

ISSN 1980-797X,  
ISSN 1982-2162 online

# fepam em revista



Revista da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler

volume 7 • número 1 e 2 • Janeiro a dezembro de 2013

## fepam em revista

FEPAM em Revista v. 7, n. 1 e n. 2, jan./dez. 2013

Publicação periódica de divulgação técnico-científica da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler FEPAM, órgão da Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul.

### Missão

Estimular a documentação e a divulgação dos conhecimentos e informações produzidas na Fundação, divulgar estudos nos campos das ciências ambientais e ações de gestão ambiental, contribuindo para a atualização e o fortalecimento do setor ambiental, e o crescimento da consciência ambiental na Sociedade.

**FEPAM em Revista é editada e organizada inteiramente pela Comissão Editorial da FEPAM.**  
Os artigos assinados são de responsabilidade de seus autores.

### Comissão Editorial

**Coordenadora** Maria Lucia Kolowski Rodrigues  
**Secretária** Sílvia Maria Jungblut  
Kátia Helena Lipp Nissinen, Carmem Lúcia Vicente Níquel, Nina Rosa Rodrigues,  
Lilian Maria Waquil Ferraro, Maria Helena Firmbach Annes

### Colaboradores desta edição

Ana Baisch e Flavio M. R. da Silva Júnior (FURG), Daniela M. M. Osório (UNISINOS, FEEVALE),  
Eniz C. de Oliveira (UNIVATES), Maria Teresa Raya-Rodríguez (UFRGS),  
André L. S. Milanez, Clarice T. Lemos, Eduardo R. R. Santana, Filipe N. Pereira, Karen A. Leal,  
Mária Heloísa D. Pestana (FEPAM), Acad. Quím. Luana V. Haas (UFRGS, FEPAM).

### Diagramação

M&W Comunicação Integrada - [www.mwci.com.br](http://www.mwci.com.br)

### Projeto Gráfico

Letraria

### Endereço Eletrônico

<http://www.fepam.rs.gov.br/fepamemrevista/default.asp>

### Endereço Para Correspondência

FEPAM em Revista - Coordenação da Comissão Editorial  
Rua Borges de Medeiros, 261, 1º andar, Biblioteca - CEP 90020-021 – Porto Alegre – RS - Brasil  
e-mail: [comissaoeditorial@fepam.rs.gov.br](mailto:comissaoeditorial@fepam.rs.gov.br) - Fone: (51) 3288-9477

### Capa

Corticeira. Foto: Cleber Arruda Spolavori

### Publicação indexada internacionalmente por CAB ABSTRACTS.

Classificação no Sistema Qualis de Periódicos CAPES: B5 em Biodiversidade, C em Ciências Agrárias I,  
C em Engenharias II e C em Ciências Ambientais.

F383 Fepam em Revista: revista da Fundação Estadual de  
Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler /  
FEPAM. – vol. 1, n.1 (2007) - . Porto Alegre: FEPAM 2007-

Semestral  
ISSN 1980-797X / ISSN 1982-2162 online

1. Proteção Ambiental - Periódico 2. Meio Ambiente – Periódico  
I. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler.

Ficha catalográfica elaborada por Sílvia Maria Jungblut CRB 10/644

**É** com grande satisfação que entregamos mais um volume de FEPAM em Revista aos nossos leitores, desta vez reunindo dois números em uma única publicação. Fruto do trabalho multidisciplinar desta Comissão Editorial, com a valiosa contribuição de autores internos e externos à FEPAM.

Nesta edição, apresentamos artigos sobre temas variados, que tratam das condições ambientais de nossos solos, ar e recursos hídricos. Continuamos abrindo espaço e valorizando a contribuição de jovens pesquisadores, formados nos quadros de nossa Instituição.

Destacamos, em 2013, o transcurso dos 50 anos de falecimento de Henrique Luiz Roessler. O patrono da FEPAM é homenageado na seção Bibliografia Comentada, através da resenha da obra “Roessler – o homem que amava a natureza”.

O ano de 2013 também foi marcado pela mudança da sede da Fundação para o Centro Histórico de Porto Alegre. A Instituição está agora mais próxima dos principais pontos de encontro e de manifestações da nossa comunidade: a Prefeitura Municipal, o Mercado Público e a tradicional Esquina Democrática.

Desejamos a todos uma proveitosa leitura, esperando compartilhar boas novas em 2014.

**Comissão Editorial**

## Atividade mutagênica em solos sob a influência de rejeitos de carvão

Flavio Manoel Rodrigues da Silva Júnior<sup>1,2</sup>, Vera Maria Ferrão Vargas<sup>1,2</sup>

### Resumo

A queima de carvão mineral por usinas termelétricas constitui uma atividade potencialmente poluidora. O estado do Rio Grande do Sul possui quase 90% das reservas nacionais deste minério e é do interesse dos órgãos ambientais competentes e de setores da academia o monitoramento dos potenciais impactos desta atividade sobre o ambiente. O objetivo deste estudo foi investigar a mutagenicidade de amostras de solo em uma área sob a influência de uma usina termelétrica a carvão, utilizando o ensaio *Salmonella*/microsoma. Foram utilizadas cinco linhagens de *Salmonella typhimurium* (TA98, TA100, TA97a, YG1041 e YG1042) em extratos orgânicos e inorgânicos de amostras de solo, na presença e na ausência de fração de metabolização hepática. Os resultados demonstraram a presença de compostos mutagênicos na área de estudo e realçam a capacidade de dispersão destes contaminantes a curtas distâncias.

**Palavras-chave:** ensaio *Salmonella*/microsoma, usina termelétrica, mutágenos.

### Mutagenic activity in soils under the influence of coal wastes

### Abstract

The burning of coal for power plants is a potentially polluting activity. The Rio Grande do Sul state, Brazil, has almost 90% of the national reserves of this mineral and it is interesting for the competent environmental institutions and academic sectors to monitor the potential impacts of this activity on the environment. The aim of this study was to investigate the mutagenicity of soil samples in an area under the influence of a coal-fired power plant, using the *Salmonella*/microsome assay. We used five strains of *Salmonella typhimurium* (TA98, TA100, TA97a, YG1041 and YG1042) in organic and inorganic extracts of soil samples in the presence and absence of liver homogenate fraction. The results showed the presence of mutagenic compounds in the study area and enhance the ability of these contaminants to short distances dispersal.

**Keywords:** *Salmonella*/microsome assay, coal-fired power plant, mutagens.

### Introdução

A deposição indiscriminada e o acúmulo de substâncias tóxicas no ambiente exigem a realização de diagnóstico ambiental para mensurar as dimensões e

<sup>1</sup>Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler – FEPAM.

<sup>2</sup>Programa de Pós Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

Endereço para correspondência:

V.M.F. Vargas, Programa de Pesquisas Ambientais, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler (FEPAM), Avenida Salvador França, 1707, CEP 90690-000 Porto Alegre, RS, Brasil. Tel.:+555133346765. E-mail: vera.vargas@pesquisador.cnpq.br, ecorisco@fepam.rs.gov.br

prejuízos causados. Nos estudos de avaliação de solos contaminados, muitas são as ferramentas utilizadas para medir alterações do ecossistema, sendo estas chamadas de *indicadores de qualidade do solo*. Lanna (2002) divide esses indicadores em dois grupos distintos: *inerentes* (parâmetros físicos e químicos) e *dinâmicos* (parâmetros biológicos). Os indicadores biológicos despontam como importantes descritores da qualidade do solo, por serem altamente sensíveis a mínimas alterações ambientais (Stenberg, 1999).

Um importante grupo de ferramentas atualmente utilizado na avaliação e monitoramento de solos potencialmente contaminados são os biomarcadores de genotoxicidade (Watanabe & Hirayama, 2001). Até hoje foram realizados estudos com um grande número de bioensaios, dentre eles: *Salmonella*/microsoma (Watanabe *et al.*, 2005), SOS cromoteste e *umu* teste (Plaza *et al.*, 2005), ensaios cometa e micronúcleo em larvas de anfíbio (Mouchet *et al.*, 2006) e ensaio de micronúcleo em *Tradescantia* (Monarca *et al.*, 2002).

Esses biomarcadores de genotoxicidade despontam como uma alternativa promissora dentre os indicadores de qualidade do solo, uma vez que atuam na previsão de danos precoces ao conteúdo genético dos seres vivos. Segundo Vargas *et al.* (2007), o acúmulo de mutações em células somáticas e germinativas pode causar redução de populações naturais e, ainda, o contato com esses agentes genotóxicos pode promover efeitos danosos à saúde humana, dentre eles o câncer. Ademais, esses marcadores podem ser úteis na investigação de misturas ambientais complexas, prevendo assim, os efeitos biológicos dos contaminantes, sem a necessidade de quantificá-los (White & Claxton, 2004).

O estado do Rio Grande do Sul detém aproximadamente 90% das mais de 30 milhões de toneladas das reservas de carvão do Brasil (Neves & Chaves, 2000), sendo que até hoje, em inúmeras cidades do Estado, a extração e a manufatura do carvão possuem importante papel na geração de emprego e renda para as populações. A necessidade de utilização deste recurso de maneira sustentável passa pela investigação dos possíveis danos no ambiente, na fauna e na flora e nos seres humanos.

Efeitos genotóxicos de solos contaminados por carvão foram avaliados submetendo-os a dieta de ratos e avaliando a presença de lesões microscópicas, alterações enzimáticas e presença de aductos de DNA (Bordelon *et al.*, 2000). Além disto, alguns estudos mostraram atividade mutagênica em cinzas leves de carvão provenientes de usinas termelétricas através do ensaio com *Salmonella typhimurium* (Fisher *et al.*, 1978). No Brasil, trabalhos utilizando biomarcadores de genotoxicidade em áreas de rejeitos de carvão são escassos (Silva *et al.*, 2000). Nesses, foram avaliados danos ao DNA de roedores encontrados apenas nas planícies arenosas da América do Sul, através do ensaio cometa e indução de micronúcleos. A ausência de estudos utilizando o ensaio *Salmonella*/microsoma em áreas sob influência deste tipo de resíduo revela a necessidade da utilização de bioensaios padronizados (como o *Salmonella*/microsoma), que facilitam comparações entre resultados obtidos em diversas partes do mundo (Da Silva Júnior *et al.*, 2011).

Neste sentido, o objetivo do presente estudo foi avaliar o uso do ensaio *Salmonella*/microsoma como indicador precoce de qualidade dos solos, com aplicação no biomonitoramento de sítios contaminados por rejeitos de carvão.

## Metodologia

O trabalho foi realizado na área de influência de uma usina termelétrica localizada na Microrregião Carbonífera do Baixo Jacuí. Dentro do recorte da área de estudo selecionada para realização deste trabalho, foram definidos locais de amostragem para avaliar os potenciais impactos residuais no solo gerados pela queima do carvão fóssil e disposição de suas cinzas em uma unidade termelétrica de baixo potencial energético.

Em toda a área de influência da usina termelétrica tem sido realizado um amplo monitoramento que inclui organismos terrestres e aquáticos, testes de toxicidade, além de parâmetros de qualidade de águas subterrâneas, investigação nas águas superficiais e nos sedimentos do rio Jacuí (FEPAM, 2005).

O foco central de amostragem foi um depósito de cinzas pesadas em processo de recuperação. O local foi alvo da deposição de cinzas recém-queimadas na usina termelétrica durante algumas décadas, mas que, recentemente, em função de exigências do órgão ambiental, encontra-se em processo de recuperação ambiental. Além de coletas de solo neste depósito, amostras foram retiradas de áreas abaixo (mata ciliar do rio Jacuí e campo úmido pastejado) e acima do nível do depósito (área de recreação infantil). Além disso, foi selecionada uma área de referência a montante da área do empreendimento (Figura 1.).



▲ Figura 1. Área de estudo.

Os procedimentos de coleta, armazenamento e extração do solo estão descritos em Da Silva Júnior & Vargas (2009). Resumidamente, amostras compostas de solo foram coletadas em até 20 cm de profundidade e armazenadas no laboratório a 4°C até os procedimentos de extração. Do solo de cada área de amostragem foram preparados extratos orgânicos (diclorometano) ou ácidos (ácido acético). Para avaliar a atividade mutagênica dos extratos orgânicos e inorgânicos foi empregado

o ensaio *Salmonella*/microsoma no procedimento de microsuspenção em presença e ausência de fração de metabolização hepática (Kado *et al.*, 1983), utilizando as seguintes linhagens de *Salmonella typhimurium*: TA98 e TA97a, que detectam a ação de mutagênicos que causam erro no quadro de leitura, sendo que a TA97a é descrita na literatura como mais sensível a metais pesados (Pagano & Zeiger, 1992); a linhagem TA100, que caracteriza o efeito de substituição de pares de bases (Maron & Ames, 1983); YG1041 e YG1042, específicas para definir a presença de nitroderivados (Umbuzeiro & Vargas, 2003).

## Resultados e discussão

A Tabela 1 mostra o percentual de resultados positivos para mutagenicidade nas amostras de solo sob influência de rejeitos de carvão, considerando os dados das três linhagens da família TA (TA98, TA100 e TA97a), nos extratos orgânicos e inorgânicos, na ausência e na presença de fração de metabolização hepática. Os detalhes dos resultados para cada uma das análises estão discriminados em Da Silva Júnior & Vargas (2009). O percentual de respostas mutagênicas positivas variou entre 58,3 e 83,3% nas amostras de solo sob a influência da usina termelétrica, enquanto a área de referência teve apenas um resultado positivo para mutagênese (8,3%). Ainda, as áreas de depósito e de campo mostraram resultados positivos para detecção de nitrocompostos através das linhagens YG1041 e YG1042, e a área de mata ciliar e a área de recreação resultados positivos para a linhagem YG1041. A área controle não induziu respostas mutagênicas específicas para nitrocompostos, medidas para as linhagens da família de YG.

► Tabela 1. Perfil de respostas mutagênicas dos extratos de amostras de solo sob influência de rejeitos de carvão.

	Linhagens TA	YG1041	YG1042
Área controle	8,3% (1/12)	-	-
Depósito	66,7% (8/12)	+	+
Mata ciliar	83,3% (10/12)	+	-
Área de campo	58,3% (7/12)	+	+
Área de recreação	66,7% (8/12)	+	-

<sup>1</sup>Respostas de mutagenicidade testadas nas linhagens TA98, TA100 e TA97a, na ausência e na presença de fração de metabolização hepática, investigadas em extratos orgânicos e inorgânicos. <sup>2</sup>Percentual de resultados positivos para mutagênese. <sup>3</sup>Número de respostas positivas para mutagenicidade, considerando o total de ensaios realizados (12).

A Tabela 2 discrimina os resultados positivos para mutagenicidade nas amostras de solo, obtidos dos extratos orgânicos e inorgânicos, separadamente. De maneira geral, a fração orgânica do solo induziu um maior número de respostas positivas de mutagenicidade, com exceção da amostra de solo da mata ciliar.

	Extrato ácido	Extrato orgânico
Área controle	0% (0/6) <sup>4</sup>	16,7% (1/6) <sup>4</sup>
Depósito	33,3% (2/6)	100% (6/6)
Mata ciliar	83,3% (5/6)	83,3% (5/6)
Área de campo	16,7% (1/6)	100% (6/6)
Área de recreação	50% (3/6)	83,3% (6/6)

◀ Tabela 2. Perfil de respostas mutagênicas dos extratos ácidos e orgânicos de amostras de solo sob influência de rejeitos de carvão.

<sup>1</sup>Respostas de mutagenicidade testadas nas linhagens TA98, TA100 e TA97a, na ausência e na presença de fração de metabolização hepática, investigadas em extratos inorgânicos. <sup>2</sup>Respostas de mutagenicidade testadas nas linhagens TA98, TA100 e TA97a, na ausência e na presença de fração de metabolização hepática, investigadas em extratos orgânicos (diclorometano). <sup>3</sup>Percentual de resultados positivos para mutagênese. <sup>4</sup>Número de respostas positivas para mutagenicidade, considerando o total de ensaios realizados (6).

