

## VI-064 – ANÁLISE DE RISCOS NA INDÚSTRIA DE ACABAMENTO DE METAIS

**Júlia Piazi de Lima**

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Bolsista de Iniciação Científica da FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais).

**Patrícia Procópio Pontes** <sup>(1)</sup>

Engenheira Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre e Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Professora do Departamento de Química do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG).

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Av. Amazonas 5253 – Nova Suíça – Belo Horizonte – Minas Gerais - CEP: 30110-060 - Brasil  
- Tel: +55 (31) 3319-7151 - e-mail: [patriciaprocopio@yahoo.com.br](mailto:patriciaprocopio@yahoo.com.br).

### RESUMO

Atualmente, são detectadas no meio ambiente (ar, água e solo) concentrações cada vez maiores de diferentes substâncias químicas. A ocorrência de elevadas concentrações dessas substâncias, juntamente com a possibilidade de bioacumulação em organismos e de persistência no ambiente são fatores de risco para a saúde da população. O lançamento de resíduos sem controle no solo pode originar 'áreas contaminadas', ocasionando problemas ambientais e sanitários e restringindo o uso dessas áreas. Dentre os setores com potencial poluidor, pode-se citar o setor de acabamento de metais, destacando-se o processo de galvanoplastia, que é responsável pela geração de resíduos perigosos, tais como cianeto, cromo e zinco, apresentando riscos à saúde humana e ao meio ambiente. O presente trabalho analisou o risco para a saúde humana e os riscos ambientais relacionados à galvanoplastias através da metodologia proposta pela Agência de Proteção Ambiental americana (USEPA). Foi feito um levantamento de dados de indústrias de galvanoplastia e córregos que pudessem ter sido poluídos por essas indústrias na Região Metropolitana de Belo Horizonte e foi possível observar altas concentrações de zinco e cromo em córregos que desaguam na Lagoa da Pampulha, como o Sarandi e o Ressaca, com concentrações alcançando 0,18 mg/L para o cromo (sendo que o máximo permitido é 0,05 mg/L). Foi possível notar também uma probabilidade de desenvolvimento de câncer a partir da exposição ao cromo em galvanoplastias durante um período de 30 anos, mas que somada a outros fatores pode ser um fator crítico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise de riscos, indústria de acabamento de metais, riscos ambientais.

### INTRODUÇÃO

O desenvolvimento industrial e o progresso tecnológico proporcionam o desenvolvimento de novos materiais e processos, contribuindo para o desenvolvimento do país, entretanto, vários produtos químicos são produzidos, utilizados e dispostos no ambiente, trazendo grandes prejuízos para a humanidade juntamente com riscos à saúde humana e ao meio ambiente.

Atualmente, são detectados no meio ambiente (ar, água e solo) concentrações cada vez maiores de diferentes substâncias químicas. A ocorrência de elevadas concentrações dessas substâncias, juntamente com a possibilidade de bioacumulação em organismos e de persistência no ambiente são fatores de risco para a saúde da população. O lançamento de resíduos sem controle no solo pode originar 'áreas contaminadas', ocasionando problemas ambientais e sanitários e restringindo o uso dessas áreas. Existe ainda o risco de contaminação das águas (superficiais ou subterrâneas) impedindo o seu uso para o abastecimento de cidades. Mais de 20 mil ton/ano de resíduos perigosos são dispostos no solo ou lançados no sistema de esgotos sanitários, representando um grande risco de contaminação (GUNTHER, 1999).

Devido à poluição ambiental, a população fica exposta a diferentes agentes físicos, químicos e biológicos que prejudicam a sua saúde. Torna-se necessário buscar alternativas para eliminar ou minimizar riscos e impactos ambientais ocasionados em processos industriais, tanto internos (dentro da empresa) quanto externos (no meio

ambiente). A conscientização de estudantes dessa necessidade também é de grande importância para que eles apliquem esses conceitos futuramente em sua vida profissional (BRASIL, 1999).

