

SOLIDIFICAÇÃO/ESTABILIZAÇÃO (S/S) DO PÓ DE ACIARIA ELÉTRICA (PAE) EM BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

Alexandre Silva de Vargas ⁽¹⁾

Ângela Borges Masuero ⁽²⁾

Antônio C. F. Vilela ⁽³⁾

Resumo

O pó de aciaria elétrica (PAE) é um resíduo gerado em indústrias siderúrgicas que utilizam o forno elétrico a arco (FEA), na maioria dos casos, e também o forno-panela. O PAE é composto por diferentes óxidos metálicos, entre eles o Zn, Cr, Pb e Cd. A EPA(1) e a NBR 10004(2) classificam o PAE como um resíduo perigoso. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo avaliar a possibilidade de transformar o PAE à condição de subproduto, através da utilização da tecnologia de Solidificação/Estabilização (S/S). Para isso avaliou-se, através de ensaios de lixiviação e solubilização, o comportamento ambiental de amostras de blocos de concreto para pavimentação contendo distintos teores de PAE. Notou-se, com esses ensaios, que as concentrações dos metais pesados, ao longo do tempo, diminuíram. Isso demonstra que a matriz cimentante possui a propriedade de encapsular os metais pesados. Logo, blocos contendo o PAE em sua composição foram classificados, neste trabalho, como Classe II – não-inerte. Ou seja, a partir de um resíduo perigoso Classe I foi possível desenvolver, através do encapsulamento na matriz cimentante, um produto Classe II – não-inerte. **Palavras-chave:** Solidificação/estabilização; Pó de aciaria elétrica; Blocos de concreto para pavimentação.

Electric Arc Furnace Dust (EAFD): Solidification/Estabilization (S/S) For Paving Block Concrete

Abstract

The electric-arc furnace dust (EAFD) is a residue generated by metallurgical industries that uses the arc electric oven (AEO), in most of the cases, and also the oven-pot. EAFD is composed of different metallic oxides, among them Zn, Cr, Pb and Cd. The EPA⁽¹⁾ and NBR 10004⁽²⁾ classify the EAFD as a dangerous residue. Therefore, the aim of this research is to evaluate the possibility to transform EAFD into a by-product, through the use of the Solidification / Stabilization (S/S) technology. It was assessed, by leaching and solubilization test, the environmental behavior of samples of concrete blocks for paving containing different EAFD rates. It was noticed, with those studies, that the heavy metals concentration decreased along the time. Those results demonstrate that the cementation materials can encapsulate the heavy metals. Therefore, blocks containing EAFD in its composition were classified, in this research, as Level II - no inert. Therefore, from a dangerous residue Level I it was possible to develop, through the encapsulation by the cementation materials, a product Level II – not inert.

Key-words: Solidification/stabilization; Electric-arc furnace dust; Paving block concrete.

I INTRODUÇÃO

A sociedade mundial está cada vez mais conscientizada da importância de se resgatar e manter a qualidade de vida das pessoas, salientando, sobremaneira na atualidade, a relevância da preservação do meio ambiente.

Não por acaso, crescem os estudos na área ambiental, bem como, nos últimos anos, as

próprias organizações governamentais têm demonstrado preocupação com o assunto. Exemplos disso podem ser encontrados no Código Estadual do Meio Ambiente do estado do Rio Grande do Sul⁽³⁾ e nas publicações da Fundação de Economia e Estatística, que reúnem diversos artigos orientados a prática do planejamento e da preservação ambiental.⁽⁴⁾

Nesse sentido, as indústrias geradoras de resíduos preocupam-se em pesquisá-los no intuito de transformá-los em subprodutos. Além disso, vale lembrar que, de acordo com o

⁽¹⁾ Eng. Civil, Msc., Doutorando PPGEM/UFRGS, alevar@cpgec.ufrgs.br

⁽²⁾ Dra., Professora, DECIV-PPGEC/UFRGS

⁽³⁾ Dr. Ing., Professor, DEMET-PPGEM/UFRGS

parágrafo segundo do artigo 218 do Código Estadual,⁽³⁾ “Cessar a responsabilidade do gerador de resíduos somente quando estes, após utilização por terceiros, licenciado pelo órgão ambiental, sofrer transformações que o caracterizem como tais”.

