

# **Quantificação das correntes residuais do ciclo do cobre na Bahia utilizando a ferramenta Análise de Fluxo de Massa**

**LEITE, Raul (IFBA); TANIMOTO, Armando (IFBA).**

**Súmula.** O presente trabalho objetiva a utilização da ferramenta Análise de Fluxo de Massa (AFM) para quantificar os correntes residuais presentes no ciclo do cobre na sociedade baiana. A base anual escolhida foi o ano de 2010, utilizando as fontes de dados disponíveis, e estimando-se as informações necessárias a partir de indicadores socioeconômicos.

**Palavras chave:** resíduo, cobre, fluxo.

**Abstract.** This paper aims to use the tool Mass Flow Analysis (MFA) to quantify the waste streams present in the copper cycle in Bahia. 2010 was chosen as the year of investigation. Available data was used to estimate the necessary information from socioeconomic parameters.

**Keywords:** waste, copper, flow.

## **1 INTRODUÇÃO**

Na Bahia encontra-se a Mineração Caraíba, empresa pioneira no que diz respeito à mineração de cobre, e a empresa Paranapanema, única produtora de cobre eletrolítico do país. Devido a essas peculiaridades, é fundamental conhecer o ciclo do cobre e avaliar o impacto ambiental gerado pelas atividades desse setor no território baiano.

Para contabilização dos fluxos residuais de cobre, utilizou-se a ferramenta de Análise de Fluxo de Massa (AFM), a qual consiste em um método que, através de balanços materiais, analisa e estabelece o padrão dos fluxos e seus estoques.

A utilização da AFM contribuirá de forma significativa para que os setores deste segmento possam compreender melhor seus fluxos e encontrar rotas alternativas para potencializar seus investimentos e, principalmente, identificar fontes potenciais de cobre para suprir o mercado interno, tendo em vista o caso da Mineração Caraíba, cujo esgotamento das minas está previsto para o ano de 2012.

## **2 METODOLOGIA**

A base anual escolhida foi o ano de 2010, a partir da qual serão contabilizados os principais destinos dos produtos de cobre após a etapa de uso pela sociedade. No que se refere à gestão de resíduos, os fluxos residuais gerados são agrupados nas seguintes categorias (Bertram et al, 2000): domésticos municipais (RSM); da construção e

demolição (C&D); equipamentos eletro-eletrônicos (REEE); veículos sucateados (VS); industriais perigosos (RIP) e não perigosos (RINP).

Para o cálculo dos resíduos municipais, utilizou-se a quantidade de lixo coletado na Bahia no ano de 2000 fornecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2000). Para correção, adotou-se que a geração per capita de RSM manteve-se constante, uma vez que não se esperam alterações consideráveis no perfil de depositários de resíduos domésticos ao longo dos últimos dez anos.

No caso da corrente residual C&D, através da relação entre o perfil populacional de cada município e a geração de resíduos de C&D por dia útil, propostas por Pinto (2000), obtém-se uma estimativa do montante de entulho gerado na Bahia.

Para quantificar o fluxo de resíduos REEE, utilizou-se dados do IBGE referentes a quantidade de aparelhos eletro-eletrônicos na Bahia, bem como a massa média de cada aparelho de acordo com informações dos fabricantes reunidos em site de compras. Adotou-se o tempo de vida útil para cada aparelho utilizado por Rocha (2008), em estudos realizados em Minas Gerais.

No que tange a corrente residual VS, utilizou-se a curva de sucateamento para veículos leves proposta por Uria (1996), a partir da qual se obteve o montante de veículos sucateados no ano de 2010, utilizando dados dos últimos 20 anos. Para veículos pesados, o tempo de vida médio foi o parâmetro utilizado para se obter a taxa de geração de pesados, adotando-se com linear a contribuição de cada ano anterior no montante de veículo.

Devido à escassez de dados, a corrente de resíduos industriais, sejam perigosos ou não, foi obtida a partir de cuidadosas extrapolações. A partir dos dados sobre a geração de resíduos em algumas empresas que representam mais de 50% da capacidade instalada do Pólo Petroquímico de Camaçari (TANIMOTO, 1997), estimou-se a quantidade de resíduos gerada por todo o complexo. Considerando-se a contribuição do Pólo no produto interno bruto (PIB) da Bahia, e o crescimento das atividades do complexo até o ano de 2010, estimou-se a montante de resíduos industriais gerado no ano de 2010.

