	0,2119 ± 0,0104	0,1269 ± 0,0523	<i>1,053 ± 0,060</i>	0,024 ± 0,001
Sn	0,0411 ± 0,0013	0,0070 ± 0,0053	0,0521 ± 0,0012	0,012 ± 0,005	-
Sr	0,0055 ± 0,0009	0,0068 ± 0,0012	0,0099 ± 0,0003	0,017 ± 0,003	-
Y	0,0005 ± 0,0001	0,0049 ± 0,0010	0,0003 ± 0,0001	-	-
Zn	<i>1,2051 ± 0,0343</i>	<i>2,6935 ± 0,0329</i>	<i>1,0028 ± 0,0322</i>	0,078 ± 0,009	0,503 ± 0,041

Nota 1: Valores com intervalo de 95% de confiança

Nota 2: Valores não normalizados

O pico a 521°C é relacionado à decomposição de CaCO₃ e este fenômeno pôde ser comprovado nas análises por DRX, para a amostra de RSG 1 tratada termicamente a 600°C, onde, nesta temperatura, não se observa mais os picos deste composto (Figura 2). Segundo a literatura⁽²⁸⁾, o CaCO₃ na forma de aragonita apresenta ponto de fusão e transição para calcita a 520°C.

O pico registrado a 783°C pode corresponder a uma decomposição envolvendo níquel ou cromo, devido aos seus elevados teores na amostra, ou ao final da decomposição do CaCO_3 . Nas análises por DRX, não se observou nenhuma alteração nas amostras tratadas termicamente a 600°C e 900°C, que pudesse justificar o aparecimento deste pico (Figura 2).

O pico a 1147°C é relacionado, provavelmente, à decomposição de sulfato de cálcio, pois nas análises por DRX, os picos relativos a este composto não foram mais observados na amostra tratada a 1400°C. Pela literatura⁽²⁸⁾, o sulfato de cálcio anidro apresenta ponto de vaporização e transição cristalográfica de ortorrômbica para monoclinica a 1193°C.

No difratograma obtido a partir da amostra de RSG 1 (Figura 2), observa-se a formação de compostos com o aumento da temperatura. Alguns destes compostos, como os cromatos de níquel e de cálcio, são difíceis de serem obtidos e são interessantes para o setor cerâmico e para a área de materiais como um todo, demonstrando que o próprio tratamento térmico da amostra já proporciona resultados importantes.

Para das demais amostras de RSGs, comportamentos similares foram observados.