Um desses resíduos, tema deste trabalho, é o pó de aciaria elétrica (PAE), gerado em indústrias siderúrgicas que utilizam o forno elétrico a arco (FEA), na maioria dos casos, e também o forno-panela. Por ser classificado como um resíduo classe I – perigoso, classificação esta determinada pela EPA(1) e pela NBR 10004,⁽²⁾ necessita ser disposto em aterros de resíduos perigosos, o que eleva os custos das indústrias.

Uma alternativa para evitar esta disposição, segundo Daniali,⁽⁵⁾ Vempati et al.⁽⁶⁾ e Cohen et al.,⁽⁷⁾ é a tecnologia de S/S. Segundo os autores, a S/S é atrativa para o tratamento de resíduos perigosos, pois seu custo é baixo, quando comparado a processos pirometalúrgicos ou de incineração, por exemplo, e de fácil implementação. Wiles⁽⁸⁾ e Cocke et al.⁽⁹⁾ complementam que nesta tecnologia empregam-se materiais selecionados como o cimento Portland, cinza volante, calcário, entre outros, para alterar as características físicas e químicas daqueles resíduos perigosos, a priori, para dispô-los em aterros ou transformá-los em novos produtos.

Neste sentido, foram moldados blocos de concreto para pavimentação contendo distintos teores de PAE, e submetidos aos ensaios de lixiviação e solubilização, em diferentes idades.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Características dos Materiais

Os materiais utilizados e os métodos para sua caracterização foram previamente descritos por Vargas.⁽¹⁰⁾

Contudo, cita-se que o cimento utilizado foi o Portland Composto (CP II-Z), e o PAE proveniente de uma usina semi-integrada, coletado em dias aleatórios em um período de 2 meses, totalizando uma amostra de 308 kg.

A composição química do PAE encontra-se na Tabela 1.

2.2 Descrição dos Processos de Moldagens e Ensaios Realizados Nas Amostras dos Blocos de Concreto

Tabela 1. Composição química do PAE

Composição química do PAE							
Elemento	(%)	Elemento	(%)	Elemento	(%)	Elemento	(%)
Fe	42,00	Pb	1,34	Na	0,84	Cd	0,11
Zn	13,30	Si	1,29	S	0,32	Mo	0,07
Ca	4,28	C	1,10	Cu	0,24	Al	0,29
Mn	1,90	Cr	1,05	Ni	0,19	Co	0,05
Mg	1,61	K	0,97	P	0,17	-	-

PAE - pó de aciaria elétrica / Fonte: Brehm et al.⁽¹¹⁾

A confecção dos blocos de concreto para pavimentação foi realizada com o auxílio de um misturador de eixo vertical e de uma máquina do tipo vibro-prensa, modelo SV 400, ajustada para trabalhar sob pressão de 16 MPa com 5 segundos de alimentação.

Os agregados foram dosados entre limites da curva de dosagem da vibro-prensa. Como o PAE não se apresentava nesses limites, ele foi adicionado como filer. Segundo Neville,⁽¹²⁾ o filer é um material finamente moído, com uma finura igual ou inferior à do cimento Portland, que, devido às suas propriedades físicas, tem um efeito benéfico sobre as propriedades do concreto. Usualmente são inertes. Podem também ativar a hidratação do cimento atuando como pontos de nucleação.

O traço adotado para a moldagem dos blocos, em massa, foi de 1: 2,94: 1,98: 1,14: 0,42 (cimento: areia fina: areia grossa: pedrisco: relação água/cimento (a/c)). Adicionaram-se teores do PAE de 5, 15 e 25% em relação à massa de cimento, mantendo-se fixas as quantidades de materiais e a relação a/c. Como amostras de controle, realizou-se a moldagem de blocos isentos do PAE (0%).

A caracterização ambiental dos blocos de concreto foi determinada com o auxílio dos ensaios de lixiviação e de solubilização seguindo os procedimentos descritos na NBR 10005⁽¹³⁾ e da NBR 10006,⁽¹⁴⁾ respectivamente, nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias. Os extratos foram analisados com o auxílio de um Espectrofotômetro de absorção atômica marca Perkin Elmer, modelo AANALYST 100.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaios de Lixiviação

Verifica-se, na Tabela 2, que os valores das concentrações obtidas no ensaio de lixiviação, para amostras de blocos de concreto com distintos teores do PAE, não superaram os limites máximos permitidos pela NBR 10004⁽²⁾ em nenhuma das idades analisadas. Com estes resultados, o produto, contendo o resíduo, não é considerado perigoso.