As principais normas estabelecidas pelo Ministério do Trabalho e Emprego (2009) são as Normas Reguladoras (NRs), relativas à Segurança e Medicina do Trabalho, que abordam diferentes aspectos, tais como a destinação de resíduos industriais (NR25) e os resíduos de serviço de saúde (NR32). Na NR32, são incluídos, ainda, os laboratórios de ensino e pesquisa.

A análise de riscos ambientais deve estar presente nas decisões dos empresários e nos programas de imagem institucional das empresas, pois os riscos de contaminação de comunidade, principalmente quando se atinge o solo e os corpos d'água, podem apresentar proporções que excedem as previsões mais pessimistas (ARAÚJO, 2001), tal como foi observado nos casos de alguns acidentes ambientais como em Bhopal (Índia), Chernobyl (Rússia), Exxon Valdez (Alasca).

Dentre os setores industriais que apresentam risco à saúde humana e ao meio ambiente, pode-se citar o setor de acabamento de metais que é responsável pela geração de resíduos perigosos e de grande potencial poluidor, tais como cianeto e cromo. Os principais objetivos do processo de acabamento de metais são prevenir a corrosão e melhorar a aparência do produto. Os resíduos dessas empresas, se não forem tratados de maneira adequada, podem poluir o solo, a água e o ar contaminando os organismos vivos. As etapas de processamento, armazenamento e transporte de produtos nesse processo, incluindo-se a transferência de resíduos para os locais de tratamento devem ser caracterizadas para identificar e controlar os fatores mais importantes para redução dos níveis de riscos ambientais e à saúde da população.

Dessa forma, o presente trabalho pretende avaliar os riscos relacionados a indústria de acabamento de metais, avaliando os riscos ao meio ambiente e à saúde humana decorrentes do processamento e da disposição inadequada de resíduos industriais, relacionados a compostos químicos de interesse (CQI) oriundos desse setor, propondo maneiras de minimizá-los.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para estudo da análise de riscos na indústria de acabamento de metais, a pesquisa foi desenvolvida de acordo com as etapas apresentadas a seguir:

### Avaliação de risco à saúde humana

A avaliação de risco à saúde humana envolve as etapas de formulação do problema, avaliação de exposição, avaliação de toxicidade e a caracterização do risco. A avaliação de riscos foi realizada de acordo com a metodologia proposta pela agência de proteção ambiental americana (USEPA, 1989) e pelas diretrizes da CETESB (2011). A metodologia permite uma análise de risco supondo vários tipos de situação, por exemplo, vias de contato utilizadas (ingestão ou inalação) e também cálculo para substâncias cancerígenas e não-cancerígenas. A partir dessa avaliação, foi obtida uma estimativa numérica de risco à saúde humana em função da exposição à fonte de poluição ambiental.

Os cálculos da quantidade inalada do composto no estado vapor (USEPA, 1989), da ingestão de químicos na água potável, do risco para substâncias simples e risco para substâncias não carcinogênicas são apresentados nas equações 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

$$I = C_A \times \frac{IR \times ET \times EF \times ED}{BW} \times \frac{1}{AT} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

I= ingresso a partir da inalação de vapores presentes no ar (mg/kg-dia),

C<sub>A</sub>= concentração do composto químico no ar (mg/m<sup>3</sup>),

IR= taxa de inalação do ar (m<sup>3</sup>/h), ET= tempo de exposição (h/dia),

EF= frequência de exposição (dias/anos),

ED= duração de exposição (anos),

BW= peso corpóreo (kg),  
AT= período de exposição (dias).

$$I = C_w \times \frac{IR \times EF \times ED}{BW} \times \frac{1}{AT} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

I= ingresso por ingestão de água contaminada (mg/kg-dia),  
Cw= concentração do composto químico na água (mg/L),  
IR= taxa de ingestão de água (L/dia),  
EF= frequência de exposição (dias/ano),  
ED= duração de exposição,  
BW= peso corpóreo (kg),  
AT= período de exposição (dias).

$$Risco = I_n \times SF \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

Risco= risco carcinogênico,  
In= dose de ingresso para o cenário de exposição 'n' (mg/kg-dia),  
SF= fator de carcinogenicidade (1/mg/kg-dia).

$$HQ = \frac{I_n}{RfD_i} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

HQ= quociente de perigo não-carcinogênico,  
In= dose de ingresso para o cenário de exposição 'n' (mg/kg-dia),  
RfD= dose de referência para via de ingresso 'i' (mg/kg-dia).