A investigação dos extratos de solo das áreas influenciadas pela usina termelétrica mostrou a presença de compostos mutagênicos, identificando como importantes rotas de dispersão a lixiviação do solo, o escoamento superficial e a dispersão atmosférica, como mencionado por Da Silva-Júnior & Vargas (2009), e justificadas pelo número de respostas positivas nas áreas de deposição indireta dos contaminantes (mata ciliar, área de campo e área de recreação).

O uso do teste *Salmonella*/microssoma permitiu avaliar de maneira precoce a presença, persistência e dispersão de substâncias que podem causar danos à saúde humana e ao meio ambiente. O diagnóstico e o monitoramento da área, como solicitado pela FEPAM (FEPAM, 2005), visam acompanhar o processo de recuperação desse sítio contaminado a partir do depósito de cinzas. Os estudos já relatados nesse processo institucional evidenciaram alterações em alguns parâmetros de qualidade das águas subterrâneas, incluindo a presença de efeitos tóxicos agudos e crônicos durante algumas amostragens. Foram ainda relatadas alterações na qualidade das águas superficiais e dos sedimentos no rio Jacuí a partir de dados químicos. As informações disponíveis sobre esse sítio em recuperação justificam a busca de um biomarcador sensível para amostras de solo, que permita definir de forma precoce a presença de substâncias biodisponíveis em baixas concentrações.

O ensaio *Salmonella*/microssoma permitiu detectar efeitos mutagênicos nessa matriz complexa e Da Silva Júnior & Vargas (2009) associaram essa mutagenicidade à presença de alguns elementos-chave, tais como nitrocompostos, hidrocarbonetos alifáticos e metais como alumínio, cádmio, chumbo e ferro. As estratégias empregadas de partição da amostra (extração orgânica e inorgânica), caracterização química e utilização de linhagens específicas para investigar presença de efeitos moleculares diversos permitiram definir rotas de dispersão dos contaminantes e o acompanhamento preventivo de possíveis impactos ao ambiente e à saúde humana. Sob essas perspectivas, esses biomarcadores despontam como ferramentas úteis em estudos ambientais para verificar efeitos dos poluentes em sistemas biológicos, possibilitando o avanço da Ecologia como ciência a partir de abordagens moleculares.

### Agradecimentos

Agradecemos às agências CNPq, FAPERGS e CAPES pelo apoio financeiro e pela bolsa de mestrado. Este estudo constituiu a dissertação de mestrado em Ecologia de Flavio Manoel Rodrigues da Silva Júnior, orientada por Vera M. F. Vargas no PPG em Ecologia da UFRGS, apresentada em 06 de março de 2008 e desenvolvida dentro dos objetivos do Programa de Pesquisas Ambientais da FEPAM.

## Conclusão

O ensaio *Salmonella*/microsoma mostrou ser uma ferramenta adequada para identificação da mutagenicidade em amostras de solo associada à dispersão de mutágenos em uma área de resíduos de carvão.

## Referências bibliográficas

BORDELON, N. R. *et al.* Bioavailability of the genotoxic components in coal tar contaminated soils in Fischer 344 rats. **Toxicological Sciences**, v.56, p. 37–48, 2000.

DA SILVA-JUNIOR, F. M. R.; VARGAS, V. M. F. Using the *Salmonella* assay to delineate the dispersion routes of mutagenic compounds from coal wastes in contaminated soil. **Mutation Research**, v.673, 116-123, 2009.

DA SILVA-JUNIOR, F. M. R. *et al.* Genetic damage caused by coal and its derivatives. In: STEWART, James J. (Org.) **Coal extration**. New York: Nova Science Publishers, 2011, p. 29-48.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL. Processo de Licenciamento Ambiental, nº7783-0567/04-4. **Monitoramento ambiental de água superficial, subterrânea, sedimentos, organismos aquáticos, organismos terrestres e plantas terrestres na Região de São Jerônimo/RS no âmbito da área de influência da divisão de produção de São Jerônimo - DTPJ**. Relatório Final: Usina Termelétrica São Jerônimo, Município de São Jerônimo/RS, Monitoramento Ambiental. Porto Alegre: Agosto de 2005. Não publicado.

FISHER, G. L. *et al.* Physical and morphological studies of size-classified coal fly ashes. **Environmental Science Technology**, v. 12, p. 447–451, 1978.

KADO, N. Y.; LANGLEY, D.; EISENTADT, E. A simple modification of the *Salmonella* liquid incubation assay: increased sensitivity for detecting mutagens in human urine. **Mutation Research**, v.121, p.25-32, 1983.

LANNA, A.C. **Impacto ambiental de tecnologias, indicadores de sustentabilidade e metodologias de aferição: uma revisão**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 31p.

MARON, D. M.; AMES, B. N. Revised methods for the *Salmonella* mutagenicity test. **Mutation Research**, v. 11, p.173-215, 1983.

MONARCA, S. *et al.* Soil contamination detected using bacterial and plant mutagenicity tests and chemical analyses. **Environmental Research**, v.88, p.64–69, 2002.

MOUCHET, F. *et al.* Biomonitoring of the genotoxic potential of aqueous extracts of soils and bottom ash resulting from municipal solid waste incineration, using the comet and micronucleus tests on amphibian (*Xenopus laevis*) larvae and assays (Mutatox and Ames tests). **Science of the Total Environment**, v.355, p.232-246, 2006.

NEVES, G. R.; CHAVES, S. H. A. A região carbonífera “tradicional” do Rio Grande do Sul. In: UFRGS. **Carvão e meio ambiente**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2000. p. 108-129.

PAGANO, A. D.; ZIGER, E. Conditions for detecting the mutagenicity of divalent metals in *Salmonella typhimurium*. **Environmental and Molecular Mutagenesis**, v. 19, p. 139-146, 1992.

PLAZA, G. *et al.* Assessment of genotoxic activity of petroleum hydrocarbon-bioremediated soil. **Ecotoxicology Environmental Safety**, v.62, p.415-420, 2005.

SILVA, J. *et al.* Alkaline single-cell gel electrophoresis (comet assay) to environmental *in vivo* biomonitoring with native rodents. **Genetics and Molecular Biology**, v. 23, n. 1, p. 241-245, 2000.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicator. **Soil and Plants Science**, v.49, p. 263-272, 1999.

UMBUZEIRO, G.; VARGAS, V. M. F. Teste de mutagenicidade com *Salmonella typhimurium* (Teste de Ames) como indicador de carcinogenicidade em potencial para mamíferos. In: RIBEIRO, L. R.; SALVADORI, D. M. F.; MARQUES, E. K. (Orgs.). **Mutagênese ambiental**. Canoas: ULBRA, 2003. p. 81-112.

VARGAS, V. M. F. *et al.* Atividade mutagênica como parâmetro ambiental para avaliar a qualidade em bacias hidrográficas. **FEPAM em Revista**, Porto Alegre, v.1, n.1, p.4-11, 2007.

WATANABE, T. *et al.* Detection of a novel mutagen, 3,6-dinitrobenzo[e]pyrene, as a major contaminant in surface soil in Osaka and Aichi Prefectures, Japan. **Chemical Research in Toxicology**, v.18, p.283-289, 2005.

WATANABE, T.; HIRAYAMA, T. Genotoxicity of soil. **Journal of Health Science**, v. 47, p. 433-438, 2001.

WHITE, P. A.; CLAXTON, L. D. Mutagens in contaminated soil: a review. **Mutation Research**, v.567, p.227-345, 2004.

# Determinação das principais fontes emissoras de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos em uma área urbana do Rio Grande do Sul utilizando o modelo receptor Positive Matrix Factorization

Camila Dalla Porta Mattiuzi<sup>1,2</sup>; Dayana Milena Agudelo-Castañeda<sup>1,3</sup>;  
Elba Calesso Teixeira<sup>4,3</sup>

## Resumo

Diversos poluentes estão presentes na atmosfera de grandes cidades, dentre eles os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs), que são compostos formados principalmente pelos processos de combustão incompleta. Neste estudo foram determinadas as principais fontes emissoras de HPAs nos municípios de Porto Alegre, Canoas e Sapucaia do Sul, no Rio Grande do Sul, através da utilização do modelo receptor *Positive Matrix Factorization 3.0* (PMF). Este modelo matemático utiliza análise fatorial para estimar o perfil de emissão de cada fonte e a sua respectiva contribuição. Os resultados obtidos indicam que as principais fontes emissoras de HPAs encontradas foram combustão de gasolina e diesel em fontes móveis, queima de madeira e carvão, e ressuspensão de partículas (*dust\**). Estes resultados estão de acordo com as características da área de estudo e com outros trabalhos.

**Palavras-chave:** hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, fontes emissoras, modelo receptor, PMF 3.0

## Source apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in an urban area of Rio Grande do Sul, Brazil, using receptor model Positive Matrix Factorization

## Abstract

Several pollutants are found in the atmosphere of large cities, among them the Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH), which are chemical compounds mainly formed through processes of incomplete combustion. In this study the main emission sources of PAH emitted in the counties of Porto Alegre, Canoas and Sapucaia do Sul, in the Rio Grande do Sul state, were determined through the use of the receptor model *Positive Matrix Factorization 3.0* (PMF). This mathematical model uses factor analysis to estimate the emission profile and the respective contribution of each source. The results indicated that the main contribution of PAH emissions were diesel and gasoline fleet (mobile sources), dust resuspension, and stationary sources, such as wood and coal combustion. These results are in accordance with the characteristics of the study area and other papers.

**Keywords:** polycyclic aromatic hydrocarbons, emission sources, receptor model, PMF 3.0

<sup>1</sup> Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler – FEPAM

<sup>2</sup> Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, RS, Brasil

<sup>3</sup> Centro de Pesquisas em Sensoriamento Remoto (CEPSRM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, RS, Brasil

Autor Correspondente:  
Elba C. Teixeira  
Rua Borges de Medeiros,  
261 – CEP 90020/021, Porto Alegre, RS, Brasil.  
Fone: (51) 9964 0581,  
gerpro.pesquisa@fepam.  
rs.gov.br

**\*Nota dos autores:** O perfil *dust* representa os HPAs provenientes da ressuspensão de partículas das superfícies de estradas, que são formadas a partir de partículas de pneus, asfalto, óleos e exaustão de veículos, entre outras.

## Introdução

O crescimento da frota veicular e a expansão industrial têm contribuído significativamente para a elevação dos níveis de poluição atmosférica, principalmente em grandes centros urbanos. Dentre os poluentes encontrados estão os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), que são poluentes orgânicos originados principalmente em processos de combustão incompleta de combustíveis fósseis, constituindo o maior grupo de carcinogênicos químicos conhecido atualmente (Ravindra *et al.*, 2008; Wan *et al.*, 2006).

A identificação das fontes de emissão de poluentes atmosféricos é essencial para a avaliação e o gerenciamento da qualidade do ar. Estudos de determinação das fontes emissoras de HPAs têm sido utilizados para caracterizar a emissão desses compostos e para verificar a contribuição de cada fonte. Diversas metodologias têm sido utilizadas, entre elas os modelos receptores. Estes são modelos matemáticos que identificam e quantificam a contribuição das fontes através de procedimentos estatísticos (Metre & Mahler, 2010; Hopke, 2012; Mattiuzi *et al.*, 2012). O modelo receptor utilizado neste estudo foi o *Positive Matrix Factorization 5.0*, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – US EPA, o qual foi muito aplicado em outros estudos de caracterização de fontes (Metre & Mahler, 2010; Larsen & Baker, 2003). Estudos foram realizados anteriormente utilizando outro modelo receptor da US EPA, o *Chemical Mass Balance 8.2* (Mattiuzi *et al.*, 2012).

## Objetivo

O presente estudo tem como objetivo avaliar a contribuição das principais fontes emissoras de HPAs associados com partículas finas na Região Metropolitana de Porto Alegre, através da utilização do modelo receptor *Positive Matrix Factorization 3.0*.

## Materiais e métodos

Este estudo foi realizado nos municípios de Porto Alegre, Canoas e Sapucaia do Sul, que estão localizados na Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA/RS). Esta é a região mais urbanizada do estado e a qualidade do ar desta área está sob a influência de diversos tipos de indústrias (e.g. refinaria de petróleo, siderúrgicas, complexo industrial petroquímico, termelétricas a carvão e a óleo diesel) e principalmente de fontes móveis (Teixeira *et al.*, 2012).

A estimativa da contribuição das fontes de emissão de HPAs foi realizada utilizando o modelo *Positive Matrix Factorization 5.0*, que se baseia na análise fatorial para decompor a matriz das concentrações obtidas durante a amostragem em um produto de duas matrizes (contribuição do fator e perfil do fator) com uma matriz residual, de acordo com a Equação 1 (Vestenius *et al.*, 2011).

$$\mathbf{X} = \mathbf{GF} + \mathbf{E} \quad \text{Eq. 1}$$

onde X é a matriz da concentração das espécies químicas medidas no receptor, G é a matriz da composição da fonte, F é a matriz da contribuição dos fatores, e E é a matriz residual. O objetivo do modelo é encontrar valores para G e F que melhor reproduzam os dados medidos (matriz X). A matriz E é a diferença entre os valores originais (X) e os valores obtidos pelo modelo (GF).

Os dados de entrada do modelo são as concentrações dos HPAs e as suas respectivas incertezas, que foram calculadas através de Reff *et al.* (2007). O PMF

fornece um parâmetro que verifica se a análise foi realizada adequadamente (valor  $Q$ ); este parâmetro também pode ser estimado teoricamente. Se a modelagem estiver adequada, o valor  $Q$  do modelo deve se aproximar do valor  $Q$  teórico estimado.

As amostragens foram realizadas nas estações de monitoramento a cada 15 dias, entre os anos de 2006 e 2008, totalizando 112 amostras de material particulado fino. As amostras de  $MP_{2.5}$  (material particulado com diâmetro aerodinâmico inferior a  $2,5 \mu m$ ) foram coletadas em um tempo contínuo de 24h utilizando um *holder (stacked filter unit – AFG)* (Hopke *et al.*, 1997). Os HPAs foram extraídos de acordo com o método EPA TO 13A (US EPA, 1999) e então foram analisados com Cromatografia Gasosa – Espectrômetro de Massa (GC-MS). Foram amostrados 13 HPAs: Fluoreno, Fenantreno, Acenaftileno, Antraceno, Fluoranteno, Pireno, Benzo(a)Antraceno, Criseno, Benzo(b+k)Fluoranteno, Benzo(a)Pireno, Indeno[123-cd]Pireno, Dibenzo(ah)Antraceno, Benzo(ghi)Perileno. Todos estes compostos são classificados como poluentes prioritários pela US EPA (US EPA, 2012); esta classificação é baseada na toxicidade e frequência de emissão, entre outros fatores. Outras informações sobre os procedimentos analíticos dos dados utilizados neste trabalho encontram-se em Teixeira *et al.* (2013).

## Resultados e Discussão

O modelo inicia com os dados de concentração e suas respectivas incertezas. Já nesta primeira etapa, são apresentados gráficos nos quais é possível realizar uma inspeção visual inicial em busca de correlações nas amostras. Em seguida, deve-se determinar o número de fatores, para que o modelo possa estimar o perfil de emissão e a sua respectiva contribuição. Diversos estudos apontam que, para obtenção de resultados consistentes, deve-se variar o número de fatores até que o modelo encontre perfis de emissão adequados.

Foram selecionados quatro fatores para o município de Porto Alegre, e cinco fatores para Canoas e Sapucaia do Sul, sendo cada fator correspondente a uma fonte emissora de HPAs. Os valores  $Q$  obtidos pelo modelo e estimados são semelhantes, indicando que a modelagem está adequada; os coeficientes de correlação  $r^2$  apresentam-se elevados, como está apresentado na Tabela 1.

	Valor $Q$	Valor $Q$ teórico	$r^2$ médio
Porto Alegre	119	1398	0,97
Canoas	143,2	143	0,96
Sapucaia do Sul	110,7	113	0,98

◀ Tabela 1. Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem.

Após a obtenção dos perfis de emissão e das suas contribuições, é necessário identificá-los corretamente. Nesta etapa foi realizada uma extensa revisão bibliográfica para comparar os perfis resultantes do modelo com perfis de emissão já existentes e que foram obtidos a partir de medições diretamente nas fontes, dessa forma caracterizando as emissões de HPAs. A relação entre as fontes e os seus HPAs marcadores (ou seja, aqueles que caracterizam a emissão) está apresenta na Tabela 2.