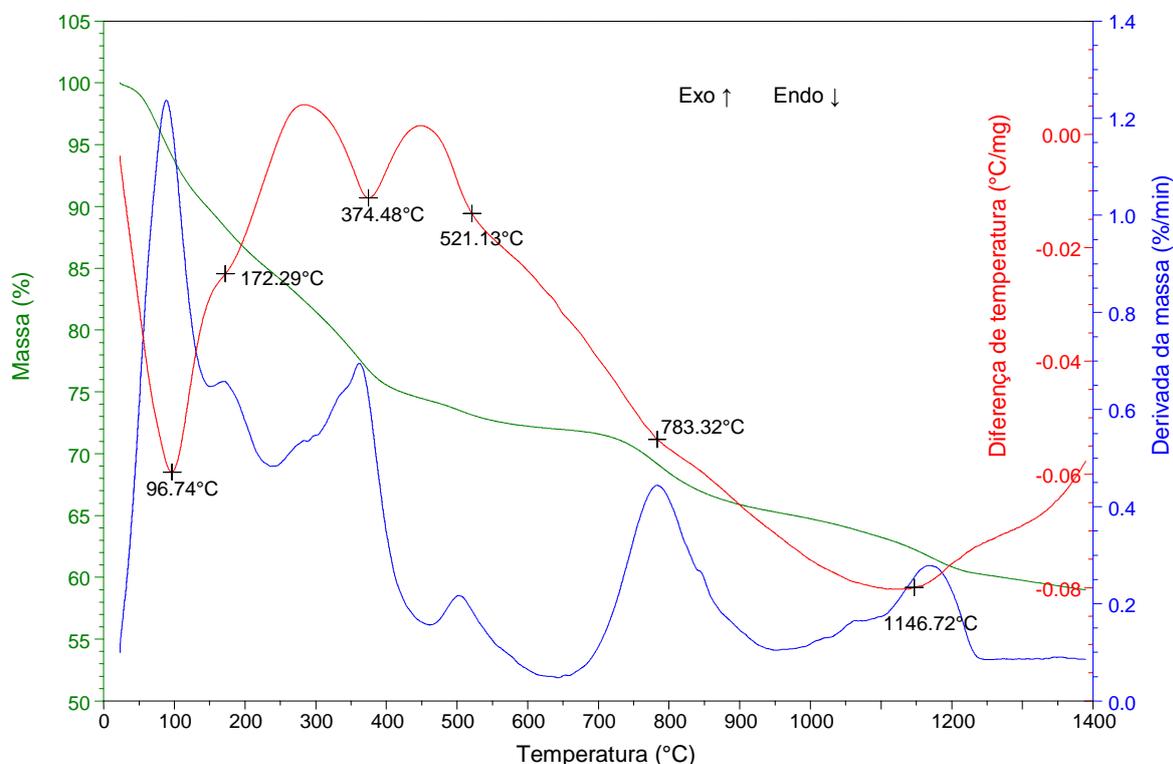


FIGURA 1 – Resultado de ATD/ATG obtido para a amostra RSG 1 (temperatura até 1400°C, taxa de aquecimento de 10°C/min e atmosfera de ar sintético)