Se a relação In/RfD for maior do que 1, existe perigo de ocorrência de efeitos não-carcinogênicos diversos, pois nesses casos a dose pesquisada ultrapassa o limite seguro de absorção (BAIL *et al*, 2010).

### Avaliação de risco ecológico

A análise de risco ecológico consiste em uma avaliação da exposição e dos riscos aos receptores ecológicos, tais como animais e organismos terrestres. Inclui as mesmas etapas da análise de risco à saúde: formulação do problema, avaliação de exposição, avaliação de toxicidade e caracterização do risco.

O risco (HQ) é definido pela razão entre a exposição específica do local e o nível de exposição aceitável. Se essa razão, conhecida como quociente de perigo, for menor que 1 não há perigo. Por outro lado, se for maior do que 1, há uma possível indicação de risco inaceitável (LIMA, 2009).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise de risco à saúde

Inicialmente, procurou-se obter os valores máximos permitidos para os principais compostos tóxicos em galvanoplastias e as concentrações existentes nas indústrias para que, posteriormente, fosse realizada a análise de riscos (Tabela 1).

**Tabela 1: Valores máximos permitidos para os principais compostos tóxicos da indústria de acabamento de metais**

Composto	Norma	Valor (mg/m <sup>3</sup> )
Ácido cianídrico	NR-15	9
Ácido clorídrico	NR-15	5,5
Ácido crômico	NR-15	0,04
Cobre- névoa	ACGIH	1
Níquel	ACGIH	0,1
Ácido sulfúrico	NR-15	2
Cromo hexavalente	ACGIH	0,002
Cromo decorativo	ACGIH	0,04

Fonte: ROMANO (2006)

Para avaliação das condições de trabalho em galvanoplastias, foi realizado um levantamento de dados a fim de se obter dados de concentrações no ar de alguns metais pesados (altamente tóxicos para o homem e o meio ambiente) nas galvanoplastias. Para avaliação do risco à saúde, utilizou-se como referência o cromo devido à sua maior utilização e toxicidade (Tabela 2). Neste trabalho o método de ingestão analisado foi a inalação, já que trabalhadores podem ficar expostos diariamente a névoas de compostos químicos altamente tóxicos. Considerou-se um tempo de exposição diária do trabalhador de 8 horas. Na Tabela 3, são apresentados os valores propostos para os parâmetros que foram utilizados nos cálculos de risco.

**Tabela 2: Concentração de cromo em diferentes indústrias de galvanoplastia**

Agentes químicos	Referência	Valor (mg/m <sup>3</sup> )
Cromo duro	SILVA (1991)	0,0041 a 0,072
Cromo decorativo		0,0003 a 0,0646
Névoas de ácido crômico	SILVA (2003)	0,002 a 0,02
Cromo hexavalente		0,004 a 0,02
Cromo duro	SILVA (1997)	0,175
Cromo decorativo		0,002 a 0,064
Ácido crômico		0,004 a 0,072

**Tabela 3: Valores propostos pela CETESB para os parâmetros da equação (1) de análise de risco à saúde para fonte industrial, residencial e agrícola**

PARÂMETRO	FONTE	INDUSTRIAL		RESIDENCIAL		AGRICOLA	
		ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA
IR	CETESB, 2001	22	15	22	15	22	15
ET	-	Específico para o cenário de exposição avaliado					
EF	CETESB, 2001	288	5	365	365	365	365
ED	CETESB, 2001	25	6	24	6	58	6
BW	CETESB, 2001	60	15	60	15	60	15
Atn	EPA, 1997	12775	12775	12775	12775	12775	12775
Atc	EPA, 1997	25550	25550	25550	25550	25550	25550

Fonte: CETESB (2011)

Para avaliação do risco à saúde devido à inalação de compostos de cromo, foram considerados os dados propostos pela CETESB para uma fonte industrial, para um adulto (Tabela 3) e realizou-se o levantamento da sua concentração no ar em várias indústrias. Na tabela 4, é possível observar os resultados obtidos após a aplicação da Equação 1 proposta pela USEPA (1989).