### **3 RESULTADOS**

#### **3.1 Resíduos domésticos municipais**

Tabela 1 – Geração de RSM na Bahia

	Bahia	Unidade
Geração (2000) <sup>1</sup>	10.398	kg/dia útil
População (2000) <sup>1</sup>	13.070.250	hab
Geração per capita	0,80	kg/hab.dia
População (2010) <sup>1</sup>	13.633.969	hab
Geração (2010)	10.846.778	kg/dia útil

<sup>1</sup>Fonte: IBGE

No caso da corrente MSW, como mencionado anteriormente, a geração per capita foi mantida, e o montante gerado em 2010 foi obtido multiplicando a geração per capita pela população da Bahia em 2010.

#### **3.2 Resíduos de equipamentos eletro-eletrônicos (REEE)**

Os principais aparelhos eletro-eletrônicos na sociedade baiana foram destacados, e a quantidade de cada um foi obtida a partir de dados do IBGE (2009), utilizando indicadores sociais para estimativa referente a 2010.

Tabela 2 – Massa média e vida útil dos equipamentos eletro-eletrônicos na Bahia

Aparelho	Massa média <sup>1</sup> (kg)	Vida útil <sup>2</sup> (anos)	Subtotal <sup>1</sup>	Sucateamento (kg/ano)
Telefone fixo	0,363	2	1.198.840	217.689
Desktops	12,4	5	515.432	1.274.836
Geladeira	56,8	15	3.475.690	13.159.735
Freezer	54,5	15	276.060	1.003.018
TV em cores	23,1	13	3.853.230	6.842.941
Máquina lavar	35,6	11	736.160	2.384.712
Rádio	4,7	5	3.562.120	3.365.016
Celular	0,103	2	4.896.842	252.187
Ar cond.	39,7	10	148.940	590.795
Microondas	11,3	8	282.902	399.599
Notebook	2,13	5	387.568	165.362
Total	-	-	19.333.784	29.655.890

Fonte: <sup>1</sup>Site de compras. <sup>2</sup>Rocha (2008)

Com dados sobre a massa média de cada aparelho e o seu tempo de vida útil, e quantidade de aparelhos na sociedade baiana, o fluxo de REEE foi determinado a partir da seguinte equação:

$$G_{REEE} = \sum \frac{Q_i \times \overline{M}_i}{T_i} \quad (1)$$

Em que  $G_{REEE}$  é a geração de REEE,  $Q_i$  é a quantidade de aparelhos  $i$ ,  $\overline{M}_i$  é a massa média dos mesmos, e  $T_i$  o tempo de vida útil de cada aparelho  $i$ .

### 3.3 Resíduos de veículos sucateados (VS)

Para os veículos leves, utilizou-se a curva de sucateamento, aplicando-se a seguinte equação para obter o total de veículos sucateados em 2010:

$$L_s = \sum L_t \times P_t - \sum L_t \times P_{t+1} \quad (2)$$

Em que  $L_s$  é a quantidade de veículos leves sucateados,  $L_t$  a quantidade de leves licenciados no ano  $t$ , e  $P$  a porcentagem referente ao sucateamento no ano  $t$ .

No caso dos veículos pesados, o total de sucateados representa 1/17 do total de caminhões licenciados desde 1993, e 1/10 do total de ônibus licenciados desde 2000, o que representa a contribuição anual dos últimos anos para o sucateamento dos veículos pesados de acordo com o tipo, de acordo com dados disponibilizados pela Federação Nacional de Distribuidores de Veículos Automotivos (FENABRAVE, 2003).

A massa média de cada classe de veículo foi utilizada de acordo com estudos realizados por Bertram et al (2000).

Tabela 3 – Veículos leves sucateados na Bahia

Ano	Total Leves <sup>1</sup>	Curva <sup>2</sup> %	Sucateamento	Ano	Total Leves <sup>1</sup>	Curva <sup>2</sup> %	Sucateamento
1990	333.116	88	19.987	2000	45.190	25	2.260
1991	23.007	82	690	2001	536.158	20	26.808
1992	23.759	79	1.663	2002	574.781	15	28.739
1993	33.656	72	1.346	2003	611.182	10	12.224
1994	45.075	68	3.606	2004	649.432	8	12.989
1995	47.324	60	4.259	2005	698.944	6	6.989
1996	54.914	51	3.295	2006	755.736	5	15.115
1997	61.847	45	4.329	2007	822.411	3	8.224
1998	49.289	38	3.943	2008	890.723	2	17.814
1999	39.886	30	1.994	2009	980.422	0	-

Fonte: <sup>1</sup>DENATRAN. <sup>2</sup>Uria (1996).