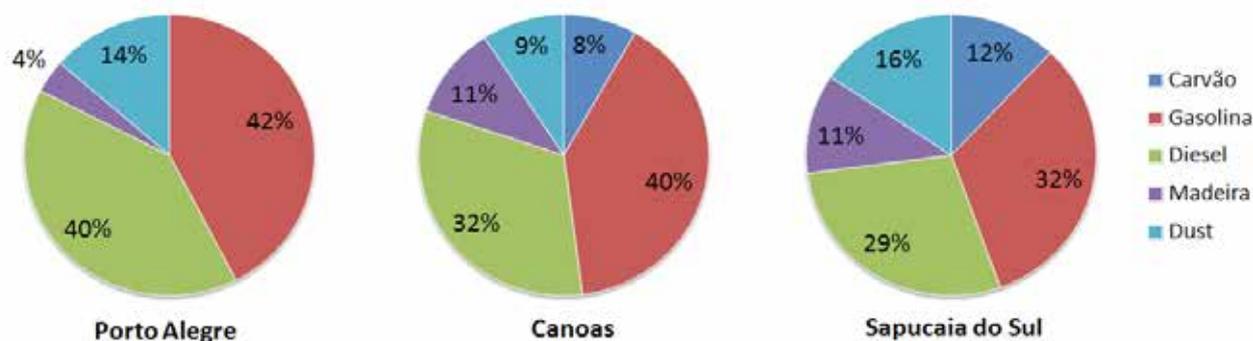
◀ Tabela 2. HPAs marcadores para diversas fontes emissoras.

Fonte Emissora	HPAs marcadores	Referência
Combustão de diesel	Fluoreno, Fenantreno, Acenaftileno, Antraceno, Pireno, Indeno[1,2,3-cd], Pireno, Fluoranteno, Benzo(a)Pireno, Benzo[b+k]Fluoranteno, Benzo(a)Antraceno	Karavalakis <i>et al.</i> , 2010; Wan <i>et al.</i> , 2006; Ballesteros <i>et al.</i> , 2010; Li <i>et al.</i> , 2006; Singh <i>et al.</i> , 2008; Wang <i>et al.</i> , 2009.
Combustão de gasolina	Pireno, Fenantreno, Fluoranteno, Acenaftileno, Benzo(a)Pireno, Criseno	Pengchai <i>et al.</i> , 2009; Devos <i>et al.</i> , 2005; Wang <i>et al.</i> , 2009; Rogge <i>et al.</i> , 1993.
Dust	Benzo[b+k]Fluoranteno, Benzo(a)Antraceno, Fluoreno, Benzo(ghi)Perileno, Benzo(a)Pireno, Pireno, Criseno	Fang <i>et al.</i> , 2004; Liu <i>et al.</i> , 2007; Hassanien & Abdel-Latif, 2008.
Combustão de madeira (fabricação de carvão vegetal)	Acenaftileno, Antraceno, Fenantreno, Benzo(a)Pireno, Pireno, Fluoranteno, Benzo[b+k]Fluoranteno	Schauer <i>et al.</i> , 2001; Khalili <i>et al.</i> , 1995; Bzdusek <i>et al.</i> , 2004.
Combustão de carvão	Criseno, Benzo[b+k]Fluoranteno, Fluoranteno, Pireno, Benzo(a)Antraceno, Fenantreno, Antraceno e Benzo(a)Pireno	Li <i>et al.</i> , 2006, Harrison <i>et al.</i> , 1996; Wan <i>et al.</i> , 2006; Chang <i>et al.</i> , 2006.

A partir de uma análise das prováveis fontes emissoras de HPAs na área de estudo por comparação com outros trabalhos (Tabela 2), foram identificados os perfis de combustão de gasolina e diesel, *dust*, fabricação de carvão vegetal e combustão de carvão. A percentagem de contribuição de cada fonte emissora está apresentada na Figura 1.

A influência das emissões de fontes móveis, principalmente de motores de combustão a diesel e gasolina, foi apontada como a principal responsável pelas emissões de HPAs, sendo responsável por 82%, 72% e 61% das emissões totais dos municípios de Porto Alegre, Canoas e Sapucaia do Sul, respectivamente. Estes centros urbanos sofrem influência de vias de intenso tráfego veicular, como a BR 290, a Av. Assis Brasil e principalmente a BR 116. Nessas rodovias existe um alto tráfego de veículos pesados, que são abastecidos com diesel (Teixeira *et al.*, 2012).

O *dust* está presente em partículas finas, principalmente em centros urbanos, e é proveniente de diversas fontes, como materiais da superfície das estradas, exaustão veicular, óleos e combustíveis, partículas de pneus e de materiais de construção. Neste estudo, o perfil de *dust* foi apontando como responsável por 14%, 9% e 16% das emissões de HPAs nos municípios de Porto Alegre, Canoas e Sapucaia do Sul, respectivamente. Diversos outros estudos também relatam a presença desse



▲ Figura 1. Contribuição das fontes em Porto Alegre, Canoas e Sapucaia do Sul – PMF.

poluente em áreas urbanizadas (Liu *et al.*, 2007; Park & Kim, 2005; Fang *et al.*, 2004; Hassanien & Abdel-Latif, 2008).

A contribuição da combustão de madeira foi apontada como responsável por 4%, 11% e 11% das emissões de HPAs nos municípios de Porto Alegre, Canoas e Sapucaia do Sul, respectivamente. Essa influência é devida à ampla produção de carvão vegetal no estado do Rio Grande do Sul. O RS é o 8º maior produtor de carvão vegetal no Brasil, e os municípios que têm a maior produção estão localizados próximos à Região Metropolitana de Porto Alegre (RIO GRANDE DO SUL, 2011).

A combustão do carvão também foi apontada nos resultados, apresentando uma contribuição de 8% e 12% apenas nos municípios de Canoas e Sapucaia do Sul, respectivamente. Esta influência poderia ser atribuída principalmente à proximidade dos locais de amostragem das Usinas Termoelétricas a carvão, localizadas em dois municípios que estão a aproximadamente 60 km de distância (Charqueadas e São Jerônimo). Outros estudos também relataram uma significativa contribuição das emissões de combustão de carvão nas concentrações de HPAs no ambiente (Bi *et al.*, 2008; Larsen & Baker, 2003).

Os resultados da modelagem apontam uma contribuição semelhante entre os três municípios estudados; isso já era esperado devido à proximidade entre os pontos de amostragem, que estão sob a influência das mesmas fontes emissoras de poluentes. Os perfis de emissão de HPAs de diversas fontes foram obtidos a partir de uma revisão de literatura, realizada antes do início do processo de modelagem; posteriormente estes perfis foram utilizados como base na identificação dos fatores gerados pelo PMF. Entretanto, é importante ressaltar que podem existir outras fontes menos significativas que não foram incluídas neste trabalho, mas que podem influenciar nas emissões de HPAs na área estudada. No entanto, como os valores dos parâmetros estatísticos que verificam se a modelagem foi feita de maneira adequada estão dentro das faixas recomendadas e há evidências destas fontes de emissão na área amostrada, podemos afirmar que os resultados obtidos neste estudo são representativos das atuais emissões de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos nos municípios de Porto Alegre, Canoas e Sapucaia do Sul.

## Conclusão

O modelo receptor *Positive Matrix Factorization* 3.0 mostrou-se uma ferramenta eficiente para caracterizar as contribuições dos emissores de HPAs. Os resultados deste estudo de determinação das fontes são consistentes e semelhantes aos encontrados na literatura: as principais fontes de HPAs são a frota veicular (diesel

### Agradecimentos

Ao CNPq pelo suporte financeiro e ao Laboratório de Química da FEPAM.

e gasolina), *dust*, combustão de madeira e de carvão.

Este trabalho de modelagem receptora foi realizado anteriormente com o modelo *Chemical Mass Balance* 8.2 (Mattiuzi *et al.*, 2012) e os resultados obtidos em ambos os trabalhos apresentaram concordância. Um estudo mais detalhado sobre a modelagem receptora de partículas atmosféricas finas está em preparação (Mattiuzi, Teixeira & Agudelo-Castañeda, *s.d.*), no qual é realizada uma comparação e a crítica das metodologias e resultados.

## Referências bibliográficas

BALLESTEROS, R.; HERNÁNDEZ, J. J.; LYONS, L. L. An experimental study of the influence of biofuel origin on particle-associated PAH emissions. **Atmospheric Environment**, v. 44, n. 8, p. 930-938, 2010.

BI, X. *et al.* Characterization of molecular markers in smoke from residential coal combustion in China. **Fuel**, v. 87, p. 112-119, 2008.

BZDUSEK, P. *et al.* Source apportionment of sediment PAHs in Lake Calumet, Chicago: application of factor analysis with nonnegative constraints. **Environmental Science & Technology**, v. 38, p. 97-103, 2004.

CHANG, K. F. *et al.* Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Asia: a review from 1999 to 2004. **Environmental Pollution**, v. 142, p. 388-396, 2006.

DEVOS, O. *et al.* Exhaust emissions of PAHs of passenger cars. **Polycyclic Aromatic Compounds**, v. 26, p. 69-78, 2005.

FANG, G. - C. *et al.* Characterization, identification of ambient air and road dust polycyclic aromatic hydrocarbons in Central Taiwan, Taichung. **Environment**, v. 327, p. 135-146, 2004.

HARRISON, R. M.; SMITH, D. J. T.; LUHANA, L. Source apportionment of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons collected from an urban location in Birmingham, U.K. **Environmental Science & Technology**, v. 30, p. 825-832, 1996.

HASSANIEN, M. A. ; ABDEL-LATIF, N. M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in road dust over Greater Cairo, Egypt. **Analysis**, v. 151, p. 247-254, 2008.

HOPKE, P. K. *et al.* Characterization of the Gent stacked filter unit PM<sub>10</sub> sampler. **Aerosol Science and Technology**, v. 27, p. 726-735, 1997.

\_\_\_\_\_. A guide to Positive Matrix Factorization. Department of Chemistry, Clarkson University. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/pm25/workshop/laymen.pdf>>. Acesso em: jan. 2012.

KARAVALAKIS, G. *et al.* Effects of low concentration biodiesel blends application on modern passenger cars. Part 3: impact on PAH, nitro-PAH, and oxy-PAH emissions. **Environmental Pollution**, v. 158, p. 1584-94, 2010.

KHALILI, N. R.; SCHEFF, P. A.; HOLSTEN, T. M. PAH source fingerprints for coke ovens, diesel and gasoline engines, highway tunnels, and wood combustion emissions. **Atmospheric Environment**, v. 29, p. 533-542, 1995.

LARSEN, R.K.; BAKER, J.E. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere: a comparison of three methods. **Environmental Science and Technology**, v. 37, p. 1873-1881, 2003.

LI, J. *et al.* Source seasonality of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in a subtropical city, Guangzhou, South China. **Science of the Total Environment**, v. 355, p. 145-55, 2006.

LIU, M. *et al.* Characterization, identification of road dust PAHs in Central Shanghai areas, China. **Atmospheric Environment**, v. 41, p. 8785-8795, 2007.

MATTIUZI, C. D. P; AGUDELO-CASTAÑEDA, D. M.; TEIXEIRA, E. C. Determinação das principais fontes emissoras de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos na Região Metropolitana de Porto Alegre utilizando o modelo receptor Chemical Mass Balance. **FEPAM em Revista**, Porto Alegre, v. 6, n.1, jan/jul. 2012, p. 4-12.

METRE, P. C.; MAHLER, B. J. Contribution of PAHs from coal-tar pavement seal coat and other sources do 40 U.S. lakes. **Science of the Total Environment**, v. 409, p. 334-344, 2010.

PARK, S. S.; KIM, Y. J. Source Contributions to Fine Particulate Matter in an Urban Atmosphere. **Chemosphere**, v. 59, p. 217-26, 2005.

PENGCHAI, P. *et al.* Seasonal variation, risk assessment and source estimation of PM<sub>10</sub> and PM<sub>10</sub>-bound PAHs in the ambient air of Chiang Mai and Lamphun, Thailand. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 154, p. 197-218, 2009.

RAVINDRA, K.; SOKHI, R.; VAN GRIEKEN, R. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation. **Atmospheric Environment**, v. 42, p. 2895-2921, 2008.

REFE, A. ; EBERLY, S. I.; BHAVE, P. V. Receptor modeling of ambient particulate matter data using positive matrix factorization: review of existing methods. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 57, p. 146-54, 2007.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Coordenação e Planejamento. Carvão Vegetal. Disponível em: <<http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/atlas.asp?menu=608>>. Acesso em: agosto 2011.

ROGGE, W. F. *et al.* Sources of fine organic Aerosol .2 .Noncatalyst and catalyst-equipped automobiles and heavy-duty diesel trucks. **Environmental Chemistry**, p. 636-651, 1993.

SCHAUER, J. J. *et al.* Measurement of emissions from air organic compounds from fireplace combustion of wood. **Environmental Science & Technology**, v. 35, p. 1716-1728, 2001.

SINGH, K. P. *et al.* Receptor modeling for source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban atmosphere. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 136, p. 183-96, 2008.

TEIXEIRA, E. C (Coord.). **Biodiesel: impacto ambiental, agrônômico e atmosférico**. Porto Alegre: Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler, 2012. 128p.

UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. **Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air.** Compendium method TO-13A: determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in ambient air using Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) (EPA/625/R-96/010b), 1999. Disponível em : <<http://www.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/airtox/to-13arr.pdf>>. Acesso em: 2012.

\_\_\_\_\_. Office of the Federal Registration (OFR): Chapter I - Part 423: Appendix A to part 423 - 126 priority pollutants. Disponível em: <<http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=e8c0bdaa2ba8235608e1a098bf267a16&node=40:30.0.1.1.23.0.5.9.9&rgn=div9>>. Acesso em: 2012.

VESTENIUS, M. *et al.* Background concentrations and source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in South-Eastern Finland. **Atmospheric Environment**, v. 45, p. 3391-3399, 2011.

WAN, X. *et al.* Source apportionment of PAHs in atmospheric particulates of Dalian: Factor analysis with nonnegative constraints and emission inventory analysis. **Atmospheric Environment**, v. 40, p. 6666-6675, 2006.

WANG, D. *et al.* Application of positive matrix factorization to identify potential sources of PAHs in soil of Dalian, China. **Environmental Pollution**, v. 157, p. 1559-1564, 2009.

# Avaliação de metais em peixes do trecho inferior do rio dos Sinos, RS

Camila Cerveira<sup>1,2</sup>; Larissa Meincke<sup>1</sup>; Lúcia Marina Rosa da Silva<sup>1,2</sup>;  
Celso Troian de Carvalho<sup>1</sup>; Maria Lucia Kolowski Rodrigues<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler (FEPAM) – Porto Alegre, RS, Brasil.  
<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – Porto Alegre, RS, Brasil.

**Autor Correspondente:**  
M. L. K. Rodrigues, Rua Aurélio Porto, 45, CEP 90620-090, Porto Alegre, RS, Brasil.  
Tel.: (51) 3384-5285.  
E-mail: metaisfepam@hotmail.com.

## Resumo

Metais provenientes de fontes naturais e antropogênicas podem ser introduzidos nos ecossistemas aquáticos, representando uma séria ameaça, devido à sua toxicidade, persistência e potencial de incorporação à cadeia alimentar. No RS, a bacia hidrográfica do rio dos Sinos é um dos principais ambientes sujeitos à contaminação por metais, devido ao contínuo aporte de despejos industriais, urbanos e agrícolas. Neste estudo, analisaram-se os teores de cádmio, cobre, cromo, chumbo, níquel e zinco no tecido muscular de peixes coletados durante evento de mortandade no rio dos Sinos (Prainha de Novo Hamburgo, 2010). Visando complementar o diagnóstico ambiental, avaliaram-se estes metais em amostras de sedimento do trecho inferior da bacia. As análises foram realizadas por GF/AAS (peixes) e ICP/OES (sedimentos). Conforme o fator de Hakanson, a contaminação dos sedimentos por metais foi moderada no local de captura dos peixes, aumentando expressivamente nos arroios Luís Rau e Portão. Os resultados obtidos em peixes indicaram incorporação de metais no tecido muscular, observando-se níveis acima dos padrões para consumo humano vigentes na legislação. Neste texto, também se comentam resultados anteriormente publicados, que apontavam contaminação por mercúrio em peixes investigados no presente estudo.