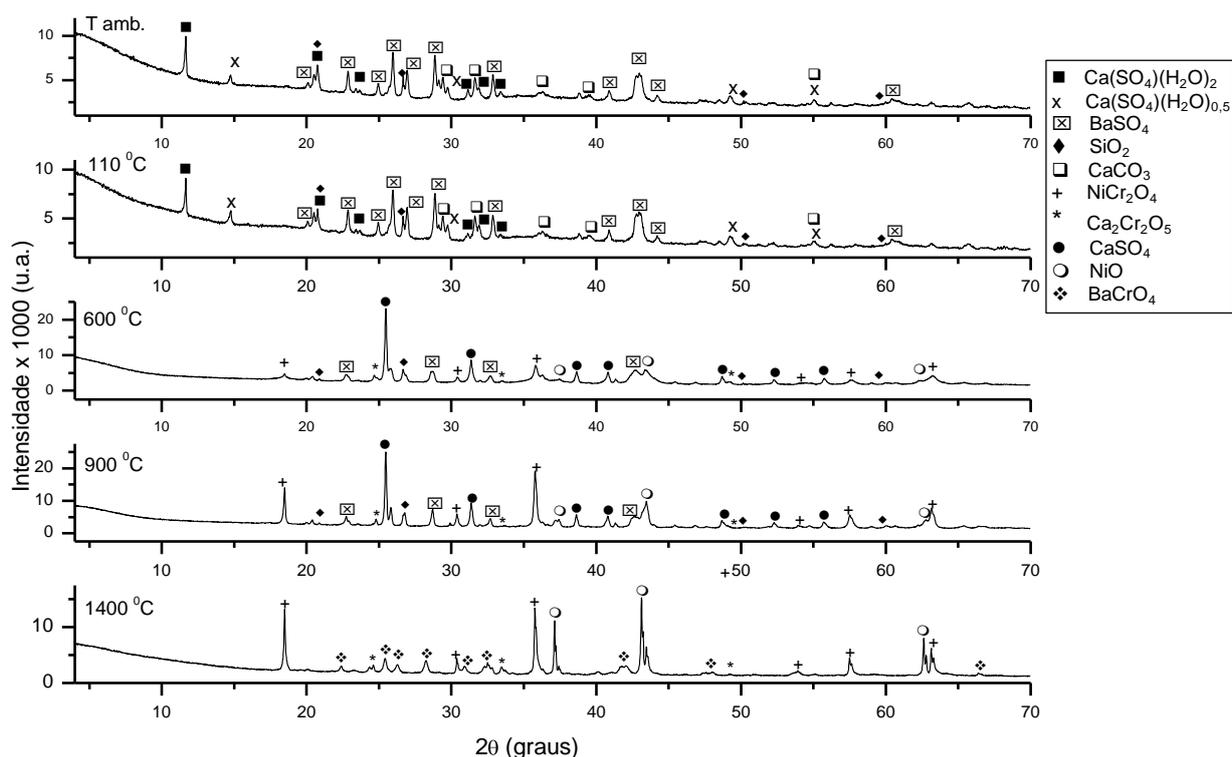


FIGURA 2 – Difratomogramas obtidos para a amostra RSG 1, após tratamento em diferentes temperaturas (tubo de cobre)

O estudo das microestruturas da amostra de RSG 1 foi realizado por MEV-FEG, nos mesmos materiais tratados previamente para as análises por DRX (T amb., 110°C, 600°C, 900°C e 1400°C). O conjunto de micrografias e microanálises químicas por EDS está apresentado nas Figuras 3 e 4.

Observa-se que entre a amostra como recebida (T amb.) e a amostra seca (110°C) não há mudança na morfologia. Ambas apresentam aglomerados constituídos por partículas finas (menores que 5 μm). A partir da amostra tratada a 600°C, observa-se alteração na morfologia, com formação de fases distintas. A microanálise química por EDS realizada na fase com formato de losango, na amostra tratada a 1400°C (Figura 4), revelou uma composição rica em oxigênio, níquel e cromo, indicando que se trata provavelmente do cromato de níquel (NiCr_2O_4) identificado por DRX.