Tabela 4 – Veículos pesados sucateados na Bahia

Classe	Caminhão	Ônibus	Unidade
T (tempo de vida médio) <sup>1</sup>	17	10	Anos
Licenciados desde (2010 - T) <sup>2</sup>	577.720	165.283	Veículos
Sucateados	33.984,5	16.528,3	Veículos

Fonte: <sup>1</sup>FENABRAVE (2003). <sup>2</sup>DENATRAN.

Tabela 5 – Total de veículos (leves e pesados) sucateados na Bahia

Categoria	Subtotal <sup>1</sup>	Massa unitária média (t) <sup>2</sup>	Geração (t/ano)
Leves	176.274,7	1	176.275
Caminhões	33.983,5	12	407.802
Ônibus	16.528,3	12	198.340
Total VS	226.787	-	782.417

Fonte: <sup>1</sup>DENATRAN (2000). <sup>2</sup>Bertram et al (2000)

### 3.4 Resíduos da construção e demolição (C&D)

Após os municípios baianos terem sido classificados por quantidade de habitantes, aplicou-se a estimativa proposta por Pinto (2000), de acordo com a seguinte equação:

$$G_{RSM} = \sum_i Q_{m,i} \times \overline{RCD}_i \quad (3)$$

Tabela 6 – Estimativa da geração de entulho na Bahia

População <sup>1</sup> (mil)	Nº mun.	$\overline{RCD}$ (t/dia útil) <sup>2</sup>	Total (t/dia útil)
< 120	404	18	7.272
120 a 300	11	318	3.498
300 a 600	1	684	684
600 a 3000	1	1.803	1.803
Total	417	-	13.257

Fonte: <sup>1</sup>IBGE (2010). <sup>2</sup>Pinto (2000).

Em que  $G_{RSM}$  é a geração de RSM,  $Q_{m,i}$  é a quantidade de municípios em cada faixa populacional  $i$ , e  $\overline{RCD}_i$  é a quantidade média de resíduos da construção e demolição em tonelada por dia útil.

Assim, a geração de entulho na Bahia é estimada em 13.257 t/dia útil, o que implica na geração per capita de 256,70kg/hab.ano.

### 3.5 Resíduos industriais (RIP e RINP)

Os dados disponíveis sobre a geração de resíduos industriais no estado da Bahia se limitam a algumas empresas do Pólo Petroquímico de Camaçari. Dessa forma, após observar que esse grupo corresponde a mais de 50% da capacidade de produção do complexo, estimou-se a capacidade de geração de resíduos total, utilizando-se dados de Tanimoto (2007). De acordo com o Comitê de Fomento Industrial de Camaçari (COFIC), a contribuição do Pólo Petroquímico para o PIB da Bahia é aproximadamente 15%, representando segundo o IBGE, quase 50% da contribuição do setor industrial como um todo para o PIB do estado. Esse valor foi utilizado para extrapolar a geração de resíduos em todo o território baiano.

Tabela 7 – Geração de resíduos industriais na Bahia

Classe	Total 2010 (kg/ano)	Geração per capita (kg/hab.ano)
RIP	264.950.130	19,4
RINP	7.398.867.238	542,7

### 3.6 Cálculo da quantidade de cobre nas correntes residuais

A geração de resíduos no estado da Bahia foi estimada em 1.166,6 kg/hab.ano, o que equivale a 11.435,2 t/ano. Adotaram-se concentrações de cobre para cada corrente residuais já utilizadas por Tanimoto (2010).

A concentração de cobre na corrente VS, em especial, foi obtida a partir da seguinte equação:

$$CM_{Cu,ELV} = \frac{Q_{L,ELV} \times C_{Cu,L} + Q_{P,ELV} \times C_{Cu,P}}{Q_{L,ELV} \times m_L + Q_{P,ELV} \times m_P} \quad (4)$$

Tabela 8 – Cobre nos resíduos da Bahia

	Geração	Conc. Cu <sup>1</sup>	Cobre contido
Classe	kg/hab.ano	mg/kg	kg/hab.ano
RSM	290,4	500,0	0,145
C&D	256,7	670,0	0,172
REEE	1,93	7,6%	0,146
VS	57,4	0,7%	0,403
RIP	19,4	500,0	0,010
RINP	542,7	200,0	0,109
Total	1.166,6	-	0,8

Fonte: <sup>1</sup>Bertram et al (2000)

Em que  $CM_{Cu, VS}$  é a concentração média ponderada do cobre na massa de veículos sucateados,  $Q_{L, VS}$  é a quantidade de veículos leves sucateados,  $m_L$  é a massa de um veículo leve,  $C_{Cu,L}$  é a concentração de cobre no veículo leve,  $Q_{P, VS}$  é a quantidade de veículos pesados sucateados,  $m_P$  é a massa de um veículo pesado,  $C_{Cu,P}$  é a concentração de cobre no veículo pesado.