Esses resultados estão de acordo com Pereira et al.,⁽¹⁵⁾ Hamilton e Sammes,⁽¹⁶⁾ Pera et al.⁽¹⁷⁾ e Tamás et al.,⁽¹⁸⁾ que verificaram, através

Tabela 2. Lixiviação dos extratos das amostras dos blocos contendo adições do PAE em teores de 5%, 15% e 25%, e das amostras dos blocos referência (0%)

Idade (dias)	Teor (%) de adição do PAE em relação à massa de cimento																
	0				5				15				25				
	7	14	21	28	7	14	21	28	7	14	21	28	7	14	21	28	
F- mg/L*	2,10	1,80	2,60	2,60	2,90	2,50	2,80	2,10	3,40	3,10	3,80	4,20	4,30	4,20	4,20	4,10	150
Cd mg/L*	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	0,02	0,01	0,02	0,08	0,06	0,20	0,07	0,14	0,12	0,10	0,06	0,50
Pb mg/L*	0,22	<0,05	<0,05	<0,07	0,22	<0,05	0,06	0,07	0,53	0,14	0,33	0,36	<0,05	0,14	0,50	0,40	5,00
Cr mg/L*	0,11	0,03	0,09	0,17	0,15	0,10	0,10	0,21	0,22	0,11	0,13	0,24	0,20	0,17	0,17	0,24	5,00
Cr+6 mg/L	0,06	0,03	0,02	0,07	0,09	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,01	0,12	0,20	0,17	0,17	0,11	NN
Ba mg/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	100
Ag mg/L	0,01	<0,01	0,03	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	5,00
Hg -µg/L*	<0,10	<0,10	<0,20	<0,20	<0,10	<0,10	<0,20	<0,20	<0,10	<0,10	<0,20	<0,20	<0,10	<0,10	<0,20	<0,20	100

* Substância considerada tóxica / NN Não Normalizado / PAE- pó de aciaria elétrica

de ensaios de lixiviação, que a matriz cimentante foi capas de encapsular elementos tóxicos. Conforme os autores, a pasta de cimento, por possuir um pH básico, favorece reações de transformação de metais solúveis em metais insolúveis.

3.2 Ensaio de Solubilização

Na Tabela 3, apresentam-se os extratos solubilizados das amostras de blocos com distintos teores do PAE.

As concentrações do alumínio (Al) e da dureza de carbonato de cálcio (CaCO₃) foram superiores aos limites estabelecidos pela NBR 10004,⁽²⁾ tanto para as amostras de blocos com

PAE, quanto para as amostras de controle.

O fato do Al estar presente em argilas, material, esse, utilizado como matéria-prima para o cimento, justifica as altas concentrações verificadas nos extratos solubilizados.

Por outro lado, as altas concentrações da dureza de carbonato provavelmente estão associadas ao fato do cimento utilizado para a confecção dos blocos (CPZ-II) poder possuir até 10% de adição de CaCO₃, conforme NBR 11578,⁽¹⁹⁾ o que justificaria a sua presença nas amostras analisadas.

Da mesma forma que os blocos de controle, os blocos contendo 5% de adição do PAE também obtiveram concentrações de Al e de dureza de carbonato superiores às permitidas pela norma, cujas explicações já foram apresentadas.