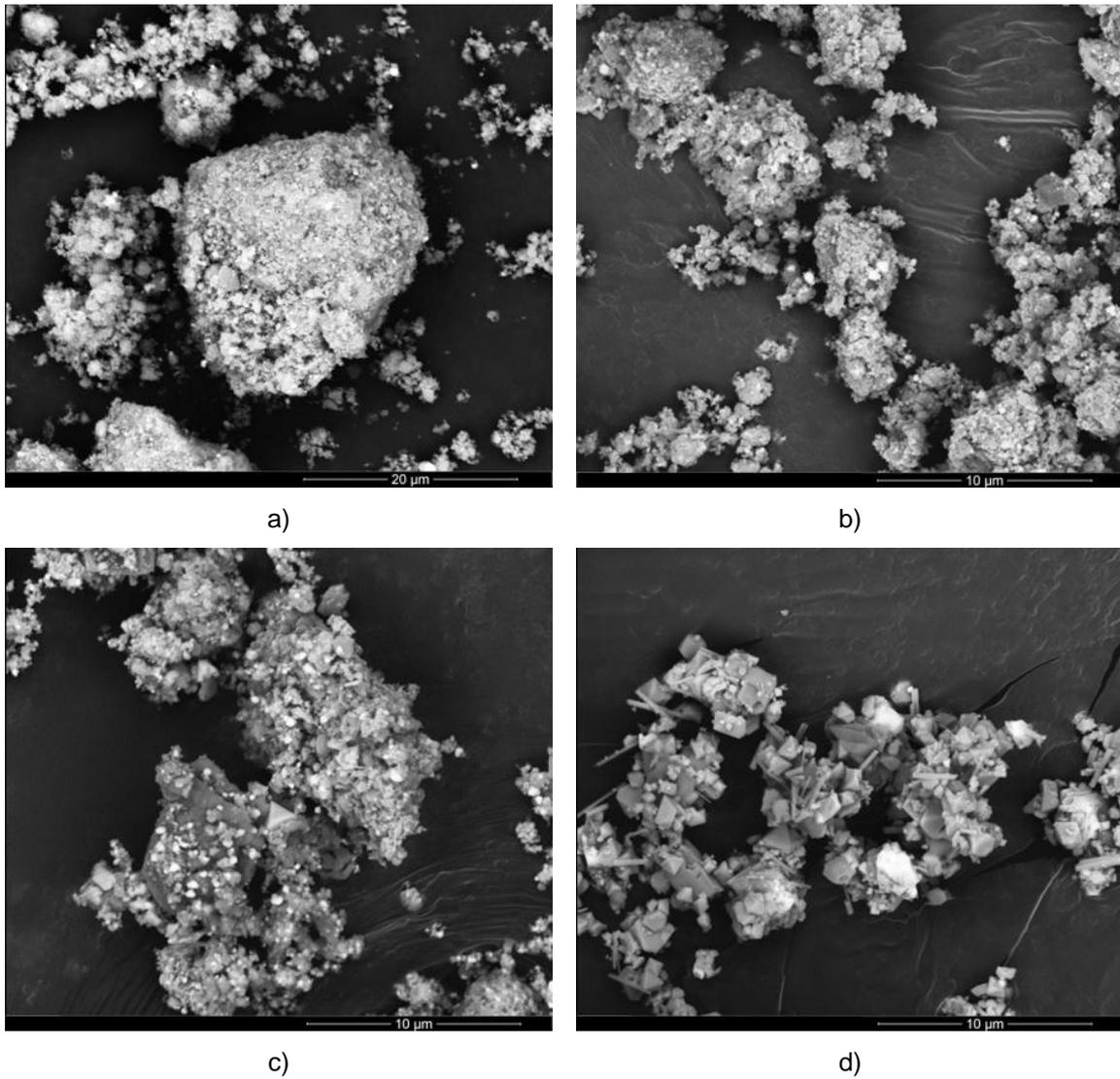


FIGURA 3 – Micrografias obtidas para a amostra RSG 1 tratada a: a) T amb.; b) 110°C; c) 600°C e d) 900°C

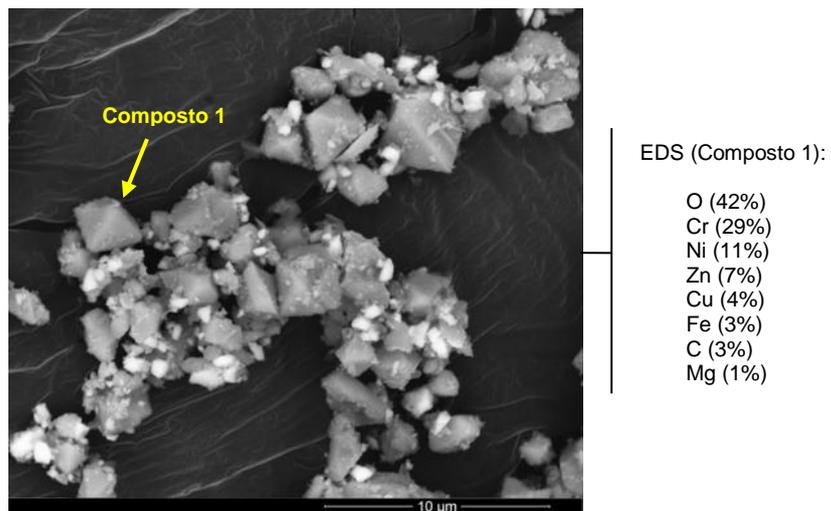


FIGURA 4 – Micrografia obtida para a amostra RSG 1 tratada a 1400°C e microanálise química do composto 1

Vitrificação

Visando utilizar os resíduos sólidos como materiais funcionais em produtos manufaturados capazes de inertizar as substâncias consideradas perigosas, ensaios foram realizados para a incorporação dos RSGs em matrizes vítreas.

Todas as formulações preparadas com resíduos de galvanoplastia foram fundidas, obtendo-se fritas e vidros.