Percebe-se que de todo o cobre contido nas correntes residuais, a maior contribuição é da corrente VS. É possível comparar também as correntes residuais na Bahia com as do Brasil de acordo com dados obtidos por Tanimoto (2010).

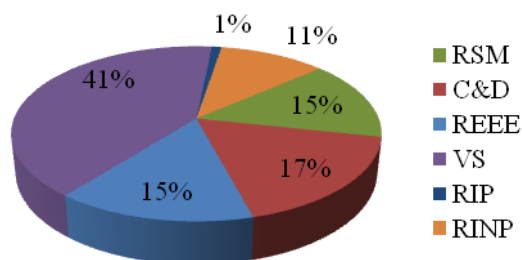


Figura 1 – Contribuição das correntes residuais para o fluxo de cobre

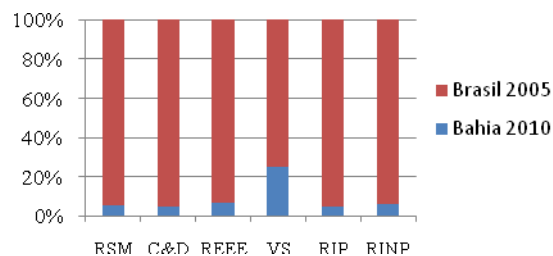


Figura 2 – Comparação entre as correntes residuais na Bahia e no Brasil

#### 4 CONCLUSÃO

A partir dos dados obtidos, conclui-se que os principais fluxos de resíduos são o de veículos velhos, da construção e demolição, resíduos sólidos municipais e resíduos eletroeletrônicos, os quais, juntamente com o de resíduos industriais não perigosos são potenciais fontes de cobre. O cobre contido na corrente residual VS na Bahia representa cerca de 30% do total do país, embora o estado não corresponda a um terço da frota nacional ou do PIB brasileiro. Essa elevada magnitude pode ser devida tanto à falta de atualização dos dados para o Brasil, quanto à diferença das fontes utilizadas, uma vez que no estudo realizado em todo o país, utilizou-se como base o Anuário da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, enquanto para a Bahia, a base de dados foi do Departamento Estadual de Trânsito da Bahia (DETRAN-BA).

De um modo geral, os valores obtidos para o fluxo apresentam incerteza, uma vez que algumas estimativas e extrapolações foram feitas por falta de dados disponíveis, fazendo uso de modelos já utilizados em trabalhos similares realizados na Europa, Ásia, África, América Latina e Brasil, em especial.

Agradecimentos a FAPESB pela bolsa de iniciação científica concedida ao Raul Leite Moraes, aluno do curso de engenharia química, do Instituto Federal da Bahia – IFBA. O conteúdo deste artigo é parte do projeto de pesquisa aprovado pelo edital FAPESB/IFBA 2010-2011 e escrito para apreciação no 3º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, Porto Alegre - RS. Contato por e-mail raul.lemora@gmail.com ou armando@ifba.edu.br .

#### 5 REFERÊNCIAS

- BERTRAM, M. et al., 2002. The contemporary European copper cycle: waste management subsystem. *Ecologic Economics*, 42: 43-57.
- FENABRAVE, 2008. Anuário da distribuição de veículos automotivos no Brasil. Disponível em [www.fenabreve.org.br](http://www.fenabreve.org.br), acesso em out, 2008.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censos de 2010. Disponível em <[http://www.censo2010.ibge.gov.br/dados\\_divulgados/index.php?uf=29](http://www.censo2010.ibge.gov.br/dados_divulgados/index.php?uf=29)>. Acesso em: 10 mar 2011.
- SPATARI, S., et al., 2002. The contemporary European copper cycle: 1 year stocks and flows. *Ecological Economics*, 42: 27-42.

TANIMOTO, A. H., 2007. Projeto de Ecologia Industrial para o Pólo de Camaçari – Ba: Identificação de oportunidades estratégicas usando a simbiose industrial para minimizar os impactos ambientais dos resíduos sólidos no pólo de Camaçari. Relatório corporativo. Camaçari - Bahia.

TANIMOTO, A. H. et al., Material flow accounting of the copper cycle in Brazil, Resources, conservation and recycling 55 (2010) 20 – 28.

ROCHA, G. H. T. et al. Diagnóstico da Geração de Resíduos Eletroeletrônicos no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.