**Tabela 4: Taxas inaladas de cromo em galvanoplastias**

Referência	Processo	Taxa inalada (mg/m <sup>3</sup> )
Silva (1991)	Cromo duro	0,213
	Cromo decorativo	0,189
Silva (1997)	Cromo duro	0,513
	Acido crômico	0,211
	Cromo decorativo	0,187
Silva (2003)	Acido crômico	0,058

A partir da quantidade inalada, é possível calcular o risco de desenvolvimento de câncer em cada caso. A Tabela 5 mostra os riscos de desenvolvimento de câncer em porcentagem.

**Tabela 5: Risco de desenvolvimento de câncer**

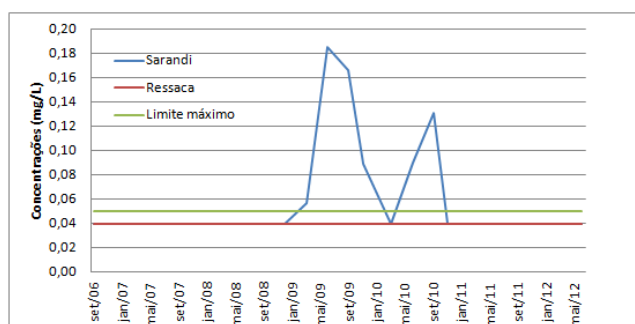
Referência	Processo	Risco (%)
Silva (1991)	Cromo duro	$6,17 \times 10^{-3}$
	Cromo decorativo	$5,48 \times 10^{-3}$
Silva (1997)	Cromo duro	0,014
	Cromo decorativo	$5,42 \times 10^{-3}$
	Acido crômico	$6,11 \times 10^{-3}$
Silva (2003)	Acido crômico	$1,68 \times 10^{-3}$

Os resultados obtidos indicaram que o maior risco à saúde ocorre no ambiente com concentrações de cromo duro que alcançaram  $0,175 \text{ mg/m}^3$ . A porcentagem encontrada nesse caso foi de 0,014. Esse dado indica que 14 pessoas em um total de 1000 tem a possibilidade de desenvolver câncer se expostas a essa concentração elevada de cromo.

### Análise de risco ecológico

Neste trabalho, foram avaliados os riscos relacionados direta ou indiretamente à qualidade da água. Os efluentes da região industrial (onde se encontram a maioria das indústrias de galvanoplastia) são lançados principalmente nos córregos Sarandi e Ressaca. Estes córregos por sua vez deságuam na bacia da Pampulha. A partir de dados fornecidos pelo IGAM (Instituto Mineiro de Gestão de águas) foi possível calcular o risco ecológico com relação a alguns compostos do processo de galvanização presentes nas águas dos córregos Ressaca e Sarandi.

Com relação ao cromo, os dados fornecidos pelo IGAM mostram concentrações acima do permitido no córrego Sarandi no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2012 (Figura 1). Para o córrego Ressaca, os resultados observados estiveram abaixo do limite máximo permitido.



**Figura 1: Concentrações de cromo total encontradas nos córregos Ressaca e Sarandi no período 2006-2012.**

Em junho de 2009, foi observada a maior concentração de cromo no córrego Sarandi em relação ao período analisado. A partir da metodologia proposta pela USEPA (1997), foi possível determinar um quociente de

risco. O risco ecológico nesse período para as águas desse córrego foi de 4,75, valor muito acima do valor aceitável ( $HQ < 1$ ). Esse alto quociente significa que o curso d'água está sujeito a causar efeitos e riscos ao ambiente externo. Altas concentrações de cromo podem interferir na absorção de outros metais essenciais para a planta, causando sintomas relacionados a falta de diversos elementos essenciais.