**Palavras-chave:** metais, peixes, sedimento, rio dos Sinos

## Metal assessment in fish from the lower reach of Sinos river, RS, Brazil

### Abstract

Metals arising from natural and anthropogenic sources are introduced into aquatic ecosystems, where they represent a serious threat to local organisms, due to their toxicity, persistence and potential of incorporation into the food chain. In Rio Grande do Sul State, Brazil, Sinos river basin is a fluvial environment especially subject to contamination by metals, due to the continuous input of industrial, urban and agricultural discharges. In this study, we analyzed the levels of cadmium, copper, chromium, lead, nickel and zinc in the tissue of fish collected during a killfish event occurred in Sinos river (Prainha, Novo Hamburgo county, 2010). In order to complement the environmental diagnosis, we evaluated the same metals in sediment samples from the lower reach of the basin. Metal analyses were performed by GF/AAS (fish) and ICP/OES (sediment). According to Hakanson's factor, sediment contamination was moderate in the site where fish were captured, increasing in two Sinos river affluents - Luís Rau and Portão streams. Fish tissue revealed incorporation of metals, with levels above Brazilian standards for human ingestion. We also discuss previously published results that highlighted mercury contamination in fish samples evaluated in this study.

**Keywords:** metals, fish, sediment, Sinos river

## Introdução

Os metais provenientes tanto de fontes naturais quanto antropogênicas podem entrar continuamente nos ecossistemas aquáticos, onde representam uma séria ameaça, devido à sua toxicidade, persistência e potencial de bioacumulação.

Quando introduzidos no ambiente fluvial, os metais tendem a distribuir-se entre os diferentes compartimentos ambientais. Mesmo que a água dos rios apresente teores de metais compatíveis com os limites tolerados na legislação, esses elementos podem permanecer retidos nos sedimentos, com risco de liberação, mediante alterações nas condições do meio, e de magnificação ao longo da rede trófica (Förstner e Wittmann, 1981).

Uma vez incorporados ao organismo, os metais podem ligar-se aos grupos sulfidrilas de enzimas que controlam a velocidade de reações metabólicas. Essa interferência pode ser crítica para o bom funcionamento e mesmo para a sobrevivência dos seres vivos afetados, podendo ocasionar sérios prejuízos à saúde de populações inteiras (Baird, 2002). Os peixes encontram-se na extremidade da cadeia alimentar aquática e seu uso na dieta alimentar constitui o principal meio de exposição de populações humanas a metais (Costa e Hartz, 2009; Findik e Çiçek, 2011).

No RS, a bacia hidrográfica do rio dos Sinos é um dos principais ambientes sujeitos à contaminação por metais, devido ao contínuo aporte de despejos industriais, urbanos e agrícolas, ocorrido ao longo de várias décadas. O rio dos Sinos recebe a influência de um dos maiores centros industriais do sul do Brasil, representado principalmente por empresas dos ramos coureiro calçadista, metalúrgico, siderúrgico e têxtil (Haase, 2003).

Neste estudo, avaliou-se a concentração de chumbo (Pb), cobre (Cu), cádmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni) e zinco (Zn) no tecido muscular de peixes de diferentes níveis tróficos, capturados no rio dos Sinos durante evento de mortandade ocorrido em dez/2010. Visando caracterizar as condições ambientais existentes, foram avaliadas amostras de sedimento ao longo do trecho inferior da bacia do rio dos Sinos.

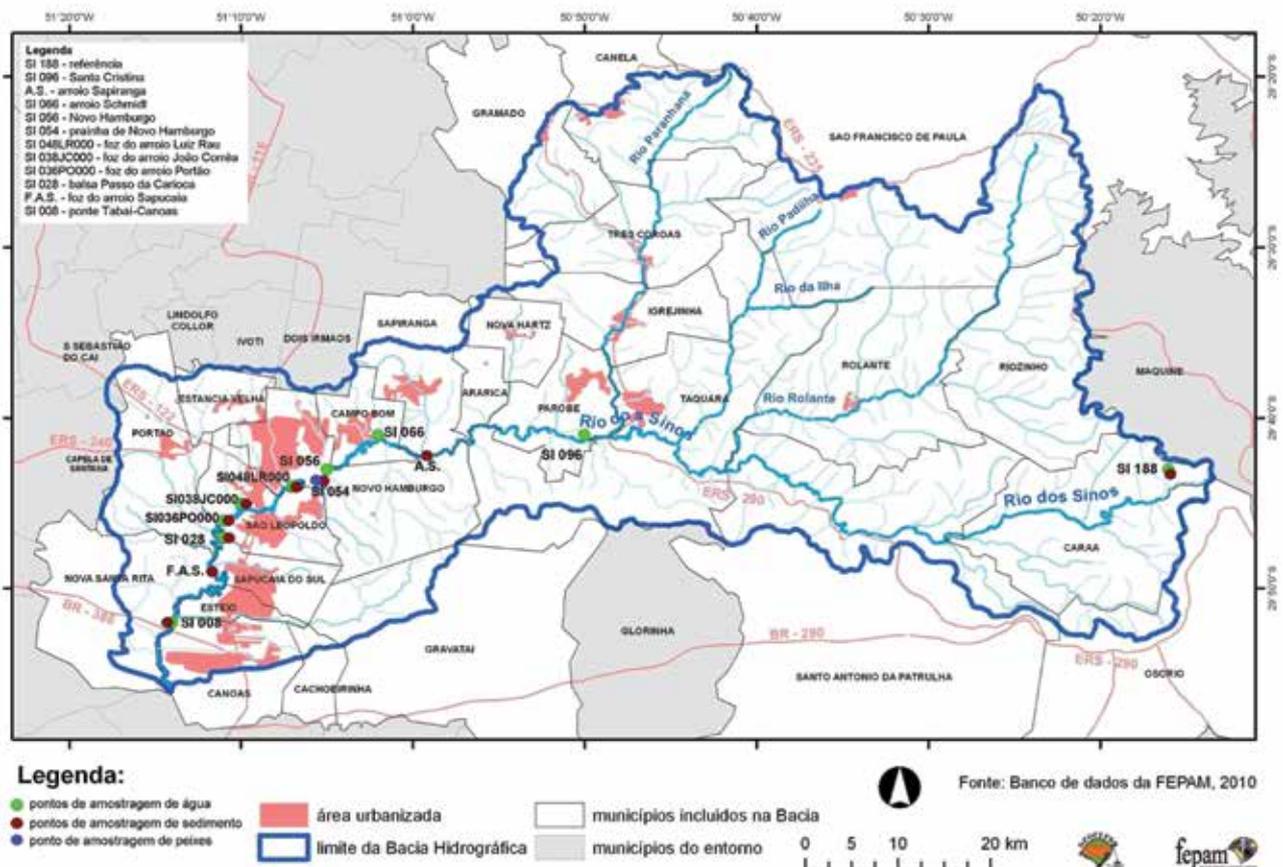
## Materiais e métodos

### Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos (Figura 1) localiza-se no nordeste do RS e ocupa uma área de 3.820 km<sup>2</sup>, que inclui o território total ou parcial de 32 municípios. Seu trecho inferior é caracterizado por uma alta densidade populacional e industrial, pela cobertura vegetal reduzida e pelos meandros do rio principal, que podem favorecer o acúmulo de metais nos sedimentos (Haase, 2003; FEPAM, 2008).

### Coleta, preparação e análise das amostras

Os espécimes de peixes foram disponibilizados pelo Serviço de Emergência Ambiental da FEPAM, em atendimento a um evento de mortandade ocorrido na Prainha de Novo Hamburgo (ponto SI054), em dez/2010 (Figura 1). A *causa mortis* foi atribuída à baixa concentração de oxigênio dissolvido nas águas, insuficiente para a manutenção da vida aquática. A coleta foi realizada por técnicos da Divisão de Biologia e do Serviço de Amostragem da FEPAM (Figura 2), com a obtenção aleatória de peixes pertencentes a sete diferentes espécies (Tabela 1 e Figura 3).



▲ Figura 1. Bacia hidrográfica do rio dos Sinos (RS), com a localização dos pontos de amostragem de peixes e de sedimento, além dos pontos da rede de monitoramento da qualidade da água operada pela FEPAM (modificado de Ceveira *et al.*, 2011).

Os exemplares obtidos foram acondicionados em sacos plásticos e mantidos sob refrigeração a 4°C. Imediatamente após a chegada ao laboratório, foram identificados, pesados, medidos e dissecados com auxílio de tesoura, pinça e bisturi em aço inoxidável. Após a separação do tecido muscular, foi feita uma composição de amostras para indivíduos de mesma espécie. As amostras assim compostas foram maceradas com emprego de pistilo e gral de vidro, sendo mantidas sob congelamento a -20°C, até o momento da digestão (Rodrigues e Formoso, 2006). As análises foram realizadas em laboratório cadastrado na FEPAM, com determinação dos metais por espectrometria de absorção atômica em forno de grafite (GF/AAS), após digestão ácida das amostras.



▲ Figura 2 – Amostragens de peixes no rio dos Sinos realizadas pela FEPAM

A coleta dos sedimentos foi realizada no final de 2010, entre os municípios de Novo Hamburgo e Canoas, contando com o apoio do Serviço de Amostragem (Figura 1). Com o emprego de uma draga, recolheu-se a camada superficial dos sedimentos, num total de oito amostras. Como referência de comparação dos dados, foi coletada uma amostra adicional de sedimento na localidade de Caraá, situada no trecho superior da bacia do rio dos Sinos. Visando a obtenção da fração silte-argila ( $< 63 \mu\text{m}$ ), as amostras de sedimento foram peneiradas a úmido, utilizando água do ponto de coleta. A fração fina foi seca em estufa, a uma temperatura inferior a  $37^\circ\text{C}$ , e pulverizada com o auxílio de gral e pistilo de ágata. As amostras foram digeridas em bombas de teflon, com uma mistura dos ácidos fluorídrico, nítrico e clorídrico, em estufa a  $150^\circ\text{C}$ , durante 4 horas (Rodrigues, 2007). A quantificação de metais foi realizada por espectrometria de emissão óptica com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP/OES), no Laboratório de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

▼ Tabela 1 – Exemplos de peixes coletados na Prainha de Novo Hamburgo, em dez/2010 ( $n = 20$ )

Espécie	Nome popular	Hábito alimentar	n
<i>Crenicichla sp</i>	Joaninha	Carnívoro Insetívoro	2
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa	Bentófago Onívoro	1
<i>Acestrorhynchus pantaneiro</i>	Peixe cachorro	Carnívoro Piscívoro	2
<i>Astyanax sp</i>	Lambari	Detritívoro Insetívoro	5
<i>Gymnogeophagus gymnogenys</i>	Cará	Zooplantófago	4
<i>Rineloricaria sp</i>	Violinha	Detritívoro Herbívoro	4
<i>Rhamdia sp</i>	Jundiá	Onívoro	2



## Resultados

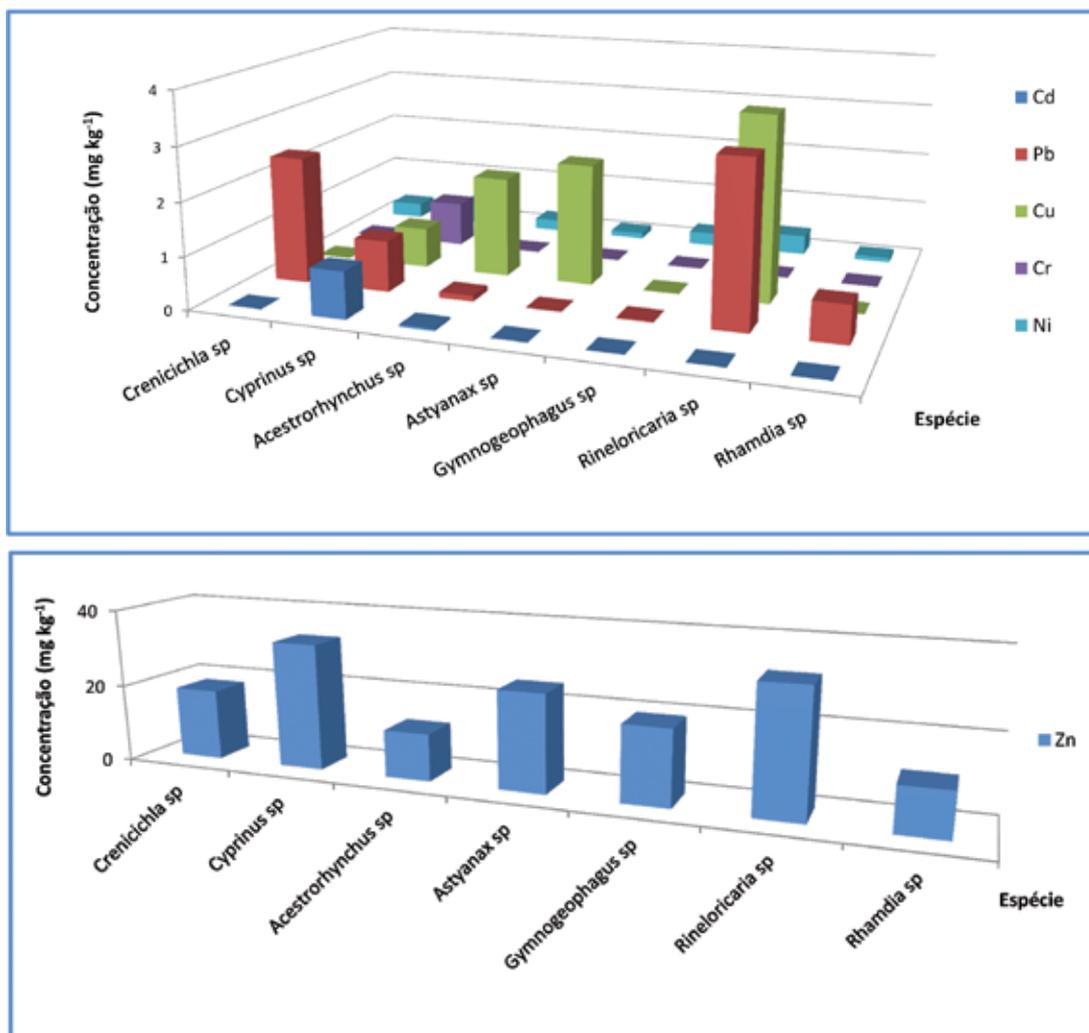
A Figura 4 apresenta os resultados da análise de metais nos peixes capturados. As espécies *Crenicichla sp* e *Rineloricaria sp* destacaram-se pelas concentrações mais elevadas de chumbo ( $2,4$  e  $3,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectivamente). Conforme a legislação vigente em 2010 para níveis máximos de contaminantes químicos em alimentos (MS/SVS, 1998), estes valores estavam em desacordo com o limite tolerável para consumo humano ( $2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Considerando as alterações na legislação promovidas pela RDC N° 42/2013, que tornaram os limites permitidos mais restritivos (MS/ANVISA, 2013), os teores de chumbo obtidos em *Rhamdia sp* e *Cyprinus carpio* ( $0,72$  e  $0,97 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectivamente) hoje também estariam em desacordo com o valor tolerável ( $0,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).

*Cyprinus carpio* ainda despertou atenção devido ao acúmulo de Cd, Cr, Cu, Ni e Zn no tecido muscular ( $0,89$ ;  $0,76$ ;  $0,85$ ;  $0,44$ ;  $32,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectivamente). Com a aplicação da RDC N° 42/2013, o teor de Cd ultrapassa o padrão normativo atual

▲ Figura 3 – Exemplos de peixes coletados na Prainha de Novo Hamburgo em dezembro de 2010: (a) *Rhamdia sp*; (b) *Gymnogeophagus gymnogenys*; (c) *Rineloricaria sp*; (d) *Acestrorhynchus pantaneiro*; (e) *Astyanax sp*

(0,05 mg·kg<sup>-1</sup>), ao contrário do valor máximo anteriormente permitido (1 mg·kg<sup>-1</sup>). *Cyprinus carpio* é uma espécie invasiva, tolerante a condições ambientais bastante variadas e que se alimenta de plantas e de organismos bentônicos. Apresenta migração reprodutiva e é capaz de sobreviver em águas com baixas concentrações de oxigênio, captando ar junto à superfície (Fishbase, 2013).

