



## TEORES DE METAIS PESADOS EM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO EM SALVADOR/BA, BRASIL

**José Antonio Ribeiro de Lima (1); Vanderley Moacyr John (2); Viviana Maria Zanta (3)**

- (1) Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: [RLIMA1@TERRA.COM.BR](mailto:RLIMA1@TERRA.COM.BR)  
(2) Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: [vanderley.john@poli.usp.br](mailto:vanderley.john@poli.usp.br)  
(3) Grupo de Resíduos Sólidos – Departamento de Engenharia Ambiental - Escola Politécnica - Universidade Federal da Bahia (UFBA), Brasil – e-mail: [zanta@ufba.br](mailto:zanta@ufba.br)

### RESUMO

Tem havido, no Brasil, avanços na gestão de resíduos de construção, com provável redução de impactos ambientais. Entretanto, o potencial poluidor da fração mineral deste resíduo ainda não foi objeto de muitas pesquisas e esta avaliação é o objetivo deste trabalho, em que foi estudado material similar ao agregado reciclado pré-classificado, composto por material triado passante em #\\$ 40 mm ou # 50 mm, sem britagem. Foram estudadas 30 amostras obtidas em Salvador/BA, submetendo-as a ensaios de determinação de teores totais de As, Cr, Hg, Cd, Se e Pb, por digestão ácida e espetrofotometria de absorção atômica. Arsênio e Cr foram encontrados em 11 e 16 amostras, respectivamente. Cádmio e Hg não foram encontrados e Se e Pb ocorreram em 10 % das amostras. Não foram identificadas relações matemáticas entre os teores de metais encontrados e parâmetros como: composição, origem, teor de materiais não-minerais e teor de finos. Os resultados contribuem para avaliar a segurança ambiental da gestão de resíduos de construção conforme legislação atual. A próxima etapa da pesquisa será a realização de ensaios de lixiviação de coluna nas amostras com maiores teores de contaminantes.

**Palavras-chave:** resíduos de construção; contaminação ambiental; avaliação ambiental; lixiviação.

### ABSTRACT

There have been, in Brazil, advances in C&D debris management, aiming at the reduction of environmental impacts related to this waste. However, the pollution potential of the mineral part of the waste is not still studied properly. This article presents a study of the total amount of heavy metals in the mineral part of C&D waste. The samples were obtained from the screening of the mineral part of the C&D waste after manual sorting and before crushing. It was studied 30 samples from Salvador/BA, Brazil, submitted to tests for determination of concentration of As, Hg, Se, Cd, Cr, and Pb. Arsenic and Cr were the most commonly found metals. Cd and Hg were not found at all and Pb and Se were found in 10% of the samples. It was not found mathematical relations between metal concentrations and visual composition, non-mineral materials content, and graining. The next step will be the study of the samples with the higher concentrations of pollutants in column leaching test.

### 1. INTRODUÇÃO

A gestão do resíduo de construção no Brasil tem avançado, principalmente após a publicação da Resolução Conama 307/2002 (CONAMA, 2002) que, entre outras diretrizes, incentiva o reuso e reciclagem dos materiais que compõem este resíduo. No entanto, para uma reciclagem ambientalmente segura, é necessário conhecer o potencial de contaminação envolvido e há poucos estudos nesta área (ANDERSSON;NILSSON, 2004; ANDERSSON;STROMVALL, 2001; SLOOT, 1996), principalmente considerando-se que muitos materiais que compõem o resíduo de construção, como

tintas, adesivos, produtos de madeira, revestimentos sintéticos, etc., contêm substâncias perigosas (ASSIMAKOPOULOS; HELMIS, 2004; GIRMAN et al, 1986; HAWTHORNE et al, 1987; JONES, 1999; MOLHAVE, 1982; WANNER, 1986).

Em estudo de concretos com cinzas volantes e escória de alto forno na Suécia, Togero (2004) concluiu que 10 % do tiocianato presente no concreto pode lixiviari, sendo que entre 6% e 8 % são liberados em até 30 dias. A pesquisadora verificou, também, lixiviação de Pb, Br, IPBC, tolilfluanida e DCOIT em tintas com biocidas em fachadas de madeira. Na mesma linha, Andersson et al. (2004), na Noruega, detectaram liberação considerável de PCB em revestimentos de fachadas e tintas.

Nos EUA, Wallace et al (1987) detectaram altas emissões de clorofórmio, tetracloreto de carbono, 1,1,1-tricloroetano, *n*-decano, *n*-undecano, *p*-diclorobenzeno, 1,2-dicloroetano e estireno em carpetes, papel de parede e adesivos, concluindo que outros materiais também podem causar contaminação ambiental.