Após ajustes de composição, as formulações contendo RSG 5 e RSG 4 foram fundidas e apresentaram fritas e vidros com retenção de cromo e sem desprendimento de quaisquer outras substâncias, mesmo após vários dias, indicando boa estabilidade em presença de umidade do ar e durante o manuseio, conforme Figura 5. As análises químicas realizadas nos produtos finais demonstraram a incorporação de BaO, CdO, Cr₂O₃, CuO, Fe₂O₃, K₂O, MgO, MnO, NiO, Pd, P₂O₅, PbO, Sn, Sr e ZnO. Os teores de CaO e Na₂O indicaram que, provavelmente, estes compostos foram os responsáveis pela entrada dos metais na estrutura vítrea.

Com estes resultados, observou-se que é possível incorporar os resíduos sólidos de galvanoplastia numa estrutura vítrea, obtendo-se produtos de utilidade comercial, como vidros coloridos e fritas. As fritas também podem ser utilizadas posteriormente em esmaltes cerâmicos, por exemplo, que geralmente necessitam de partículas reduzidas.

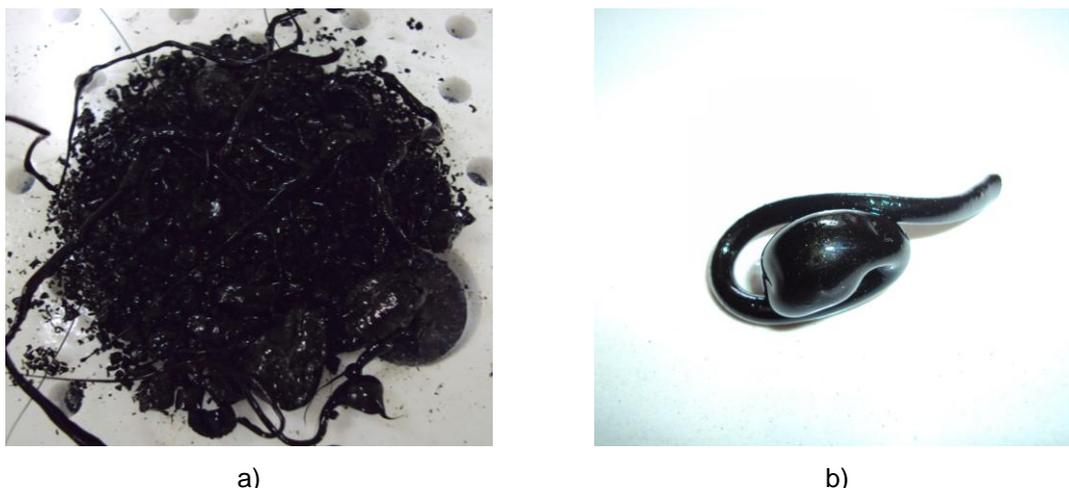


FIGURA 5 – Obtenção de produtos vítreos coloridos: a) Frita preta contendo RSG 5 (F 24R5 27N 0,5C) e b) Vidro azulado contendo RSG 4 (V 21R4 21N 5C)

CONCLUSÕES

As análises químicas comprovaram a periculosidade dos resíduos sólidos galvânicos e revelaram que são constituídos principalmente por Ni, Cr, B, Cu, Ca e S. As análises físico-químicas mostraram que os resíduos são ordenados estruturalmente como aglomerados sólidos e, quando aquecidos até 1400°C, apresentam formações de compostos que podem ser utilizados como matérias-primas para a produção de diversos produtos cerâmicos.

Com os procedimentos otimizados, os resíduos puderam ser utilizados para a elaboração de fritas e vidros a base de silicatos. Com as formulações ajustadas, foi possível obter materiais vítreos a partir do líquido fundido a 1300°C/2 h e a 1500°C/3 h.