► Figura 4 - Concentração de metais no tecido muscular dos peixes: (a) Cd, Pb, Cu, Cr, Ni; (b) Zn.



Na Tabela 2, comparam-se os resultados deste estudo com dados da literatura. Em relação aos valores obtidos por DMAE/CESB (1983), na análise da parte comestível de peixes do lago Guaíba ( $n = 52$ ), os teores observados no rio dos Sinos foram menores para Cu, Cr e Ni, da mesma ordem de grandeza para Cd e mais elevados para Zn e Pb.

► Tabela 2 – Comparação dos intervalos de concentração de metais obtidos neste estudo com dados da literatura (em mg kg<sup>-1</sup>; base úmida)

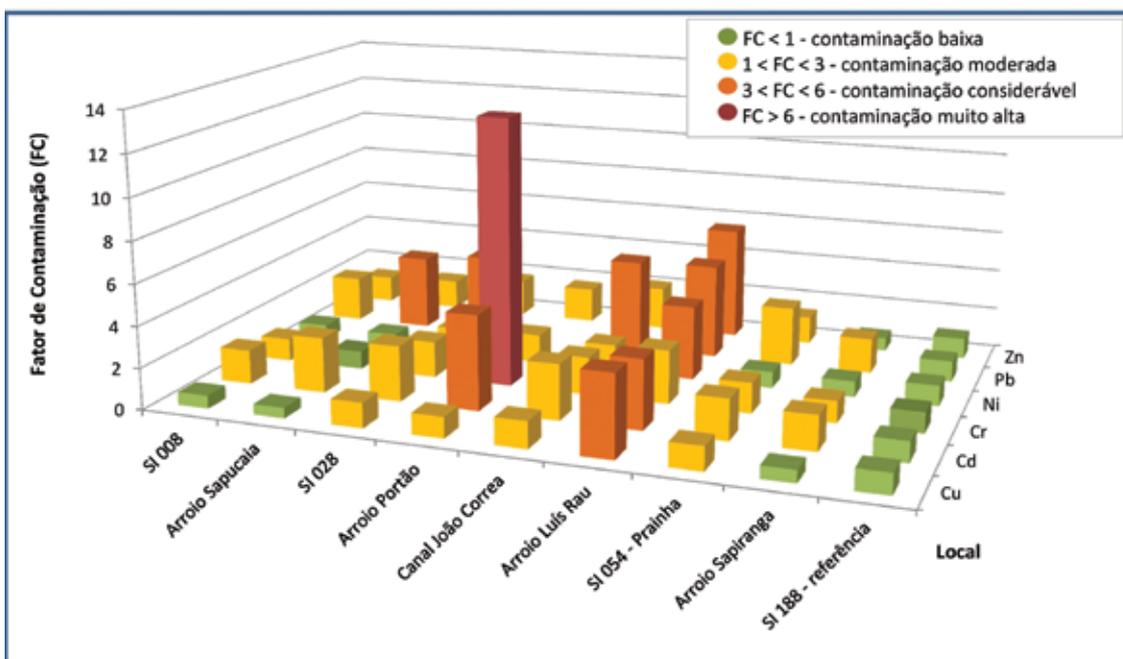
Referência	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Rio dos Sinos, RS (S1054), em dez/2010	<0,01-0,89	<0,02-0,85	<0,02-3,50	0,09-0,44	<0,04-3,10	11,4-32,7
Lago Guaíba, RS, em 1983	ND-0,96	ND-2,7	ND-7,1	ND-1,0	ND	ND-11,97
Peixes onívoros, de locais não contaminados	*	0,02-0,46	*	0,04-0,28	*	4,1-16,1

<sup>1</sup>Este estudo; <sup>2</sup>DMAE/CESB, 1983; <sup>3</sup> Förstner e Wittmann, 1981; *apud* Silvano, 2003; \*Ausência do dado.

Quanto aos sedimentos, comparou-se o grau de qualidade ambiental entre os pontos de coleta com o cálculo do Fator de Contaminação (FC) proposto por Hakanson (1984). Este fator equivale à razão entre o teor do metal no ponto considerado e no ponto de referência (SI188). As concentrações de metais observadas no ponto SI188 e consideradas neste estudo como valores de *background* da área foram as seguintes: Cd = 0,59; Cr = 93; Cu = 78; Ni = 35; Pb = 10,5; e Zn = 97 mg·kg<sup>-1</sup> (fração silte-argila, em base seca). De acordo com a classificação proposta por Hakanson (1984), o valor de FC corresponde a diferentes intensidades de contaminação dos sedimentos: FC < 1 = baixa; 1 < FC < 3 = moderada; 3 < FC < 6 = considerável; FC > 6 = muito alta.

A Figura 5 ilustra a variação espacial de FC, ao longo dos pontos de coleta, indicando a predominância de um grau de contaminação moderado dos sedimentos. Entretanto, a foz do arroio Luís Rau (ponto SI048LR000) destacou-se pela contaminação considerável por Cd, Pb, Cu, Ni e Zn, enquanto a foz do arroio Portão (ponto SI036PO000) destacou-se pela contaminação considerável por Cd e muito alta por Cr. O arroio Luís Rau recebe forte influência industrial, principalmente de metalúrgicas e galvanoplastias, e o arroio Portão caracteriza-se pela concentração de empresas do ramo de curtumes em sua bacia de drenagem. Na Prainha de Novo Hamburgo (ponto SI054), os sedimentos apresentaram um grau de contaminação baixo por Ni e moderado por Cd, Pb, Cr, Cu e Zn. Neste local, Pb e Cd obtiveram os FCs mais elevados entre os metais avaliados (2,9 e 2,0, respectivamente), corroborando os resultados observados nos peixes. Com exceção dos arroios Luís Rau e Portão, os demais pontos de coleta também apresentaram FCs mais elevados para Pb e Cd.

Ressalta-se que os resultados obtidos na análise de metais nos sedimentos do rio dos Sinos podem estar em parte subestimados. O trecho inferior do rio está sujeito a atividades de dragagem, o que pode diminuir a formação de estoques destes contaminantes em determinados locais. Por outro lado, a perturbação dos sedimentos pela retirada de materiais de fundo pode disponibilizar os metais na coluna d'água, aumentando o potencial de incorporação nos organismos aquáticos por essa via de exposição.



◀ Figura 5. Fator de contaminação dos sedimentos, segundo Hakanson (1984). Nota: ausência do dado para Pb no arroio Portão (ponto SI036PO000).

Outro aspecto a ser ressaltado diz respeito a resultados obtidos anteriormente, durante a investigação de mercúrio (Hg) nas mesmas amostras de sedimento utilizadas no presente estudo (CERVEIRA *et al.*, 2011) e em exemplares de peixes coletados durante a mortandade ocorrida na Prainha de Novo Hamburgo, em dez/2010 (GORZIZA *et al.*, 2011). No trecho entre Novo Hamburgo e São Leopoldo, CERVEIRA *et al.* (2011) observaram teores de Hg nos sedimentos entre 0,173 e 0,244 mg kg<sup>-1</sup>, o que corresponde a uma contaminação moderada (1,5 < FC < 2). Os dados obtidos por GORZIZA *et al.* (2011) para peixes da espécie *A. pantaneiro* (n=2) na Prainha de Novo Hamburgo indicaram teores de Hg no tecido muscular equivalentes a 0,635 mg kg<sup>-1</sup>. Este valor não ultrapassou o limite máximo estabelecido para o consumo de peixes predadores (1 mg kg<sup>-1</sup>), mas desperta preocupação quanto à bioacumulação local de Hg.

#### Agradecimentos

A Clarice T. Lemos, Rubem Horn, Márcia L. Bonow (Divisão de Biologia/FEPAM), Lillian W. Ferraro (GEO/FEPAM) e Fernando G. Becker (PPG Ecologia/UFRGS). Ao CNPq e à FAPERGS pelas bolsas de Iniciação Científica de Camila Cerveira (2010-2011 e 2011-2012, respectivamente) e pela bolsa de Apoio Técnico a Larissa Meincke (PRONEX/FAPERGS/CNPq). Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica de Lúcia Marina Rosa da Silva.

#### Conclusões

O estudo realizado no trecho inferior da bacia hidrográfica do rio dos Sinos permitiu uma avaliação ambiental integrada, relacionando os teores de metais obtidos no tecido muscular de peixes e nos sedimentos. Os resultados indicaram que a população local está potencialmente exposta ao contato com um ambiente fluvial contaminado por metais e também ao consumo de peixes em desacordo com parâmetros normativos da legislação brasileira. Existe a necessidade de estender e de confirmar os dados deste estudo prospectivo, investigando o acúmulo de metais em um maior número de peixes de diferentes níveis tróficos.

#### Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução da Diretoria Colegiada n° 42 de 16 de agosto de 2013. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 29 de agosto de 2013.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria n°. 685 de 27 de agosto de 1998. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 de agosto de 1998.

CERVEIRA, C. *et al.* Contaminação por mercúrio no trecho inferior da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS. **FEPAM em Revista**, v. 5, n. 2, 15-18, 2011.

COSTA, S. C.; HARTZ, S. M. Evaluation of trace metals (cadmium, chromium, copper and zinc) in tissues of a commercially important fish (*Leporinus obtusidens*) from Guaíba Lake, Southern Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.52, n.1, p. 241-250, 2009.

FINDIK, Ö.; ÇIÇEK, E. Metal concentrations in two bioindicator fish species, *Merlangius merlangus*, *Mullus barbatus*, captured from the West Black Sea coasts (Bartin) of Turkey. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 87, p. 399-403, 2011.

FISHBASE. *Cyprinus carpio*. Disponível em: <http://www.fishbase.org/summary/1450>. Acesso em: julho 2013.

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. **Metal pollution in the aquatic environment**. 2 ed. Berlin: Springer, 1981. 486p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL. **Eventos de mortandade de peixes - Rio dos Sinos**. Porto Alegre, 2008. Relatório técnico.

GORZIZA, D. F. *et al.* Risco potencial de exposição humana ao mercúrio por consumo de peixes do rio dos Sinos (RS). In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 10., 2011, São Lourenço, MG. **Anais...** São Lourenço, 2011. CD-ROM.

HAASE, J. Bacia do rio dos Sinos. In: JOHNSON, R. M. F.; LOPES, P. D. (Orgs.). **Projeto Marca d'Água: seguindo as mudanças na gestão das bacias hidrográficas do Brasil: caderno 1: retratos 3x4 das bacias pesquisadas**. Brasília: Finatec, 2003. p. 163-168.

HAKANSON, L. Aquatic contamination and ecological risk: an attempt to a conceptual framework. **Water Research**, v.18, n.9, p. 1107-1118, 1984.

PORTO ALEGRE. Departamento Municipal de Água e Esgotos; CENTRO DE ESTUDOS DE SANEAMENTO BÁSICO. **Inventário e classificação da ictiofauna do Rio Guaíba**. Pesquisa de metais e substâncias tóxicas. Relatório Técnico. 84p. Porto Alegre, 1983.

RODRIGUES, M. L. K.; FORMOSO, M. L. L. Heavy metals in recent sediments and bottom-fish under the influence of tanneries in south Brazil. **Water, Air, and Soil Pollution**, v.176, 307-327, 2006.

RODRIGUES, M. L. K. **Origem, distribuição e mobilidade potencial de metais pesados em ambiente fluvial impactado por curtumes**. 2007. 255 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SILVANO, J. **Avaliação de metais na água, no sedimento e nos peixes da lagoa Azul, formada por lavra de mineração de carvão a céu aberto, Siderópolis - SC**. 2003. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

# Determinação de BTEX no arroio Dilúvio em Porto Alegre, Rio Grande do Sul

Cheila Viegas; Jorge André Ribeiro; Carin von Mühlen

Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS, Brasil

Autor correspondente:  
Carin von Mühlen, ERS  
239, 2755, CEP 93352-000,  
Novo Hamburgo, RS, Brasil.  
Fone: (51)35868800, ramais  
8913/8749. E-mail: carin@  
feevale.br

## Resumo

A contaminação dos recursos hídricos por derivados do petróleo pode ser monitorada pela caracterização de hidrocarbonetos aromáticos, dentre os quais se destaca a série de compostos tóxicos mais voláteis - benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX). No presente trabalho, foi avaliada a contaminação por BTEX no arroio Dilúvio, em Porto Alegre, em regiões próximas aos postos de gasolina que se encontram no entorno do arroio. A determinação dos compostos de interesse foi realizada por extração por *headspace* e análise por cromatografia gasosa com detecção por ionização em chama. A avaliação dos resultados obtidos usou como base os limites estabelecidos na Resolução CONAMA n. 357/2005, que, além de classificar os corpos hídricos, estabelece parâmetros máximos destes compostos, a fim de manter a qualidade da água. Em diversos pontos, nas duas coletas realizadas, o tolueno foi detectado em concentrações acima dos limites estabelecidos para águas de Classe 1 e 2, indicando a ocorrência de contaminação ambiental. Existe a necessidade de identificar as fontes potenciais de contribuição, incluindo, além dos postos de combustíveis, outros estabelecimentos que possam afetar a qualidade das águas do arroio Dilúvio.

**Palavras-chave:** *headspace*, tolueno, GC-FID.

## BTEX determination in Dilúvio stream, Porto Alegre, Rio Grande do Sul State, Brazil

### Abstract

Contamination of water resources by petroleum products can be monitored by the characterization of aromatic hydrocarbons, among which stand out the more volatile toxic compounds benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes (BTEX). In this study the BTEX contamination in waters of Dilúvio stream, Porto Alegre, was investigated in locations close to the gas stations that are in the vicinity of this stream. The determination of compounds of interest was performed by extraction and analysis by headspace and gas chromatography with flame ionization detection. Results were evaluated by comparison with Brazilian standards established by Resolution CONAMA n°. 357/2005. In addition to classifying water bodies, this Resolution establishes maximum parameters for each evaluated compound in order to maintain the water quality. At several points in the two sampling campaigns, toluene was detected at concentrations above the limits for waters of classes 1 and 2, indicating the occurrence of environmental contamination. There is a need to identify the potential sources of contribution, including, in addition to gas stations, other facilities that may affect the water quality of Dilúvio stream.

**Keywords:** Toluene, *headspace*, GC-FID.

## Introdução

A bacia do arroio Dilúvio é a mais densamente urbanizada em Porto Alegre, apresentando uma área de drenagem de 76 km<sup>2</sup> e comprimento do arroio principal de 12 km. Em termos de altitude, alguns pontos podem chegar a 300 m (Campana & Tucci, 2001). O arroio Dilúvio nasce na Lomba do Pinheiro, Zona Leste de Porto Alegre, na Represa da Lomba do Sabão. Recebe diversos afluentes, como os arroios dos Marianos, Moinho, São Vicente e Cascatinha, e deságua no limite entre os parques Marinha do Brasil e Maurício Sirotsky Sobrinho (Porto Alegre, 2011).

As águas desse importante córrego da cidade recebem anualmente 50.000 m<sup>3</sup> de terra e lixo, o que equivale a 10.000 caminhões-caçamba cheios. O riacho ainda transporta o esgoto cloacal de três bairros para o lago Guaíba, e necessita de limpeza e dragagem permanentes, feitas pelos acessos laterais oferecidos pela Avenida Ipiranga. Este trabalho está a cargo do Departamento de Esgotos Pluviais (DEP) desde 1980, quando o antigo Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) deixou de fazer a dragagem. Devido ao grande acúmulo de material, desde outubro de 2006, o DEP faz a dragagem permanente do arroio Dilúvio. Neste período, já foram retiradas cerca de 229.500 t de material e entulho do leito e da foz do arroio. Por esse motivo, os diversos atores sociais, incluindo a sociedade civil e a academia estão aliados na busca da revitalização do arroio Dilúvio (Porto Alegre, 2011; UFRGS & PUCRS, 2013).