Davis et al (2001), nos EUA, concluíram que revestimentos e coberturas podem lixiviari quantidades consideráveis de Pb, Cu, Cd e Zn. Estudo semelhante na Polônia também concluiu que os materiais de cobertura contribuem para a poluição da água de chuva drenada (POLKOWSKA et al, 2002).

Ao se tornar resíduos, os materiais deixam de estar segregados e bem distribuídos geograficamente e passam a estar fragmentados, misturados, mais expostos à ação do ambiente e concentrados em menos locais na malha urbana (aterros), o que pode aumentar a liberação de contaminantes neles presentes. Os resíduos de construção podem, ainda, ser misturados a outros resíduos durante sua gestão (JOHN, 2000; LIMA, 1999; PINTO, 1999; TOWNSEND, 2004). Em tese, a fração mineral do resíduo de construção é menos perigosa que demais, e sua fração miúda apresenta potencial contaminante maior que a fração graúda (SCHULZ; HENDRICKS, 1992).

Em estudo em 21 aterros de resíduos de construção nos EUA, foram analisados 305 parâmetros, dos quais 93 ocorreram pelo menos uma vez (USEPA, 1995; 1998). Destes, 24 ocorreram pelo menos uma vez acima dos valores admissíveis, como: Cd, Fe, Pb, As, Cr, Ni e Cianeto. Alguns dos parâmetros orgânicos encontrados em vários casos foram: acetona, ácido benzóico, *cis*-1,1-dicloroetano, Etilbenzeno, 4-Metilfenol, 2-4-5-T e Xileno, 1,2-dicloroetano, dieldrin, cloreto de metileno,  $\alpha$ -hexacloro de benzeno e tricloroeteno. Ao final, sete parâmetros foram considerados importantes (Tabela 1), mas se concluiu que não causam contaminação significativa, por serem secundários (Mn, Fe, SDT) ou por ocorrer em baixas concentrações. O estudo, porém, abrangeu apenas 1,2 % dos aterros existentes no país, não podendo ser considerado conclusivo.

**Tabela 1.** Contaminantes potencialmente danosos em aterros de resíduos de construção (USEPA, 1995)

Parâmetro	Aterros analisados	Ocorrência do parâmetro no eluente	Casos de teores acima dos limites	Mediana versus valores de referência
1,2-dicloroetano	9	3	3	4
Cloreto de metileno	9	4	3	3
Cádmio	19	14	12	2
Ferro	20	20	19	37
Chumbo	18	15	13	4
Manganês	14	14	13	59
Sólidos dissolv. totais	18	17	15	4

Em outro estudo nos EUA, foram analisados 11 metais (Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Ag e Zn) em resíduos de construção de 13 recicadoras, destinados a substituição de solo em serviços de construção, concluindo-se que suas concentrações totais nas amostras são pequenas, embora sejam maiores que no solo natural. Em ensaios de lixiviação das amostras, o As apresentou maior liberação em comparação com a concentração total (6,5%). Concluiu-se ser possível a contaminação por Al, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg e Ni, embora os autores levantem dúvidas sobre a possibilidade de contaminação em situações práticas (TOWNSEND et al., 2004). Outro estudo do mesmo autor mostrou que o gesso acartonado pode contaminar o solo com sulfato (JANG; TOWNSEND, 2001).

O resíduo de construção brasileiro é diferente dos resíduos europeus e americanos, sendo necessários estudos nacionais sobre este material. Bianco et al (2006) estudaram a presença de metais pesados em resíduos de construção em estado bruto, a serem processados em unidades de reciclagem, concluindo que há a possibilidade de lixiviação para o ambiente, apesar das diferenças entre as condições de ensaios e as condições práticas.

Este trabalho apresenta os resultados de um estudo de determinação do teor de metais pesados em partículas de resíduos de construção classe A (CONAMA, 2002) menores que 37,5 mm, coletadas no aterro de resíduos de construção de Salvador/BA. Esta fração abaixo de 37,5 mm é similar a tipo específico de agregado reciclado que vem sendo comercializado no Brasil, que é obtido sem britagem e que é, possivelmente, a fração mais contaminada do resíduo de construção classe A.