Os resíduos sólidos galvânicos foram incorporados em fritas e vidros, apresentando resultados satisfatórios para a inertização dos compostos nocivos à saúde e demonstrando ser uma valorização interessante tanto em aspectos técnicos como econômicos. Os vidros coloridos podem ser utilizados em segmentos específicos e as fritas podem ser utilizadas para a produção de esmaltes cerâmicos e de diversos outros produtos cerâmicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ¹ POPULAÇÃO MUNDIAL CHEGARÁ A 7 BILHÕES NO PRÓXIMO ANO. Veja Notícias: Abril. 30 jul. 2010. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/noticia/economia/populacao-mundial-chegara-a-7-bilhoes-no-proximo-ano>>. Acesso em: 15 fev. 2011.
- ² MELCHERT, W.R. **Desenvolvimento de procedimentos analíticos limpos em sistemas de análises em fluxo para determinação de espécies de interesse ambiental**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química, São Paulo.
- ³ COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Resíduos sólidos - Introdução. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/residuos-solidos/Residuos-Urbanos/1-Introdução>>. Acesso em: 22 fev. 2008.
- ⁴ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10.004: **Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004, 71p.

-
- ⁵ MAGALHÃES, J.M.; SILVA, J.E.; CASTRO, F.P.; LABRINCHA, J.A. Effect of experimental variables on the inertization of galvanic sludges in clay-based ceramics. ***Journal of Hazardous Materials***, v. 106B, p. 139-147, 2004.
 - ⁶ MAGALHÃES, J.M.; SILVA, J.E.; CASTRO, F.P.; LABRINCHA, J.A. Role of the mixing conditions and composition of galvanic sludges on the inertization process in clay-based ceramics. ***Journal of Hazardous Materials***, v. 106B, p. 169-176, 2004.
 - ⁷ CIOFFI, R.; LAVORGNA, M.; SANTORO, L. Environmental and technological effectiveness of a process for the stabilization of a galvanic sludge. ***Journal of Hazardous Materials***, v. 89, n. 2-3, p. 165-175, 2002.
 - ⁸ PEREZ, J.A.; TERRADAS, R.; MANENT, M.R.M.; MARTINEZ, S. Inertization of industrial wastes in ceramics materials. ***Ceramurgia***, v. 28, n. 1, p. 11-13, 1998.
 - ⁹ PEREZ, J.A.; TERRADAS, R.; MANENT, M.R.M.; SEIJAS, M.; MARTINEZ, S. Inertization of industrial wastes in ceramics materials. ***Industrial Ceramics***, v. 16, n. 1, p. 7-10, 1996.
 - ¹⁰ SILVA, A.C.; MELLO-CASTANHO, S.R.H. Silicate glasses obtained from fine silica powder modified with galvanic waste addition. ***Journal Non-Crystalline Solids***, v. 348, p. 211-217, 2004.
 - ¹¹ SILVA, A.C.; MELLO-CASTANHO, S.R.H. Vitrified galvanic waste chemical stability. ***Journal of the European Ceramic Society***, v. 27, p. 565-570, 2007.
 - ¹² MELLO-CASTANHO, S.R.H.; SILVA, A.C.; ESTEBAN-CUBILLO, A.; PECHARROMÁN, C.; MOYA, J.C. Glass silicate from Cr and Ni high level galvanic waste. ***Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio***, v. 45, n. 1, p. 52-57, 2006.
 - ¹³ LUZ, C.A.; ROCHA, J.C.; CHERIAF, M.; PERA, J. Use of sulfoaluminate cement and bottom ash in the solidification/stabilization of galvanic sludge. ***Journal of Hazardous Materials***, v. 136B, p. 837-845, 2006.
 - ¹⁴ CHAJKIN, V.A.; MYASTOVSKIY, YU.N.; CHAJKIN, N.V.; Preparation of mineral powder for asphalt concrete from molding sand wastes. ***Litejnoe Proizvodstvo***, n. 4, p. 23-24, 2002.
 - ¹⁵ MILANEZ, K.W.; KNISS, C.T.; BERNARDIN, A.M.; RIELLA, H.G.; KUHNEN, N.C. Caracterização de pigmentos inorgânicos à base de Fe, Zn, e Cr utilizando resíduo de galvanoplastia como matéria-prima. ***Cerâmica***, v. 51, n. 318, p. 107-110, 2005.
 - ¹⁶ JANDOVÁ, J.; DVORÁK, P.; JIRICNÝ, V. Recovery of zinc from zinc waste galvanic sludges with increased copper and nickel content. In: REWAS'04 – Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology, 2005. ***Anais...*** p. 1883-1891.