Para os blocos de pavimentação com 15 e 25% de adição, além dos parâmetros de dureza e de Al já citados, os limites

Tabela 3 Solubilização dos extratos das amostras dos blocos contendo adições do PAE em teores de 5%, 15% e 25%, e das amostras dos blocos referência (0%)

Amostras	Teor (%) de adição de PAE em relação à massa de cimento																Limites máximos NBR 10004
	0				5				15				25				
	7	14	21	28	7	14	21	28	7	14	21	28	7	14	21	28	
Cu-mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	1,00
Zn-mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	5,00
Fe-mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,30
Mn-mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,10
SO ₄ ⁻ -mg/L	13,0	22,0	66,0	132,0	91,0	52,0	42,0	136,0	155,0	86,0	94,0	151,0	228,0	92,00	164,0	226,0	400,0
Na-mg/L	33,0	35,0	32,0	5,0	47,0	47,0	50,0	44,0	69,0	79,0	89,0	72,0	82,0	70,0	91,0	57,0	200,0
Al-mg/L	<0,20	1,20	1,00	0,50	0,50	0,50	0,70	0,30	<0,20	0,70	0,70	0,30	0,50	0,70	1,00	0,50	0,20
F-mg/L*	<0,02	<0,02	0,03	<0,02	0,50	0,72	0,04	0,03	0,63	0,39	0,22	0,26	0,81	0,35	0,28	0,05	1,50
Pb-mg/L*	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,13	<0,05	<0,05	<0,05	0,13	<0,05	<0,05	<0,05	0,05
Cr-mg/L*	0,02	0,02	0,03	<0,02	0,04	0,03	<0,02	0,04	0,15	0,08	0,07	0,05	0,17	0,08	0,05	0,03	0,05
Cr ⁺⁶ -mg/L	0,02	0,02	0,03	0,02	<0,03	0,03	<0,02	0,03	0,11	0,08	0,07	0,05	0,13	0,08	0,05	0,03	NN
Ba-mg/L*	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	1,00
Ag-mg/L*	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05
Cl ⁻ -mg/L*	1,10	0,72	0,71	0,92	9,90	7,80	7,00	8,30	30,00	32,00	36,00	28,00	61,00	44,00	41,00	17,00	250,0
Hg-µg/L*	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,90	<0,10	<0,10	1,00
NNO ₃ -mg/L	0,20	<0,10	<0,10	<0,10	0,20	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	10,00
Dureza mg CaCO ₃ /L	308,0	182,0	871,0	1036	1055	964,0	679,0	536,0	833,0	365,0	897,0	787,0	478,0	666,0	933,0	516,0	500,0
CN-mg/L*	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,10
Cd-mg/L*	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05

NN - Não Normalizado / PAE- pó de aciaria elétrica / Substância considerada tóxica

estabelecidos para as concentrações dos elementos cromo (Cr) e chumbo (Pb) foram ultrapassados. Contudo, verifica-se nos resultados que há uma tendência ao encapsulamento, para ambos os metais, ao longo do tempo.

Com relação aos valores de concentração obtidos nos ensaios de solubilização, todos os blocos analisados até a idade de 28 dias pertencem à classe II – não inertes.

As amostras dos blocos de controle e dos blocos contendo 5% de PAE não solubilizaram metais pesados. Isso demonstra que a adição de até 5% não apresentaria riscos ao meio ambiente.

Do contrário, adições de 15% e 25% solubilizaram metais pesados. Apesar de haver uma tendência ao encapsulamento desses metais ao longo do tempo, novos estudos serão necessários para avaliar o comportamento ambiental em idades superiores aos 28 dias.

Lixiviação dos extratos das amostras dos blocos contendo adições do PAE em teores de 5%, 15% e 25%, e das amostras dos blocos referência (0%)

4 CONCLUSÕES

As conclusões, que aqui se apresentam, referem-se aos materiais utilizados, aos ensaios, técnicas e equipamentos empregados durante a realização desta pesquisa.

Os resultados dos ensaios de lixiviação para as amostras dos blocos de concreto com e sem adições do PAE, em nenhuma das idades analisadas, não ultrapassaram as concentrações máximas estabelecidas pela NBR 10004.⁽²⁾ Isso significa que os blocos

contendo PAE não pertencem à classe I - produtos perigosos.

Nos ensaios de solubilização, as concentrações do alumínio (Al) e da dureza de carbonato de cálcio (CaCO₃) ficaram acima dos limites máximos permitidos pela NBR 10004⁽²⁾ para todas as amostras analisadas nesse trabalho, inclusive para as amostras de controle.

As amostras contendo 5% de PAE não solubilizaram elementos tóxicos acima da concentração máxima permitida, em nenhuma das idades analisadas. Entretanto, para as amostras contendo 15% e 25% de PAE, elementos como o Cr e o Pb apresentaram concentrações superiores às permitidas.