## **2. OBJETIVO**

A pesquisa apresentada neste artigo teve por objetivo a determinação de teores totais de As, Cd, Cr, Hg, Pb, Se, em amostras de resíduos de construção passantes em # 37,5 mm, obtidas no aterro de resíduos de construção municipal, em Salvador/BA, Brasil. Estes metais pesados foram escolhidos por estarem presentes em vários materiais de construção e pela sua alta toxicidade (Fontes: ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry; CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental; USEPA - US Environmental Protection Agency).

## **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1. Coleta e preparação de amostras**

As amostras foram obtidas durante os dias 18, 19 e 20 de junho de 2007 no aterro de resíduos de construção da Prefeitura de Salvador/BA, conhecido como Aterro de Canabrava, o qual atende a empresas privadas de coleta de entulho e a empresas prestando serviços à prefeitura, de limpeza de deposições irregulares.

Foram amostrados 30 carregamentos na balança de entrada do aterro que, por inspeção visual, apresentavam características adequadas para processamento em recicadoras brasileiras, ou seja, predominância de resíduos de construção classe A e pequena ou nenhuma presença de contaminantes como gesso e materiais não-minerais (ABNT, 2004c).

Como resultados da amostragem, foram recolhidas, de forma aleatória e por ordem de chegada ao aterro, 14 amostras de carregamentos de obras e 16 de limpeza de terrenos.

De acordo com procedimento estabelecido pelos pesquisadores, cada carregamento foi espalhado e, em seguida, foram recolhidas 10 frações de 20 litros cada, de diferentes pontos da pilha, buscando reproduzir da melhor maneira possível a composição do carregamento.

Os 200 litros obtidos foram dispostos sobre lonas plásticas secas e limpas e, em seguida, peneirados em # 37,5 mm. O retido foi eliminado e o passante foi homogeneizado e quarteado conforme norma NBR 10007 (ANBT, 2004a), obtendo-se amostras de 40 litros, que foram acondicionadas em sacos de nylon e identificadas. As amostras foram transportadas à Universidade Federal da Bahia e estocadas em local adequado.

Considera-se que se obteve material semelhante ao agregado reciclado pré-classificado obtido em recicadoras em operação no país. Esta fração pode representar mais de 25% do volume do resíduo e sua produção evita o desgaste do britador e reduz os custos de produção. Este agregado pode ser usado em pavimentação, entre outros serviços, conforme norma NBR 15116 (ABNT, 2004d).

### **3.2. Determinação da concentração de metais pesados**

Já no laboratório, as amostras foram reduzidas a 200 ml de material passante em # 2,00 mm e submetidas a ensaios de determinação de teores totais dos metais pesados Arsênio, Cádmio, Cromo, Mercúrio, Chumbo e Selênio. As concentrações dos metais foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica em equipamento Varian (F AAS).

Os ensaios de determinação de concentração de As, Hg e Se foram realizados conforme método ASTM D 5258-02 (ASTM, 2001). Por este método, 1 g da amostra passante em # 2 mm, foi secado a 95°C e então digerido por 30 minutos com ácido nítrico (1+1) em um recipiente fechado em equipamento de microondas, sob pressão de 100 psi. O conteúdo do recipiente foi, então, resfriado ao ambiente e filtrado. Conforme a norma ASTM D 5258-02, este método libera elementos não ligados intersticialmente nas estruturas de silicatos, fornecendo informações sobre a disponibilidade de elementos para lixiviação.

Os ensaios de determinação de concentração de Cd, Cr e Pb foram realizados conforme método ASTM 4698-92 (ASTM, 2002). Por este método, 0,5 g da amostra, com tamanho de partícula menor que 2 mm, foi secado a 105°C e, então, reduzido a passantes em # 150 µm. Este material foi digerido em um bêquer à temperatura de 200°C por 30 min. Após 5 minutos de espera com a placa desligada, foram adicionados ácido hidrofluorídrico e ácido hidroclorídrico ao bêquer, aquecendo-se novamente até que o conteúdo ficasse totalmente seco. Este procedimento foi repetido outras vezes e o material seco finalmente obtido foi dissolvido em água, obtendo-se a solução com a qual a concentração de metais foi determinada por espectrofotometria de absorção atômica por chama.

### **3.3. Composição por análise visual**

Este ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 15116 (ABNT, 2004d), utilizando 4 kg de cada amostra, que foram peneirados em # 4,8 mm e a fração retida foi lavada em água e secada em estufa a 105°C, esfriando em seguida por 6 h. Cada fragmento da amostra foi separado com uso de lupa manual em um dos grupos: G1: fragmentos com pasta de cimento endurecida em mais de 50% do volume; G2: fragmentos com rocha em mais de 50% do volume; G3: fragmentos com cerâmica branca ou vermelha, não polida, em mais de 50% do volume; G4: materiais não minerais de natureza orgânica (madeira, plástico, etc.) e de contaminantes como vidro, gesso, etc. As massas foram determinadas em balança com aproximação de 0,1 g, a partir das quais as porcentagens de cada grupo foi calculada.