Somando-se a esses fatores, em sua extensão canalizada foram identificados neste estudo doze postos de gasolina em operação, que, além do comércio de combustível, atuam na lavagem de veículos e na troca de óleo.

As atividades desenvolvidas por estabelecimentos de venda de combustíveis são potencialmente poluidoras, seja por instalações inadequadas ou por não cumprimento das normas reguladoras. Segundo a Agência Nacional do Petróleo (ANP), muitos dos tanques em postos combustíveis do Brasil foram instalados sem proteção contra corrosão, tendo em média uma vida útil de aproximadamente 25 anos (Mariano, 2006).

Os vazamentos em postos de combustíveis podem ocorrer tanto pelas contaminações causadas por constantes e sucessivos derramamentos de combustível junto às bombas e bocais de enchimento dos reservatórios, quanto por vazamentos nas tubulações e tanques subterrâneos. Esses vazamentos são percebidos apenas após o afloramento do produto em galerias de esgoto ou redes de drenagem de águas pluviais, no subsolo de edifícios, em túneis, escavações e poços de abastecimento d'água. Por esse motivo, as ações emergenciais requeridas durante o atendimento a essas situações demandam a participação de diversos órgãos públicos, além do envolvimento do agente poluidor e suas respectivas subcontratadas (CETESB, 2001).

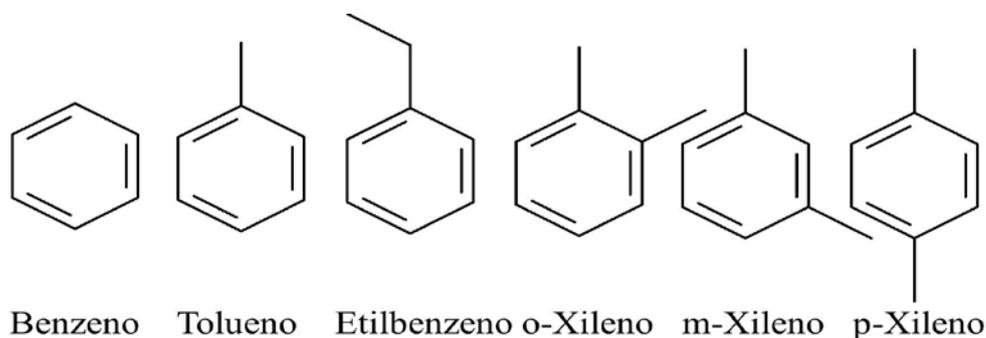
De acordo com a Resolução CONAMA n° 273/2000 (Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2001), toda instalação e sistemas de armazenamento de derivados de petróleo e outros combustíveis configuram-se como empreendimentos potencialmente ou parcialmente poluidores ou geradores de acidentes ambientais. Por este motivo, a instalação, a modificação, a ampliação e a operação de postos de abastecimento dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente. No município de Porto Alegre, o licenciamento da atividade de comércio varejista de combustíveis compete à Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique

Luís Roessler (FEPAM), mas, mediante estabelecimento de convênio, houve o repasse dessa atribuição à Secretaria Municipal do Meio Ambiente.

Os hidrocarbonetos derivados de petróleo são contaminantes que podem ser encontrados no solo e em lençóis freáticos, como resultado do vazamento de tanques combustíveis subterrâneos (Kao & Wang, 2000; Trigueros *et al.*, 2010). Segundo a *U.S. Environmental Protection Agency* (US EPA) e a *World Health Organization* (WHO), os compostos orgânicos voláteis (VOCs, do inglês *Volatile Organic Compounds*), benzeno, etilbenzeno, tolueno e a mistura de xilenos (BTEX) apresentam efeitos mutagênicos e carcinogênicos mesmo em concentrações extremamente baixas (inferiores a algumas partes por bilhão).

Os BTEX, além de tóxicos, apresentam baixa solubilidade em água, gerando impactos à saúde humana e aos ecossistemas, principalmente por constituírem uma classe importante de poluentes que podem ser encontrados em qualquer região urbana e industrial da sociedade atual (Kao & Wang, 2000; Kuntasal *et al.*, 2005; Tiburtius *et al.*, 2004; Zalel *et al.*, 2008). As estruturas químicas para os BTEX estão ilustradas na Figura 1.

► Figura 1. Estrutura química dos hidrocarbonetos mono aromáticos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos.



Uma vez dispersos no ambiente, os BTEX podem ser volatilizados, dissolvidos, adsorvidos às partículas de solo ou sofrer degradação biológica (Trigueros *et al.*, 2010). A volatilização dos compostos de BTEX comumente ocorre no momento do abastecimento dos automóveis nas bombas, quando se percebe o odor característico de gasolina. Este fenômeno também pode ocorrer em bolsões de ar dentro do solo. Os BTEX podem ainda ser dissolvidos em água, permitindo sua movimentação até o lençol freático. Uma vez aderidos ao solo, sua migração para o lençol freático é relativamente lenta. Se houver oxigênio em grande quantidade, os BTEX podem ser biologicamente degradados (Favera, 2008).

Devido à necessidade de avaliação desses compostos em baixas concentrações, os BTEX são isolados da matriz ambiental e analisados por cromatografia a gás (GC, do inglês *gas chromatography*) com detecção por ionização em chama (FID, do inglês *flame ionization detector*) ou espectrometria de massas (MS, do inglês *mass spectrometry*). Entretanto, os métodos analíticos mais sensíveis recorrem a processos de pré-concentração anteriormente à análise (Heleno, 2010).

Por este motivo, muitas técnicas de extração têm sido empregadas para baixar o limite de detecção de BTEX em água. Dentre elas, destacam-se a extração por *headspace* estático e dinâmico, a extração por *purge and trap*, e a microextração em fase sólida com imersão direta da fibra na amostra ou com os analitos extraídos na fase *headspace*. Diversos autores têm proposto novos métodos de extração e concentração de BTEX e outros compostos orgânicos voláteis, visando simplicidade

e diminuição dos limites de detecção (Heleno, 2010; Allouch *et al.*, 2013).

O método analítico recomendado pela US EPA utiliza a técnica *purge and trap*, que consiste no borbulhamento de um gás inerte (hélio ultrapuro), à temperatura ambiente, em uma amostra aquosa (Gaujac, 2006). Entretanto, limites de quantificação similares têm sido obtidos com o uso de extração por *headspace* que, mesmo automatizada, torna-se mais economicamente viável que os sistemas *purge and trap*.

No presente trabalho, foi realizada a determinação de BTEX ao longo do arroio Dilúvio, em Porto Alegre, usando extração por *headspace* e GC-FID.

## Material e Métodos

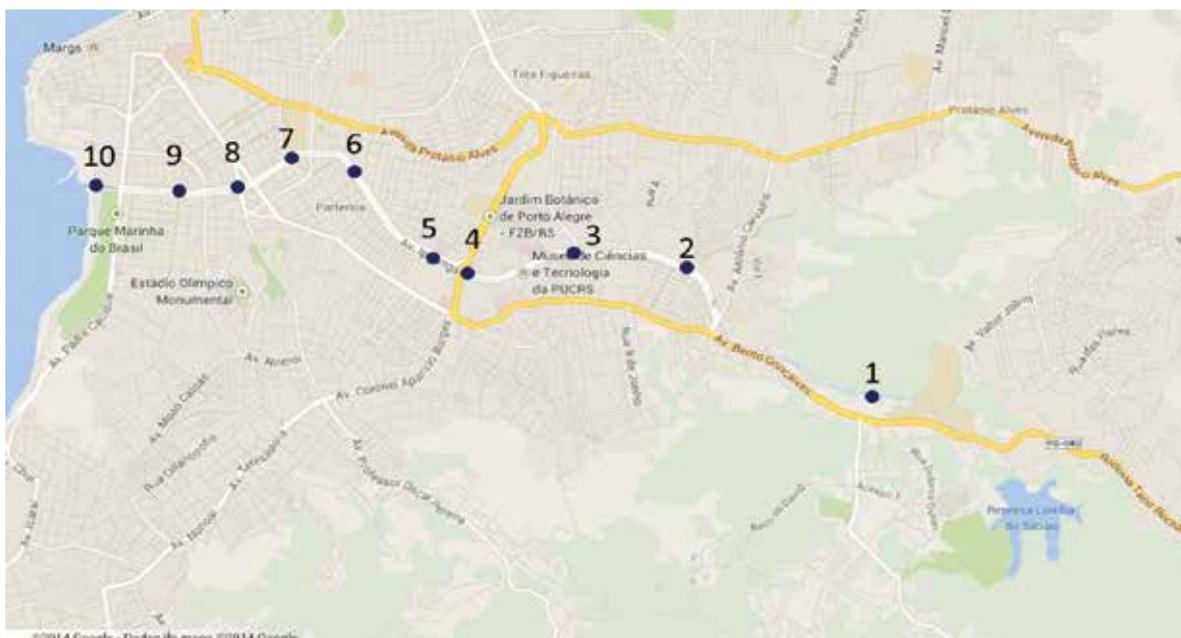
### Amostragem

As coletas foram realizadas nos dias 28 de setembro e 20 de outubro de 2011. Os pontos foram escolhidos devido à localização após os postos de vendas de combustíveis. As amostras foram coletadas em dez pontos, em triplicata, conforme a Tabela 1. As amostras de cada ponto foram colocadas em três frascos de vidro, previamente descontaminados, preenchidos até a borda, que foram fechados com tampa rosca e colocados em uma caixa térmica com gelo reciclado.

As amostras, no total de 30 para cada dia de coleta, foram etiquetadas e enviadas imediatamente ao Laboratório de Cromatografia da Central Analítica da

Ponto	Latitude	Longitude	Elevação
1-Campus Agronomia	30°04'32,28"Sul	51°07'16,55"Oeste	46 m
2-Avenida Ipiranga c/ Elias Cirne Lima	30°03'25,99"Sul	51°09'21,21"Oeste	27 m
3-Avenida Ipiranga c/ Cristiano Fischer	30°03'21,09"Sul	51°10'10,02"Oeste	19 m
4-Avenida Ipiranga c/ Salvador França	30°03'29,48"Sul	51°11'01,46"Oeste	16 m
5-Avenida Ipiranga c/ Guilherme Alves	30°03'20,73"Sul	51°11'19,29"Oeste	15 m
6-Avenida Ipiranga c/Corte Real	30°02'57,85"Sul	51°11'44,62"Oeste	13 m
7-Avenida Ipiranga c/Silva Só	30°02'35,73"Sul	51°12'13,62"Oeste	12 m
8-Avenida Ipiranga c/João Pessoa	30°02'51,24"Sul	51°12'49,70"Oeste	9 m
9-Avenida Ipiranga c/ Getúlio Vargas	30°02'53,75"Sul	51°13'18,10"Oeste	10 m
10-Avenida Ipiranga c/ Avenida Beira Rio	30°02'50,12"Sul	51°13'57,04"Oeste	4 m

◀ Tabela 1. Localização dos pontos de coleta.



▲ Figura 2. Pontos de coleta de água no arroio Dilúvio.  
Fonte: Google Maps modificado.

Universidade Feevale, para análise em menos de 24h após a coleta.

A Figura 2 apresenta um mapa com a localização dos pontos de coleta definidos nesse trabalho.

### Procedimento experimental

Como padrão interno foram utilizados 130  $\mu\text{L}$  de uma solução de 1,2-dicloroetano com concentração de 100  $\text{mg L}^{-1}$  em cada frasco analisado (Merck). Para os BTEX foi preparada diariamente uma solução estoque na concentração de 1.000  $\text{mg L}^{-1}$ , e uma solução intermediária na concentração de 100  $\text{mg L}^{-1}$ . A curva de calibração foi preparada na faixa de 5  $\mu\text{g L}^{-1}$  a 1  $\text{mg L}^{-1}$ , a partir da solução intermediária.

Para a extração por *headspace* foram utilizados frascos de 20 mL com septo de silicone azul transparente/PTFE branco de 3 mm de espessura (Supelco), onde foram colocados 12 mL de solução contendo a amostra. Após a adição de 4,3 g de cloreto de sódio (p.a., Merck) e 130  $\mu\text{L}$  de padrão interno 100  $\text{mg L}^{-1}$ , o frasco foi lacrado com septo e colocado no amostrador automático. As condições do *headspace* foram: temperatura do forno: 80°C, tempo de forno: 30 minutos, temperatura de seringa: 80°C, agitação: 20s a cada 90s, volume de injeção: 2 mL com velocidade de injeção de 1  $\text{mL s}^{-1}$ , usando uma seringa para *headspace* de 5 mL da Hamilton. Essas condições experimentais para a extração foram otimizadas no laboratório (resultados não apresentados), para obter-se o máximo de recuperação com repetitividade aceitável.

Para as análises foram utilizados um cromatógrafo gasoso com detector de ionização de chama GC-FID 17 A (Shimadzu, Japão) e um amostrador para *headspace* AOAC 5000 da marca Shimadzu (Japão). O sistema GC-FID operou nas seguintes condições otimizadas, no laboratório (resultados não apresentados): temperatura inicial 40,0°C por 6 minutos e rampa de aquecimento 4,0°C/minuto até 200°C. Foi utilizada uma coluna capilar: RTX 5 MS, Restek de 30 m x 0,25 mm x 0,25  $\mu\text{m}$  de espessura de fase. A temperatura do injetor foi igual a 200°C e a temperatura do detector a 300°C.

## Resultados e discussão

As figuras de mérito obtidas para o método de quantificação de BTEX por padronização interna estão ilustradas na Tabela 2.

Composto	LD ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	LQ ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Equação da reta	R <sup>2</sup>	Intervalo de desvio padrão (%)
Benzeno	1,4	3,8	$y = 6,1462x + 0,0206$	0,9962	6,14 - 14,04
Tolueno	1,6	2,1	$y = 5,5947x + 0,0088$	0,9998	6,86 - 12,22
Etilbenzeno	7,6	32,9	$y = 16,649x - 0,2267$	0,9964	1,88 - 11,40
Xilenos	24,4	49,4	$y = 6,981x - 0,0552$	0,9996	2,16 - 12,55

◀ Tabela 2. Figuras de mérito obtidas para a quantificação de BTEX em água superficial.

LD – Limite de detecção: calculado considerando-se 3 vezes o desvio padrão do ruído.

LQ – Limite de quantificação: calculado considerando-se 10 vezes o desvio padrão do ruído.

A Resolução CONAMA N° 357/2005 prevê para corpos hídricos de Classe 1 (a mais restritiva) níveis de concentração de benzeno abaixo de  $5,0 \mu\text{g L}^{-1}$ , de tolueno abaixo de  $2,0 \mu\text{g L}^{-1}$ , de etilbenzeno abaixo de  $90,0 \mu\text{g L}^{-1}$  e de xileno abaixo de  $300 \mu\text{g L}^{-1}$ . Nesta lista, a substância que apresenta menor valor de LQ e menor limite máximo permitido é o tolueno. Apesar de a Resolução apresentar como limite máximo o valor de  $2,0 \mu\text{g L}^{-1}$ , não foram estabelecidos intervalos de confiança na legislação. Se considerarmos um intervalo de confiança de 95%, com um desvio padrão aceitável de 10%, o limite de detecção do tolueno poderia ser expresso como  $2,16 \pm 0,53 \mu\text{g L}^{-1}$ . Nesse caso, o método pode ser considerado aceitável. Considera-se como aceitável, que o método seja capaz de determinar até 30% abaixo do valor máximo permitido. No caso do tolueno, esse valor seria  $1,4 \mu\text{g L}^{-1}$ .

Os resultados obtidos para as amostras de água coletadas nas duas campanhas são apresentados na Tabela 3.