Os dados fornecidos pelo IGAM para concentração de níquel nos córregos Ressaca e Sarandi indicaram valores abaixo do máximo permitido de 0,025 mg/L, sendo que em alguns meses de coleta não havia sequer a presença de níquel. Infere-se que esses dois córregos não recebem águas provenientes de indústrias de galvanoplastia que utilizem o níquel como revestimento (niquelagem) ou que tais indústrias realizam um tratamento prévio antes de despejarem essas águas nesses córregos.

Com relação ao zinco, a análise dos dados obtidos indicou concentrações elevadas de zinco no córrego Sarandi (Figura 2). Já no córrego Ressaca, os valores observados foram inferiores aos valores máximos permitidos.

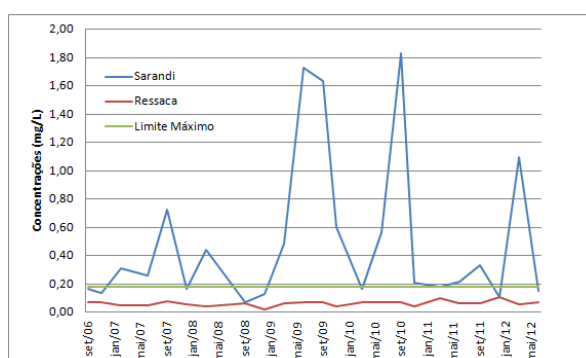


Figura 2: Concentrações de zinco encontradas nos córregos Sarandi e Ressaca no período de 2006-2012.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos através do levantamento de dados de indústrias de galvanoplastia e de córregos que pudessem ter sido poluídos por essas indústrias na Região Metropolitana de Belo Horizonte indicaram a ocorrência de altas concentrações de zinco e cromo em córregos que desaguam na Lagoa da Pampulha, como o Sarandi e o Ressaca, com concentrações alcançando 0,18 mg/L para o cromo (sendo que o máximo permitido é 0,05 mg/L). Foi possível notar também a probabilidade de desenvolvimento de câncer a partir da exposição ao cromo em galvanoplastias durante um período de 30 anos.

## AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo apoio à pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAÚJO, F.J.C. Avaliação de riscos ambientais. In: Anais eletrônicos do 21<sup>o</sup> CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 2001, João Pessoa, Rio de Janeiro: ABES, 2001.
2. BAIL, R.S., BOUSFIELD, P.M., LOBO, M.G., CHEGATTI, S. Uso do software Sada na estimativa de risco à saúde humana e corrente da exposição ao resíduo de areia de moldagem de fundição do ferro. InterfaceHS. Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente. v.5, n.1, jan./abr. 2010
3. BRASIL. Lei no 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Brasília, 1999.
4. CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. 2011.



5. GUNTHER, W.M.R. Área contaminada por disposição inadequada de resíduos industriais de galvanoplastia. In: Anais eletrônicos do 20º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 2001, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: ABES, 1999.
6. LIMA, C.A. Avaliação de risco ambiental como ferramenta para descomissionamento de uma indústria de metalurgia de zinco. Tese de doutorado. Escola Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.
7. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Segurança e Medicina do Trabalho. Lei nº 6.514, de 22 de dezembro de 1977. Normas Regulamentadoras (NR) aprovadas pela Portaria 3.214, de 08 de junho de 1978. 63 ed São Paulo: Atlas, 2009. (Manuais de Legislação Atlas).
8. ROMANO, C. Gestão de segurança e saúde ocupacional em galvanoplastia - Aplicação do método Renault à OHSAS 18001. Porto Alegre, 2006.
9. SILVA, J.A. Estudo da relação entre as concentrações ambientais das névoas de ácido crômico em processos de eletrodeposição de cromo duro e a eficácia de três diferentes sistemas de proteção coletiva. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.
10. USEPA. Ecological Risk Assessment Guidance for Superfund: Process for Designing and Conducting Ecological Risk Assessments. U.S. Environmental Protection Agency. USA, 1997.
11. USEPA, 1989, "Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume I. Human Health Water quality criteria for water Washington D.C.: Environmental Protection Agency (EPA), 1976. 501p.