### **3.4. Composição granulométrica**

Este ensaio foi realizado conforme a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003), utilizando-se 15 kg de cada amostra, que foram secados em estufa até obtenção de constância de massa. A amostra foi processada em agitador eletromecânico de peneiras e separada em passantes de várias medidas, conforme exigências da norma. A partir da pesagem dos materiais retidos em cada peneira, calcularam-se as porcentagens em massa de cada fração, apresentadas na tabela 6.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nos ensaios de determinação de concentração total de metais, cujos resultados constam na tabela 2, os metais Arsênio e Cromo foram os mais encontrados, Cádmio e Mercúrio não ocorreram e Chumbo e Selênio foram encontrados em apenas 10% das amostras. Na comparação destes resultados com os obtidos por Townsend et al. (2004), que estudou agregado pré-classificado para substituição de solo, observa-se que na pesquisa de Townsend foram detectados contaminantes em maior parcela das amostras (tabela 3), o que pode ser devido a fatores, como: menores limites de detecção do método e maior uso de materiais sintéticos nos EUA. (TOWNSEND et al., 2004; USEPA, 1995; 1998).

Os resultados das determinações de teores de metais pesados não permitiram a realização de uma análise estatística robusta. Entretanto, no caso de contato das amostras com água, é provável que haja liberação de metais e contaminação da água, a depender da quantidade de resíduos e de água, entre outros fatores. Concluiu-se que o Cromo é um dos contaminantes mais preocupantes, por ocorrer em

mais de 50% das amostras e em valores relativamente altos. Outro contaminante importante é o Arsênio, que ocorre em mais de 1/3 das amostras. O Chumbo, apesar de apresentar valores considerados altos, ocorreu em apenas 10% das amostras.

**Tabela 2.** Resultados da determinação de concentração de metais e da composição por análise visual

N.º	Cr	Pb	As	Se	Origem	Coletor	G1 <sup>(2)</sup>	G2 <sup>(2)</sup>	G3 <sup>(2)</sup>	G4 <sup>(2)</sup>
1	-	-	-	-	Reforma	Particular	50,07	28,01	20,72	1,20
2	-	-	2,3	-	Edificação nova	Particular	67,54	18,8	10,85	2,81
3	-	-	1,6	-	Reforma	Particular	88,35	2,44	7,75	1,46
4	46	-	1,4	-	Limpeza terrenos	SESP <sup>(1)</sup>	28,07	50,02	19,15	2,76
5	-	-	5,3	-	Reforma	Particular	51,45	7,22	40,74	0,59
6	-	-	0,9	-	Edificação nova	Particular	95,01	4,73	0,00	0,25
7	-	-	1,1	-	Limpeza terrenos	SESP <sup>(1)</sup>	27,23	56,18	8,92	7,66
8	-	-	4,3	-	Limpeza terrenos	SESP <sup>(1)</sup>	64,31	9,98	24,91	0,80
9	-	-	1,8	-		SESP <sup>(1)</sup>	78,3	16,28	4,44	0,98
10	25	-	2,3	-	Limpeza terrenos	SESP <sup>(1)</sup>	68,17	15,64	9,43	6,76
11	-	-	2,9	-	Reforma	Particular	80,28	7,86	10,55	1,31
12	35	-	-	-	Reforma	Particular	51,74	2,88	44,79	0,59
13	47	-	-	0,5	Limpeza terrenos	SESP <sup>(1)</sup>	45,4	17,56	34,03	3,01
14	44	-	-	-	Limpeza terrenos	SESP <sup>(1)</sup>	44,3	28,28	25,21	2,20
15	55	-	-	0,8	Limpeza terrenos	SESP <sup>(1)</sup>	50,65	16,09	30,26	3,00
16	35	-	-	-	Demolição	Particular	49,15	22,54	25,86	2,44
17	37	-	-	-	Edificação nova	Particular	52,39	7,19	39,54	0,88
18	-	-	0,5	-	Edificação nova	Particular	69,33	1,24	21,39	8,03
19	-	-	-	1,0	Edificação nova	Particular	62,85	16,66	17,69	2,80
20	48	78	-	-	Limpeza terrenos	SESP <sup>(1)</sup>	70,07	5,64	22,17	2,12
21	89	44	-	-	Limpeza terrenos	SESP <sup>(1)</sup>	41,68	31,66	25,52	1,14
22	60	-	-	-	Limpeza terrenos	SESP <sup>(1)</sup>	52,37	22,7	21,7	3,23
23	63	141	-	-	Demolição	Particular	54,07	1,64	43,28	1,01
24	35	-	-	-	Limpeza terrenos	SESP <sup>(1)</sup>	30,85	32,25	34,38	2,52
25	75	-	-	-	Limpeza terrenos	SESP <sup>(1)</sup>	34,11	54,42	11,00	0,46
26	-	-	-	-	Limpeza terrenos	SESP <sup>(1)</sup>	53,21	9,55	34,93	2,31
27	38	-	-	-	Limpeza terrenos	SESP <sup>(1)</sup>	34,22	5,12	55,62	5,03
29	-	-	-	-	Limpeza terrenos	SESP <sup>(1)</sup>	60,35	36,89	0,49	2,27
29	-	-	-	-	Limpeza terrenos	SESP <sup>(1)</sup>	61,18	8,21	28,58	2,03
30	25	-	-	-	Reforma	Particular	34,81	43,22	19,95	2,02