Todos os blocos analisados, contendo ou não adições de PAE, pertencem à classe II – produtos não inertes.

Desta forma, há a necessidade de novas pesquisas que utilizem o PAE em ambientes cimentantes, principalmente estudos que avaliem o efeito encapsulador da matriz cimentante em idades superiores aos 28 dias.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. RCRA orientation manual, 1990. Disponível em: <<http://www.epa.gov/epaoswer/general/orientat>> Acesso em: nov. 2001.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 1987.
3. RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente. **Código Estadual do Meio Ambiente**. Porto Alegre, 2000. p. 107.
4. ELY, A. **Economia do meio ambiente**. 4.ed. Porto Alegre: Secretaria da Coordenação e Planejamento do Estado do Rio Grande do Sul, 1990.
5. DANIALI, S. Solidification/stabilization of heavy metals in latex modified Portland cement matrices. **Journal of Hazardous Materials**, v. 24, n.2-3, p. 225-230, 1990.
6. VEMPATI, R. K., et al. Solidification/stabilization of toxic metal wastes using coke and coal combustion by-products. **Waste Management**, v. 15, n. 5/6, p. 433-440, 1995.
7. COHEN, B.; PETRIE, J.G. Containment of chromium and zinc in ferrochromium flue dusts by cement-based solidification. **Canadian Metallurgical Quarterly**, v. 36, n. 4, P251-260, Oct. 1997.
8. WILES, C.C. A review of solidification/stabilization technology. **Journal of Hazardous Materials**, v. 14, n. 1 p. 5-21, 1987.
9. COCKE, D. L. ; Yousuf, M.; Mollah, A.; Parga, J. R.; Hess, T. R.; Dale Ortego, J. An XPS and SEM/EDS characterization of leaching effects on lead - and zinc – doped Portland cement. **Journal of Hazardous Materials**, v. 30, n. 1, p. 83-95, Mar. 1992.

10. VARGAS, A. S. **Estudo da viabilidade do uso do pó de aciaria elétrica a arco em blocos de concreto para pavimentação**. 2002. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Engenharia de Minas, Materiais e Metalurgia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
11. BREHM, F.A. ; MORAES, C. A. M.; GRAFFITTI, D. F.; VILELA, A. C.; MAFALDO, I. Caracterização química, térmica e estrutural de pós de aciaria elétrica. In: Seminário de fusão, refino e solidificação, 13., 2001, Salvador. **Anais...** São Paulo: ABM, 2001. p.67-75.
12. NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**, São Paulo: PINI, 1997.
13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005**: lixiviação de resíduos – procedimento. Rio de Janeiro, 1987.
14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006**: solubilização de resíduos – procedimentos. Rio de Janeiro, 1987.
15. PEREIRA C. F.; Rodríguez-Piñero, M.; Vale, J. Solidification/stabilization of electric arc furnace dust using coal fly ash. **Journal of Hazardous Materials**, v. 82, n.2, p. 183-195, Mar. 2001.
16. HAMILTON, I. W.; SAMMES, N. M. Encapsulation of steel foundry bag house dusts in cement mortar. **Cement and concrete research**, v. 29, n.1, p.55-61, Jan. 1999.
17. PERA, J.; Thevenin, g.; Chabannet, M. Design of a novel system allowing the selection of an adequate binder for solidification/stabilization of wastes. In: Materials Research Society Symposium on Structure-Property Relationships in Hardened Cement Paste and Composites, Boston, 1996. **Cement and Concrete Research**, v. 27, n. 10, p. 1533-1542, Oct. 1997.
18. TAMÁS, F. D. ; Csetényi, L.; Tritthart, J. Effect of absorbents on the leachability of cement bonded electroplating wastes. **Cement and Concrete Research**, v. 22, n.2-3, p. 399-404, Mar./May 1992.
19. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**: cimento Portland composto– especificação. Rio de Janeiro, 1991.

Recebido em: 02/03/05

Aceito em: 09/08/05

Proveniente de: CONGRESSO ANUAL DA ABM - INTERNACIONAL, 59., 2004, São Paulo - SP. São Paulo : ABM, 2004.