- ¹⁷ JANDOVA, J.; MAIXNER, J.; GRYGAR, T. Reprocessing of zinc galvanic waste sludge by selective precipitation. **Ceramics – Silikaty**, v. 46, n. 2, p. 52-55, 2002.
- ¹⁸ BARRERA-GODÍNEZ, J.A.; O'KEEFE, T.J. A continuous flow evaluation of the galvanic stripping process. **Separation Science and Technology**, v. 34, n. 12, p. 2395-2405, 1999.
- ¹⁹ SIEBENHOFER, M.; SCHWEIGER, H.; LORBER, K. Upgrading of zinc from galvanic sludge and steel furnace dust. **Separation Science and Technology**, v. 32, n. 1-4, p. 759-773, 1997.
- ²⁰ BROMBACHER, C.; BACHOFEN, R.; BRANDL, H. Biohydrometallurgical processing of solids: A patent review. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 48, n. 5, p. 577-587, 1997.
- ²¹ MOATS, M.S.; CHANG, C.M.; O'KEEFE, T.J. Recovery of zinc from residues by SX-galvanic stripping process. In: TMS FALL MEETING, 1995. **Proceedings...** p. 545-562.
- ²² NAVARRO, J.M.F. **El vidrio**. 3.ed. Madrid, Consejo Superior de Invest. Científicas – Fundacion Centro Nacional del vidrio, 2003.
- ²³ PAUL, A. **Chemistry of glasses**. Londres, Inglaterra: Chapman and Hall, 1982.
- ²⁴ MARIALVA-NETO, A.A. **Incorporação de resíduos sólidos galvânicos em matrizes vítreas**. São Paulo, Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais - IPEN, 2003. 85p. Dissertação (Mestrado).
- ²⁵ SILVA, A.C. **Incorporação de resíduo galvânico em vidro silicato obtido a partir de finos de sílica**. São Paulo, Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais - IPEN, 2004. 90 p. Dissertação (Mestrado).
- ²⁶ SILVA, A.C. **Vidros e vitrocerâmicos com alta concentração de metais obtidos a partir de resíduos industriais**. São Paulo, Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais - IPEN, 2008. 177p. Tese (Doutorado).
- ²⁷ ROTH, R.S.; NEGAS, T.; COOK, L.P. **Phase diagrams for ceramists**. v.4. Columbus, Ohio: The American Society, Inc, 1981. fig. 5321.
- ²⁸ ROBERT, C.; WEAST, Ph. D. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 58.ed. Cleveland, Ohio: CRC Press, Inc, 1977-1978.

VITRIFICATION OF GALVANICS SOLIDS WASTES - SOLUTIONS FOR THE EAST AREA OF SÃO PAULO

ABSTRACT

Galvanic solid waste have elevated levels of heavy metals and usually are stocked in the industry, creating a worrisome environmental liabilities. This disturbing fact is aggravated in areas densely populated as the area east of Sao Paulo, which has a pole of industrial electroplating of chrome. The present paper, we describe and provide a technological option for the disposal of waste generated by this activity using techniques that allow the incorporation of these in a glass matrix. The wastes were characterized by XRF, EDS, ICP-AES, AAS, DTA/TGA, XRD and SEM-FEG and embedded in glass and frits made from the system $\text{SiO}_2\text{-CaO-Na}_2\text{O}$, with additions of up to 30% by weight. The results of the analysis of residues showed the majority presence of Ni, Cr, B, Cu, Ca and S. The resulting glasses showed that heavy metals were incorporated into its structure and probably replacing the Ca and Na. In addition, the products showed specific colors indicating the possibility of use in some segments of manufacturing in ceramics with glazes, loading and pigments.

Keywords: solid waste, plating, chrome plating, ceramic processing, glass silicates.