(1) SESP – veículos a serviço da Secretaria de Serviços Públicos de Salvador

(2) Resultados de determinação de composição por análise visual, conforme norma ABNT 15116, determinando-se os grupos de materiais: G1: fragmentos com pasta de cimento endurecida em mais de 50% do volume; G2: fragmentos com rocha em mais de 50% do volume; G3: fragmentos com cerâmica branca ou vermelha, não polida, em mais de 50% do volume; G4: materiais não minerais de natureza orgânica (madeira, plástico, etc.) e de contaminantes como vidro, gesso, etc.

Considerando-se que as deposições irregulares são formadas, em geral, por diversos tipos de resíduos, era esperado que as amostras destes locais tivessem maiores teores de metais que as provenientes de obras. Isso ocorreu para o Cromo, detectado em 69% das amostras de limpeza pública e apenas 36% nas amostras de obras. O Arsênio, entretanto, ocorreu em 25% das amostras de limpeza pública e 50% nas amostras de obras, indicando que não se pode estabelecer, com base nesta pesquisa, uma correlação direta entre o teor de contaminantes e o fato de o resíduo ser obtido de deposições irregulares.

Em linha de raciocínio semelhante, era esperado que as concentrações de contaminantes fosse maiores nas amostras com maior participação de materiais não-minerais. As amostras de deposições irregulares apresentaram, de fato, maiores participações de materiais do Grupo 4 (tabela 4), mas não foram

identificadas relações entre contaminantes e teores de materiais deste grupo no conjunto das 30 amostras, o que pode ser verificado pelos baixos coeficientes de determinação listados na tabela 5.

**Tabela 3.** Comparação dos resultados da pesquisa com os resultados de Townsend et al. (2004)

	Resultados da pesquisa USP/UFBA (Canabrava)						Resultados da pesquisa de Townsend et al. (2004)				
	As	Cd	Pb	Cr	Hg	Se	As	Cd	Pb	Cr	Hg
Teores (mg/kg)	0,5 a 5,3	-	44 a 141	25 a 89	-	0,5 a 1,0	< 0,5 a 51	< 0,25 a 5,5	< 50 a 1000	5 a 98	0,023 a 2,4
LDM (mg/kg)	0,5	10	25	25	2	0,5	0,3	0,5	5	5	0,002
Amostras c/ contam. (%)	36,67	0,00	10,00	53,33	0,00	10,00	96,97	48,15	98,99	100	100

LDM=Limite de detecção

**Tabela 4.** Composição por análise visual (% em massa) conforme a NBR 15116 (ABNT, 2004d)

Tipo	Amostras obtidas em limpeza de deposições irregulares			Amostras obtidas em construções		
	Mediana	Maior valor	Menor valor	Mediana	Maior valor	Menor valor
<b>G1</b>	48,03	70,07	27,23	58,46	95,01	34,81
<b>G2</b>	20,13	56,18	5,12	7,54	43,22	1,24
<b>G3</b>	25,06	55,62	0,49	20,34	44,79	0,00
<b>G4</b>	2,42	7,66	0,46	1,26	8,03	0,25

**Tabela 5.** Coeficientes de determinação ( $r^2$ ) obtidos em regressão linear das amostras pesquisadas, para teores de contaminantes e composição por análise visual

Metal pesado	G1	G2	G3	G4
As	0,1018	0,0342	0,030	0,0074
Cr	0,2562	0,0635	0,130	0,0155

Pela norma NBR 15116, apenas 12 das 30 amostras são aceitáveis para uso em concreto pelo critério do teor de materiais não minerais ( $\leq 2\%$ ). Para uso em pavimentação, 25 amostras são aceitáveis ( $\leq 3\%$ ). A mistura das 30 amostras teria 2,96% de teor de materiais do não-minerais e seria aplicável em pavimentação.