Conforme a Tabela 3, apenas o tolueno foi detectado e quantificado em alguns pontos, nas duas campanhas realizadas. Na primeira coleta, quatro locais apresentaram concentrações acima do limite de detecção do composto em questão (40% das amostras) - o ponto de coleta número 5, com uma concentração de tolueno de  $5,6 \mu\text{g L}^{-1}$ , o ponto 8 com  $18,5 \mu\text{g L}^{-1}$  de tolueno, o ponto 9 com  $9,7 \mu\text{g L}^{-1}$  e o ponto 4, que estava abaixo do limite de quantificação. Na segunda coleta, oito amostras apresentaram concentrações acima do limite de detecção, o que representa 80% das amostras coletadas. O tolueno foi quantificado em quatro destas amostras - no ponto 4 ( $2,3 \mu\text{g L}^{-1}$ ), no ponto 5 ( $3,0 \mu\text{g L}^{-1}$ ), no ponto 8 ( $17,9 \mu\text{g L}^{-1}$ ) e no ponto 10 ( $7,1 \mu\text{g L}^{-1}$ ). Nos pontos 3, 6, 7 e 9, a concentração de tolueno manteve-se abaixo do limite de quantificação.

Conforme a legislação (Resolução CONAMA N°. 357/2005), todos os pontos nos quais o tolueno foi quantificado estavam acima do padrão de qualidade, que prevê a concentração máxima de  $2,0 \mu\text{g L}^{-1}$  em águas doces de Classe 1 e 2. Já para as Classes 3 e 4, não estão previstos parâmetros máximos para tolueno.

Pontos de coleta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Primeira coleta (28/09/2011) – (µg L<sup>-1</sup>)</b>										
Benzeno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tolueno	ND	ND	ND	<LQ	5,6	ND	ND	18,5	9,7	ND
Etilbenzeno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Xilenos	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Pontos de coleta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Segunda coleta (20/10/2011) – (µg L<sup>-1</sup>)</b>										
Benzeno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tolueno	ND	ND	<LQ	2,3	3,0	<LQ	<LQ	17,9	<LQ	7,1
Etilbenzeno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Xilenos	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

▲ Tabela 3. Resultados obtidos para as amostras estudadas.

ND – não detectado

<LQ – abaixo do limite de quantificação

Os pontos 5 e 8 obtiveram concentrações maiores que as permitidas na Resolução em vigência, nas duas coletas distintas. Estas áreas apresentam uma grande concentração de postos de combustíveis e também de atividades urbanas (residências, áreas de comércio), bem como dois ou mais afluentes que desembocam no arroio Dilúvio.

Como o tolueno é encontrado tanto em combustíveis como em produtos de limpeza, tintas, solventes e materiais de higiene, não é possível afirmar que estas concentrações foram resultado do vazamento proveniente dos postos de combustíveis. A mesma conclusão pode ser seguida nos resultados das amostras dos outros pontos que apresentaram concentrações acima do permitido pela Resolução CONAMA N° 357/2005.

Verificando os resultados, foram observados dois pontos na área de estudo (6 e 7), que apresentaram níveis detectáveis de tolueno apenas na segunda coleta. Comparando as Figuras 1 e 3, podemos observar que essas são áreas de menor concentração de comércio de combustível e onde existe apenas um afluente

desaguando naquela parte do arroio.

A alta volatilidade dos compostos avaliados, combinada às características físicas do arroio (correnteza, perfil longitudinal, aeração, temperatura da água), pode propiciar uma rápida atenuação no meio aquático. Este fato, entretanto, não denota a eliminação dos compostos, mas expressa seu acúmulo na atmosfera. Apesar destas características, o método empregado foi suficientemente sensível para detectar um dos componentes da importante série de agentes poluidores avaliados no estudo.

## Conclusão

O método de análise de BTEX usando amostragem por *headspace* e GC-FID mostrou-se eficiente para realizar o monitoramento das águas no entorno de estabelecimentos potencialmente poluidores, tanto por sua sensibilidade quanto por seu fácil manejo e pelo custo relativamente baixo envolvido no processo.

Os resultados indicam a necessidade de realizar um monitoramento sistemático desses compostos no arroio Dilúvio, uma vez que o tolueno foi detectado em concentrações acima dos limites estabelecidos na Resolução CONAMA Nº 357/2005 para águas de Classe 1 e 2. Além disso, indicam a necessidade de identificação das potenciais fontes destes compostos, incluindo, além dos postos de combustíveis, estabelecimentos dedicados à lavagem de automóveis, mecânicas e outros que possam contribuir para a contaminação das águas do arroio Dilúvio.

## Referências bibliográficas

ALLOUCH, A.; LE CALVÉ, S.; SERRA, C. A. Portable, miniature, fast and high sensitive real-time analyzers: BTEX detection. **Sensors and Actuators B**, v. 182, p.446– 452, 2013.

CAMPANA, M. A; TUCCI, C. E. M. Predicting floods from urban development scenarios: case study of the Dilúvio basin, Porto Alegre, Brasil. **Urban Water**, v.3, p.113-124, 2001.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2001.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 273 de 29 de novembro de 2000. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 08 jan. 2001, p. 20-23.

\_\_\_\_\_. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 mar. 2005, p. 59-60.

FAVERA, C. H. D. **Sites contaminados por hidrocarbonetos: principais técnicas de remediação e exemplo de aplicação**. 2008. 104 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.

GAUJAC, A. **Otimização e validação de método para determinação de BTEX em amostras ambientais aquosas empregando microextração em fase sólida e GC-FID**. 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2006.

HELENO, F. F. *et al.* Otimização e validação de métodos analíticos para determinação de BTEX em água utilizando extração *headsapce* e microextração em fase sólida. **Química Nova**, v. 33, n. 2, p.329-336, 2010.

KAO, C. M.; WANG, C. C. Control of BTEX migration by intrinsic bioremediation at a gasoline spill site. **Water Research**, v. 34, n. 13, p. 3413-3423, 2000.

KUNTASAL, O. O. *et al.* Determination of volatile organic compounds in different microenvironments by multibed adsorption and short-path thermal desorption followed by gas chromatographic–mass spectrometric analysis. **Journal of Chromatography A**, v. 1099, p. 43-54, 2005.

MARIANO, A. P. **Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel**. 2006. 147 f. Tese (Doutorado Profissional em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2006.

PORTO ALEGRE. Departamento de Esgotos Pluviais. **O Arroio Dilúvio**, 2011. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep>. Acesso em: 12/04/2013.

TRIGUEROS, D. E. G. *et al.* Modeling of biodegradation process of BTEX compounds: Kinetic parameters estimation by using Particle Swarm Global Optimizer. **Process Biochemistry**, v. 45, p. 1355–1361, 2010.

TIBURTIUS, E. R. L.; PERALTA-ZAMORA, P. P; LEAL, E. S. Contaminação de águas por BTXS e processos utilizados na remediação de sítios contaminados. **Química Nova**, v. 27, n.3, p. 441-446, 2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA - RS. **Projeto Arroio Dilúvio: um futuro possível**, 2013. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/arroidiluvio>. Acesso em: 29 abril de 2013.

ZALEL, A.; YUVAL; BRODAY, D. Revealing source signatures in ambient BTEX concentrations. **Environmental Pollution**, v. 156, p. 553-562, 2008.

# Comparação da qualidade do ar em dois municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre afetados por diferentes contribuições antropogênicas

Nathalia Chaves Cardoso<sup>1,2</sup>, Ieda Maria Cordeiro Osorio da Silva<sup>1</sup>,  
Celso Troian de Carvalho<sup>1</sup>, Nádia Boeira Soares<sup>1</sup>, Maria Lucia  
Kolowski Rodrigues<sup>1</sup>

## Resumo

A poluição atmosférica é observada principalmente nos grandes centros urbanos, causando prejuízos à saúde humana e aos ecossistemas. Neste estudo, comparou-se a qualidade do ar em dois municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA) – Charqueadas e Montenegro, sob influências antropogênicas distintas. Entre 2010 e 2012, avaliaram-se os teores de material particulado ( $MP_{10}$ ) e dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), além de elementos potencialmente tóxicos (EPT) em amostras selecionadas de  $MP_{10}$ . Obtiveram-se os teores de  $MP_{10}$  por gravimetria, após coleta em amostradores HiVol. Coletado por sistema de borbulhamento, o  $SO_2$  foi analisado por titrimetria. A extração de EPT baseou-se no método USEPA IO3.1, com quantificação por ICP/OES. Em Charqueadas, as médias anuais, bem como algumas médias diárias de  $MP_{10}$  e de  $SO_2$ , ultrapassaram os padrões de qualidade do ar da Resolução CONAMA N°. 3/1990. As concentrações de EPT também foram geralmente superiores em Charqueadas, indicando uma qualidade do ar compatível com áreas urbanas a industriais, enquanto Montenegro comparou-se com áreas rurais a urbanas. No período avaliado, algumas contribuições de fontes externas foram registradas na RMPA, como queimadas florestais e emissões vulcânicas. No entanto, a pior qualidade do ar em Charqueadas provavelmente esteve mais relacionada ao perfil do município, dedicado a atividades de siderurgia e de geração de energia, decorrentes da disponibilidade local de carvão.

**Palavras-chave:** material particulado atmosférico inalável,  $MP_{10}$ , dióxido de enxofre, elementos potencialmente tóxicos, carvão.

## Comparison of air quality in two municipalities affected by different anthropogenic contributions in the Metropolitan Region of Porto Alegre (RS state, Brazil)

### Abstract

The air pollution is observed mainly in the large urban centers, impairing the human health and ecosystems. In this study we compared the air quality in two

<sup>1</sup> Fundação Estadual de  
Proteção Ambiental Henrique  
Luís Roessler (FEPAM) –  
Porto Alegre, RS, Brasil;  
<sup>2</sup> Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul – Porto  
Alegre, RS, Brasil;

Autor Correspondente: M.  
L. K. Rodrigues, Rua Aurélio  
Porto, 45, CEP 90620-090,  
Porto Alegre, RS, Brasil.  
Tel.: (51) 3384-5285. E-mail:  
metaisfepam@hotmail.com.

municipalities located in the Metropolitan Region of Porto Alegre (MRPA), RS state, Brazil - Charqueadas and Montenegro, under the impact of different anthropogenic influences. From 2010 to 2012, we assessed the levels of particulate matter ( $PM_{10}$ ) and sulfur dioxide ( $SO_2$ ), besides potentially toxic elements (PTE) in  $PM_{10}$  selected samples.  $PM_{10}$  contents were obtained by gravimetric analysis, after collection using HiVol samplers.  $SO_2$  was collected in a bubbling system and analyzed by titrimetry. PTE extraction followed the USEPA IO3.1 method, while the quantification was performed by ICP/OES. In Charqueadas the  $PM_{10}$  annual averages, as also some  $PM_{10}$  and  $SO_2$  daily averages exceeded Brazilian air quality standards (CONAMA Resolution n. 3/1990). PTE levels were also generally higher in Charqueadas, indicating an air quality compatible with urban - industrial sites, while Montenegro was comparable with rural - urban sites. During the period of study contributions of external sources reached the MRPA (forest-fires and volcanic emissions). However the worst air quality in Charqueadas was probably related to the municipality profile, dedicated to steel production and energy generation activities, which are determined by the local availability of coal.

**Keywords:** inhalable particulate matter,  $PM_{10}$ , sulfur dioxide, potentially toxic elements, coal.

## Introdução

O desenvolvimento industrial e urbano pode causar uma série de prejuízos ambientais e à saúde humana, especialmente em decorrência da poluição atmosférica. Entre os principais poluentes atmosféricos, podem ser citados o material particulado e o dióxido de enxofre.

O material particulado apresenta alta complexidade, pois não constitui uma espécie química definida, mas um conjunto de partículas em estado sólido ou líquido. O  $MP_{10}$  - material particulado inalável, corresponde à fração cujo diâmetro aerodinâmico é  $\leq 10\mu m$ . O  $MP_{10}$  é capaz de transportar elementos químicos associados e seus efeitos podem ser observados a longas distâncias. O interesse em estudar o  $MP_{10}$  deve-se aos seus impactos no clima, ecossistemas, patrimônio histórico e, principalmente, pelos efeitos nocivos sobre a saúde pública (FERREIRA *et al.*, 2011).

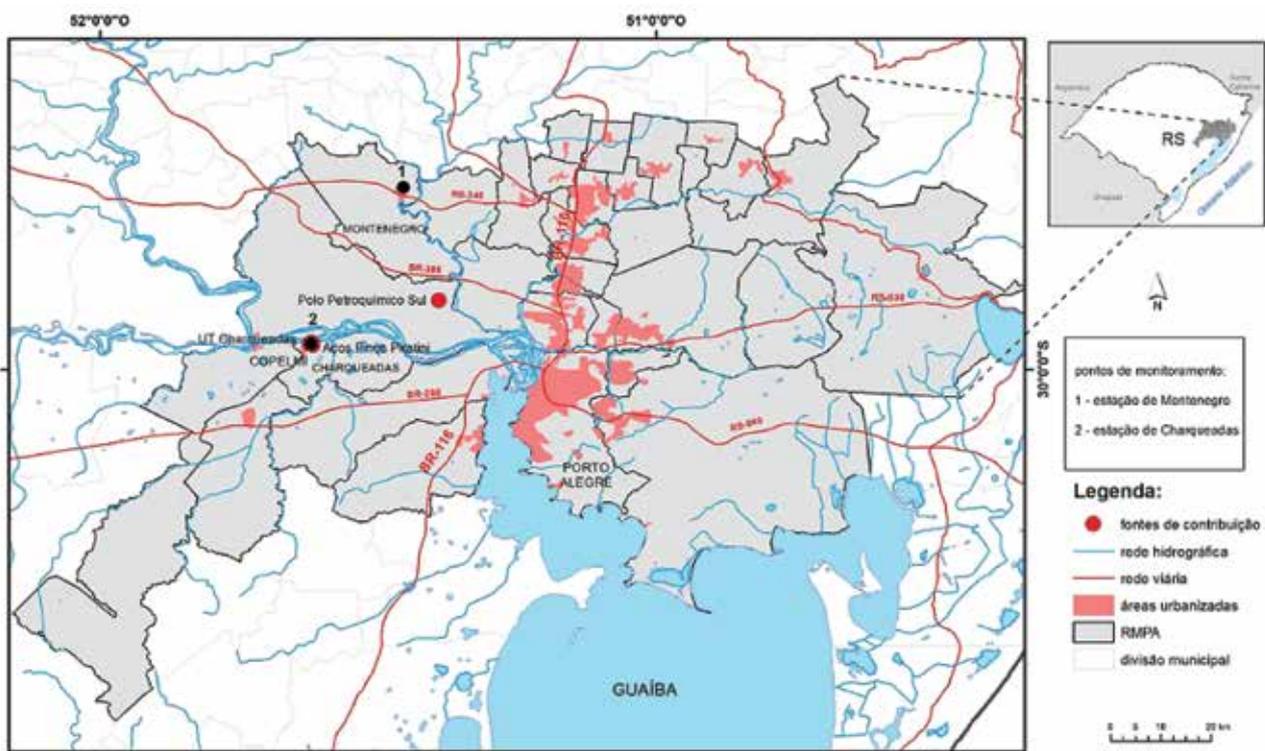
O dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) é um gás incolor com forte odor pungente. Ele pode ser liberado para a atmosfera por emissões vulcânicas e fontes antropogênicas, como atividades industriais e veiculares. O  $SO_2$  presente na atmosfera pode levar à formação de chuva ácida e é precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis ( $MP_{10}$ ). Os sulfatos incorporados aos aerossóis são associados à acidificação de corpos d'água, à redução da visibilidade e à corrosão, e também a efeitos adversos à saúde humana, como doenças respiratórias e cardiovasculares (CETESB, 2012).

O presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade do ar em dois municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA) – Charqueadas e Montenegro, que se encontram sob influências antropogênicas distintas. Contemplando o período de 2010 a 2012, os parâmetros analisados foram  $MP_{10}$  e  $SO_2$ , além de elementos potencialmente tóxicos (EPT) em amostras selecionadas de material particulado.

## Materiais e métodos

### Área de estudo

A RMPA é a área do estado do Rio Grande do Sul com maior densidade industrial e urbana e, conseqüentemente, está sujeita a uma maior concentração de poluentes atmosféricos. A Figura 1 apresenta os municípios da RMPA focalizados neste estudo: 1- Montenegro e 2-Charqueadas. O município de Montenegro tem uma economia diversificada, com destaque para a acacicultura e a citricultura (Prefeitura Municipal de Montenegro, 2013). Sua população corresponde a aproximadamente 60.000 habitantes, distribuídos em uma área de 420 km<sup>2</sup> (IBGE, 2013). Charqueadas apresenta um perfil predominantemente industrial, com atividades de manejo de carvão mineral, siderurgia e geração de termoelectricidade. Possui uma extensão territorial de 216 km<sup>2</sup> e uma população de cerca de 36.000 habitantes (IBGE, 2013).