Em todas as amostras foram identificadas quantidades significativas de material fino. A média para passantes em # 4,75 mm foi de 57,38% em massa para as 30 amostras. Para passantes em # 1,18 mm, foi de 41,83% e para passantes em # 0,30 mm, foi de 14,32%. Estudou-se, também, a correlação entre a fração miúda e os teores de contaminantes, mas, ao contrário do que se esperava, os resultados não permitem estabelecer uma correlação direta entre estes fatores.

**Tabela 6.** Determinação da composição granulométrica das amostras (NBT NM 248) (% de massa acumulada)

N.º	37,5 m	19 mm	9,5 mm	4,75mm	2,36mm	1,18mm	600µm	300µm	150µm	<150µm
1	0,00	15,91	30,77	42,37	50,84	58,35	69,43	84,42	95,73	100,00
2	0,00	12,21	24,51	36,65	45,48	53,47	66,10	83,18	95,32	100,00
3	0,00	30,09	50,90	63,97	71,13	76,74	83,98	90,44	95,99	100,00
7	0,00	16,40	34,21	48,55	59,56	69,07	79,47	87,74	93,89	100,00
8	0,00	18,82	36,94	48,64	55,73	61,21	69,36	83,04	94,86	100,00
9	0,00	11,37	33,53	68,42	79,22	84,27	88,73	93,62	97,76	100,00
10	0,00	5,38	12,91	22,06	31,77	48,37	69,65	88,38	98,41	100,00
11	0,00	17,04	31,02	41,31	49,18	57,11	69,57	87,52	95,34	100,00
12	0,00	10,63	29,60	42,19	50,47	57,05	67,97	85,98	96,05	100,00
15	0,00	7,94	17,28	25,96	35,98	49,23	70,15	84,80	94,34	100,00
16	0,00	14,83	30,98	42,83	51,04	57,74	67,87	80,84	95,47	100,00
18	0,00	15,59	27,28	34,63	41,21	48,20	58,82	78,18	95,35	100,00
20	0,00	14,92	29,97	40,24	47,26	53,59	63,79	83,99	95,53	100,00
21	0,00	5,91	16,47	22,60	26,69	31,61	42,19	70,62	94,91	100,00
22	0,00	24,37	36,67	44,56	50,24	58,28	71,84	86,98	96,60	100,00
23	0,00	24,54	39,91	46,47	50,66	55,05	63,91	83,51	95,55	100,00
24	0,00	24,63	45,44	59,04	66,71	72,56	82,14	92,19	96,52	100,00
25	0,00	16,59	31,71	43,73	52,70	60,81	74,25	89,10	95,77	100,00
26	0,00	10,20	23,21	36,56	45,46	51,72	60,63	86,26	96,91	100,00
27	0,00	20,15	34,55	43,68	50,14	57,00	67,94	82,44	93,73	100,00
28	0,00	16,71	30,35	41,86	52,91	65,02	80,01	91,32	97,32	100,00
29	0,00	14,27	29,68	41,82	52,44	62,61	76,05	89,21	96,74	100,00
30	0,00	22,92	37,07	46,37	53,85	62,64	76,12	87,15	94,72	100,00
31	0,00	12,12	22,58	30,48	37,78	47,48	65,28	86,08	96,71	100,00
32	0,00	13,41	28,17	41,51	53,97	64,97	78,22	89,25	96,41	100,00
33	0,00	22,16	34,95	42,84	47,83	55,69	71,37	82,77	96,92	100,00
34	0,00	23,07	37,38	46,85	54,17	60,70	73,30	89,95	97,23	100,00
35	0,00	19,83	37,09	48,91	56,59	62,79	71,77	84,34	94,58	100,00
36	0,00	14,10	27,34	35,29	41,21	46,66	57,76	82,06	96,09	100,00
37	0,00	18,66	37,86	48,23	51,76	54,98	62,20	85,16	96,28	100,00

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados desta pesquisa mostram que podem ocorrer contaminantes inorgânicos perigosos na fração mineral dos resíduos de construção e, consequentemente, nos agregados obtidos da reciclagem destes resíduos. Embora não se possa afirmar que estes contaminantes serão liberados no ambiente de forma perigosa, as grandes concentrações encontradas em algumas amostras levam a crer que esta liberação é possível. Os metais Arsênio, Cromo e Chumbo foram considerados os mais problemáticos dentre os estudados, pelo número de ocorrências e pelas concentrações detectadas em algumas amostras, principalmente considerando os baixos teores admissíveis destes metais na água potável.

Os resultados não permitem estabelecer relações diretas entre concentrações de metais pesados das 30 amostras e conteúdo de finos, origem (obras privadas ou limpeza de terreno) e teor de materiais não-minerais, ao contrário do que esperavam os pesquisadores com base nas informações existentes sobre resíduos de construção. Isso pode ser decorrente, em parte, dos altos limites de detecção do método para alguns metais, como para Chumbo e Cromo.

Não foi possível identificar as fontes dos contaminantes.

Pode-se afirmar que se poderia obter, com o conjunto de carregamentos estudados, um agregado com teor de materiais não-minerais adequado para uso em pavimentação, mas não para uso em concretos, conforme as normas brasileiras.

Na próxima etapa do estudo será pesquisada a lixiviação de contaminantes em ensaios de coluna, utilizando-se as amostras com maiores teores de metais pesados. Nesta etapa, será desejável que os métodos de determinação da concentração de contaminantes nos eluentes apresentem limites de detecção adequados, considerando os limites da Portaria MS 518 (MS, 2004).

É preciso estudar melhor a questão do potencial contaminante dos resíduos de construção para se ter segurança ambiental na gestão deste resíduo no país. À medida que forem implantados aterros de resíduos de construção conforme a norma técnica NBR 15112 (ABNT, 2004b), é desejável que se realizem, também, estudos sobre a contaminação ocorrida em situações reais, baseados na análise da água recolhida em poços de monitoramento.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248. Agregados. Determinação da composição granulométrica.** ABNT. Rio de Janeiro/RJ. 2003.
- \_\_\_\_\_. **NBR 10007. Amostragem de resíduos sólidos.** ABNT. Rio de Janeiro/RJ. 2004a.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15112. Resíduos da construção civil e resíduos volumosos. Áreas de transbordo e triagem.** ABNT. Rio de Janeiro/RJ. 2004b.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15114. Resíduos sólidos da construção civil. Áreas de reciclagem.** ABNT. Rio de Janeiro/RJ. 2004c.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15116. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. Requisitos.** ABNT. Rio de Janeiro/RJ. 2004d.
- ANDERSSON, A; NILSSON, L. O. **Prediction of the long term release of hazardous substances from cement-based material to water.** Department of Building Technology. Building material. Chalmers University of Technology. Suécia, 2004, 10 p
- ANDERSSON, A; STROMVALL, A. M. Leaching of concrete admixtures containing thiocianate and resin acids. **Environmental Science & Technology**, 35(4), 2001, pp 788-793
- ANDERSSON, M; OTTESEN, R.T. VOLDEN, T. Building materials as a source of PCB pollution in Bergen, Norway. **Scientific of the Total Environment**. 35(1-3), Junho 2004, pp 139-144
- ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados.** São Paulo, 2000. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo, 155 p
- ASSIMAKOPOULOS, V; HELMIS, C. G. On the study of a sick building: the case of Athens Air Traffic Control Tower. **Energy and Buildings**, 36(1), 2004, pp 15-22
- ASTM International. **ASTM 5258. Acid Extraction of Elements from Sediments using Closed Vessel Microwave Heating.** ASTM International. E.U.A. 2002.
- ASTM International. **ASTM D 4698 Standard Practice for Total Digestion of Sediment Samples for Chemical Analysis of Various Metals.** ASTM International. E.U.A. 2001.
- BIANCO, G. D.; OGLIARI, C.; SALVADOR, F. S.; PEREIRA, N. C.; CHERIAF, M.; ROCHA, J. D. Determinação de metais pesados em resíduos de construção e demolição. In: VII Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil. São Paulo. **Anais**. São Paulo, IBRACON, 2006.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução 307 de 05/Julho/2002. Brasília/DF, **D.O.U. 17/Julho/2002**
- DAVIS, A; SHOKOUSHIAN, M; NI, S. Loading estimates of lead, copper, cadmium and zinc in urban runoff from specific sources. **Chemosphere**, 44(5), Agosto 2001, pp 997-1009
- ENGELSEN, C. J. LUND, O. J; HANSEN, E; HANSESVEEN, H. **Leaching of harmful substances from recycled aggregates in laboratory and field site.** Norwegian Building Research Institute, Noruega, 2002

- GIRMAN, J. R; HODGSON, A. T; NEWTON, A. S; WINKES, A. W. Emissions of volatile organic compounds from adhesives with indoor applications. **Environment International**. 12(1-4), 1986, pp 317-321
- HAWTHORNE, A. R; MATTHEWS, T. G. Models for estimating organic emissions from building materials: formaldehyde example. **Atmospheric Environment** (1967), 21(2), 1987, pp 419-424
- JANG, Y. C; TOWNSEND, T. Sulfate leaching from recovered construction and demolition debris fines. **Advances in Environmental Research**, 5(3), Agosto 2001, pp 203-217
- JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo, 113 p
- JONES, A. P. Indoor air quality and health. **Atmospheric Environmet**, 33(28), Dezembro 1999, pp 4535-4564
- LATTERZA, L. **Concreto com agregado graúdo proveniente da reciclagem de resíduos de construção e demolição. Um novo material para fabricação de painéis leves de vedação**. São Carlos, 1997. Dissertação (mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1997
- LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. São Carlos, 1999. Dissertação (mestrado). EESC/USP, 237 p
- MOLHAVE, L. Indoor air pollution due to organic gases and vapours of solvents in building materials. **Environment International**, 8(1-6), 1982, pp 117-127
- MS – MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria MS-518/2004**. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. 2004
- NEN - NEDERLANDS NORMALISATIE-INSTITUUT. **NEN 7343. Leaching characteristics of solid earthy and stony buildings and waste materials. Leaching tests. Determination of the leaching of inorganic components from granular materials with the column test**. NEN, 1995.
- PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo, 1999. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo, 189 p
- PINTO, T. P. **Perda de materiais em processos construtivos tradicionais**. São Carlos, 33p. Pesquisa de campo. Departamento de Arquitetura e Planejamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo / texto datilografado, 1989
- POLKWSKA, Z; GORECKI, T; SNIK, J. N. Quality of roof runoff waters from an urban region (Gdansk, Poland). **Chemosphere**, 49(10), Dezembro 2002, pp 1275-1283
- SCHULZ, R. R; HENDRICKS, F. **Recycling of masonry rubble. Recycling of demolished concrete and masonry. Part 2** (editado por T. C. Hansen). Londres, E&FN Spon, 1992
- SLOOT, H. A. Development in evaluating environmental impact from utilisation of bulk inert wastes using laboratory leaching tests and field verification. **Waste Management**, 16(1-3), 1996 pp 65-81
- TOGERO, A. **Leaching of hazardous substances from concrete constituents and painted wood panels**. Suécia, 2004. Tese (doutorado). Chalmers University of Technology. 101 p
- TOWNSEND, T; TOLAYMAT, T; LEO, K; JENNA JAMBECK, J. Heavy metals in recovered fines construction from construction facilities in Florida. **Science of the Total Environment**, 332(1-3) Outubro 2004, pp 1-11
- TOWNSEND, T. G; JANG, Y. C. WEBER, W. **Continued research into the characteristics of leaching from construction and demolition waste landfills**. State University System of Florida, EUA, 2000
- USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Characterization of building-related construction debris in the United States**. USEPA, 1998.
- \_\_\_\_\_ **Damage cases: construction and demolition waste landfills**. USEPA. 1995

WALLACE, L. A; PELLIZZARI, E; LEADERER, B; ZELON, H; SHELDON, L. Emissions of volatile compounds from building materials and consumer products. **Atmospheric Environment** (1967), 21(2), 1987, pp 385-393

WANNER, H. U; KUHN, M. Indoor air pollution by buiding materials. **Environment International**, 12(1-4), 1986, pp 311-315

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Empresa de Limpeza Pública Urbana de Salvador (LIMPURB), cuja equipe, especialmente a Sra. Ana Maria Vieira de Oliveira e o Sr. Pedro Roberto G. Rabelo, contribuiu de maneira decisiva para a viabilização do trabalho. Agradecem, também, ao CNPq pelo apoio financeiro e aos alunos de graduação da UFBA, Letícia Gabriela Paz de Souza e Daniel Bomfim Rocha dos Santos, pela valiosa participação em todas as etapas dos ensaios.