### Coleta e análise das amostras

As amostras de MP<sub>10</sub> e SO<sub>2</sub> foram coletadas entre 2010 e 2012, pela rede semi-automática de monitoramento da qualidade do ar da FEPAM. As amostragens ocorreram com intervalos de cinco dias, por períodos de 24 horas.

A coleta de MP<sub>10</sub> foi realizada com amostradores de grande volume (HiVol), seguindo recomendações da NBR 9547-97 (ABNT, 1997) e do método EPA/625/R-96/010 (USEPA, 1999). De acordo com a disponibilidade, foram empregados filtros de quartzo ou fibra de vidro, obtendo-se a concentração de MP<sub>10</sub> por gravimetria.

A amostragem de SO<sub>2</sub> seguiu a NBR 12979 (ABNT, 1993). Para a coleta, foi utilizado um sistema com frasco lavador de gases, com porcelana porosa na haste para fracionar as bolhas e promover um maior contato do gás com a solução. Mediante o uso de bomba de vácuo, um volume de ar ambiente é succionado em uma solução de peróxido de hidrogênio, que absorve e oxida o dióxido de enxofre presente, formando ácido sulfúrico.

▲ Figura 1. Localização da área de estudo e suas possíveis fontes de poluição.

A acidez da solução resultante, proporcional à concentração de dióxido de enxofre, é determinada através de titulação com solução padrão de tetraborato de sódio.

Os dados de  $MP_{10}$  e  $SO_2$  foram comparados com parâmetros normativos nacionais e internacionais - Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1990), Organização Mundial da Saúde (WHO, 2005), União Europeia (ENVIRONMENTAL PROTECTION, 2010) e Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (USEPA, 2012). O CONAMA estabelece padrões primários e secundários para  $MP_{10}$  e  $SO_2$ , sendo o padrão primário definido como a concentração de poluente que, ao ser ultrapassada, pode afetar a saúde da população. O padrão secundário representa a concentração de poluente abaixo da qual se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Adicionalmente, as áreas de interesse no estudo foram avaliadas de acordo com as classes de uso do Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul para as regiões de controle da qualidade do ar. As Áreas Classe I são as de preservação, lazer e turismo, enquanto as Áreas Classe III abrigam Distritos Industriais criados por legislação própria. As Áreas Classe II são aquelas não classificadas como I ou III. Conforme a legislação estadual, Áreas Classes I e II devem ser comparadas aos padrões secundários da legislação federal, e Áreas Classes III aos padrões primários (RIO GRANDE DO SUL, 2000). As estações de monitoramento da FEPAM em Montenegro e Charqueadas estão instaladas em Áreas Classe II, encontrando-se neste último município sob influência direta de uma usina termoeletrica.

Para a análise de EPT (Cádmio, Cobre, Cromo, Chumbo, Ferro, Manganês, Níquel e Zinco), foram selecionadas para comparação datas com altos e baixos teores de  $MP_{10}$ . O critério de escolha baseou-se na hierarquização dos teores de  $MP_{10}$  em ordem crescente e no cálculo dos quartis. Até o momento, dispõem-se de resultados para os dias 23/08/10, 08/07/11, 18/10/11 e 19/08/11. Os teores de  $MP_{10}$  obtidos nas três primeiras datas situaram-se no quartil superior e as concentrações observadas em 19/08/11 no quartil inferior, sendo este dia indicativo de melhores condições ambientais.

Visando determinar a concentração de metais no  $MP_{10}$  depositado nos filtros selecionados, a extração foi realizada com base no método USEPA IO-3.1 (USEPA, 1999). Foram recortadas tiras de 1/8 dos filtros, a digestão foi realizada em forno de micro-ondas e os extratos foram analisados por espectrometria de emissão por plasma indutivamente acoplado (ICP/OES), no Laboratório de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As análises incluíram brancos dos reagentes e dos materiais utilizados, além de brancos dos filtros, descontando-se os valores encontrados para obtenção do resultado final de EPT no material particulado. As curvas de calibração foram preparadas com o mesmo fundo das amostras.

## Resultados

### Concentração de $MP_{10}$ e de $SO_2$

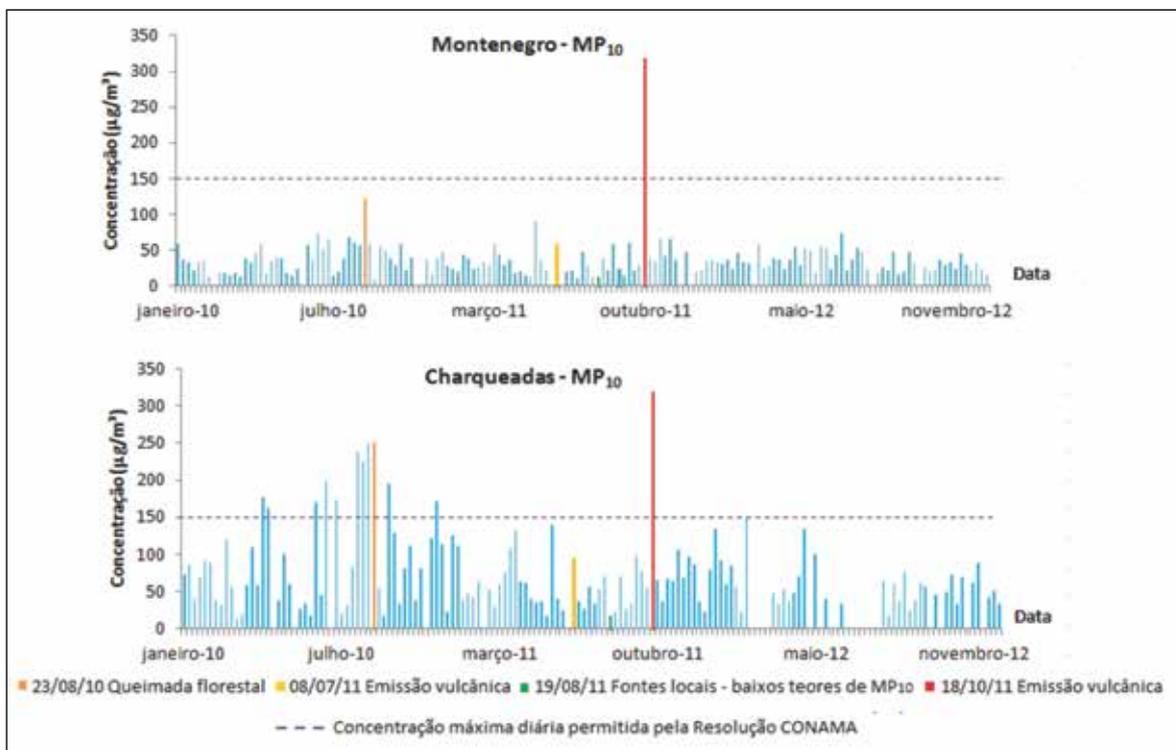
Os teores de  $MP_{10}$  e de  $SO_2$  foram mais elevados em Charqueadas que em Montenegro, conforme ilustram as Figuras 2, 3 e 4.

Em Charqueadas, a média anual e algumas médias diárias de  $MP_{10}$  ultrapassaram

os valores normativos de todas as legislações analisadas (Tabelas 1 e 2). Considerando as datas avaliadas, em Montenegro, as médias anuais e diárias de  $MP_{10}$  estiveram de acordo com os padrões do CONAMA, do Código Estadual do Meio Ambiente e da União Europeia. Foram ultrapassados, porém, os valores estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde. A média diária máxima observada nos dois municípios foi similar e ocorreu na mesma data (18/10/2011). Neste dia, ambos os municípios excederam a concentração máxima permitida em 24 horas pela Resolução CONAMA N°. 3/1990.

Algumas das datas avaliadas correspondem a eventos anômalos que ocorreram na RMPA, no decorrer do período de estudo. Com relação a  $MP_{10}$ , os dias 23/08/2010 (queimada florestal) e 18/10/2011 (emissão vulcânica) estão representados na Figura 4 por *outliers* e valores extremos, respectivamente.

Segundo LINDAU (2011), material particulado proveniente de queimadas florestais chegou à região em agosto de 2010, enquanto o ano de 2011 foi marcado pela erupção do vulcão chileno Puyehue Cordón-Caulle (LIMA *et al.*, 2012). Em junho de 2011, uma nuvem de cinzas finas atingiu Porto Alegre, Florianópolis e Curitiba, determinando o cancelamento de diversos vôos no sul do Brasil (LIMA *et al.*, 2012). Também houve registro de intenso aporte de cinzas desse mesmo vulcão na RMPA em outubro de 2011.



▲ Figura 2. Concentração de  $MP_{10}$  em Montenegro e Charqueadas de 2010 a 2012.

Em associação com condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes, estes eventos provavelmente contribuiriam para a ocorrência de picos nos teores de  $MP_{10}$  em ambos os municípios, nos anos de 2010 e 2011. Ressalta-se que estes dois anos sofreram a influência do fenômeno La Niña, que atingiu sua maturidade no inverno de 2010, registrando precipitação abaixo das médias climatológicas, pressão atmosférica mais elevada e ocorrência de ventos fracos, dentre outras condições. No inverno de 2011, a atuação de massas de ar polar com forte intensidade contribuiu para melhorar as condições de ventilação. O ano de 2012 mostrou-se mais propício a processos de dispersão, salientando-se a regularidade da precipitação no Estado e a atuação de um El Niño de fraca intensidade (CPTEC, 2013; CETESB, 2013).

	Charq. 2010	Charq. 2011	Charq. 2012	Mont. 2010	Mont. 2011	Mont. 2012
Média anual	95	65	58	38	39	34
Desvio padrão	67	49	29	21	45	13
Máximo	251	319	150	122	318	73
Mínimo	13	17	18	9	10	14
Nº de amostras	49	47	35	48	47	51
Nº de violações*	11	1	0	0	1	0

▲ Tabela 1. Teor de  $MP_{10}$  em Charqueadas e Montenegro no período 2010-2012 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

\*Em relação ao padrão secundário da Resolução CONAMA N.º. 3/1990 para a concentração máxima diária de  $MP_{10}$ , considerando as datas avaliadas neste estudo.

$MP_{10}$	CONAMA	UNIÃO EUROPEIA	USEPA	OMS
Média anual	50	40	-	20
Média diária	150	50*	150**	50

▲ Tabela 2. Padrões primários e secundários de  $MP_{10}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

\*Não pode exceder mais de 35 vezes por ano.

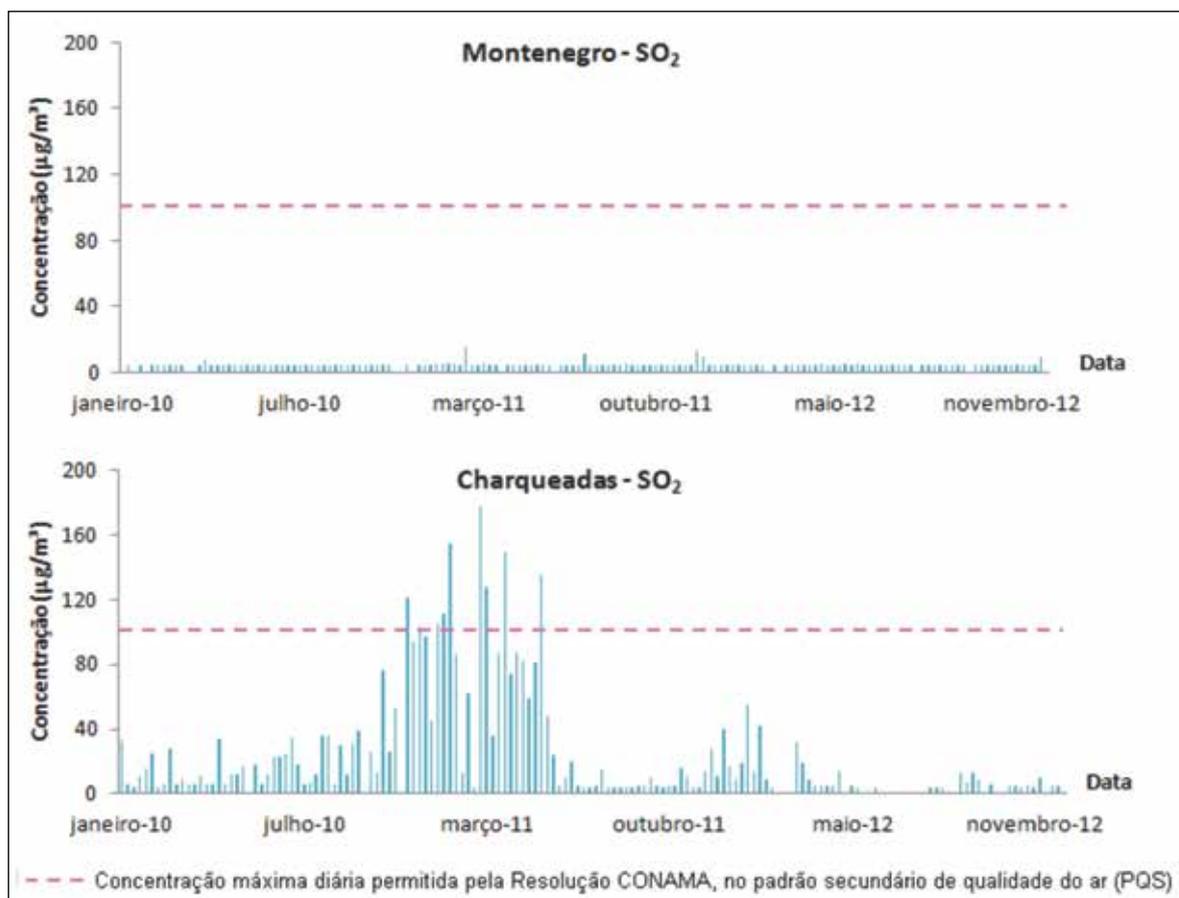
\*\*Não pode exceder mais de uma vez por ano, em um período de três anos.

Considerando as datas avaliadas nos três anos de estudo, a média anual de  $\text{SO}_2$  observada em Charqueadas obedeceu aos padrões primários e secundários da legislação. Por outro lado, em algumas oportunidades, a média diária de  $\text{SO}_2$  ultrapassou o padrão secundário neste município, em 2010 e até meados de 2011 (Tabelas 3 e 4).

As Figuras 2, 3 e 4 também indicam, ano a ano, uma redução nos teores de  $MP_{10}$  e de  $\text{SO}_2$  no município de Charqueadas, no período avaliado. Para tal fato devem ter contribuído a implantação de um sistema de filtro de mangas, mais eficiente para o controle de material particulado, e a instalação de um dessulfurizador, na usina termelétrica desse município. Constata-se que a utilização de sistemas de controle de emissões de poluentes atmosféricos é de extrema importância para a melhoria na qualidade do ar na RMPA.

### Concentração de EPT no material particulado

Durante as análises de EPT no material particulado, avaliou-se a contribuição do tipo de filtro utilizado na amostragem (quartzo ou fibra de vidro). Os resultados obtidos para os dois tipos de filtro foram similares aos referidos pelo fabricante (Energética, 2012), sendo que o filtro de quartzo mostrou concentrações mais reduzidas de EPT (dados não apresentados). Por apresentar uma menor contribuição de matriz, o uso do filtro de quartzo mostra-se mais apropriado em relação ao de fibra de vidro, quando os trabalhos envolvem a análise de elementos traço no material particulado.



▲ Figura 3. Concentração de SO<sub>2</sub> em Montenegro e Charqueadas no período 2010-2012.

Pontos de coleta	Charq. 2010	Charq. 2011	Charq. 2012	Mont. 2010	Mont. 2011	Mont. 2012
Média anual	28	38	14	4	5	4
Desvio padrão	30	45	12	0.5	2	1
Máximo	121	177	55	7	15	9
Mínimo	4	4	4	4	4	4
Nº de amostras	47	49	33	44	50	49
Nº de violações*	3	6	0	0	0	0

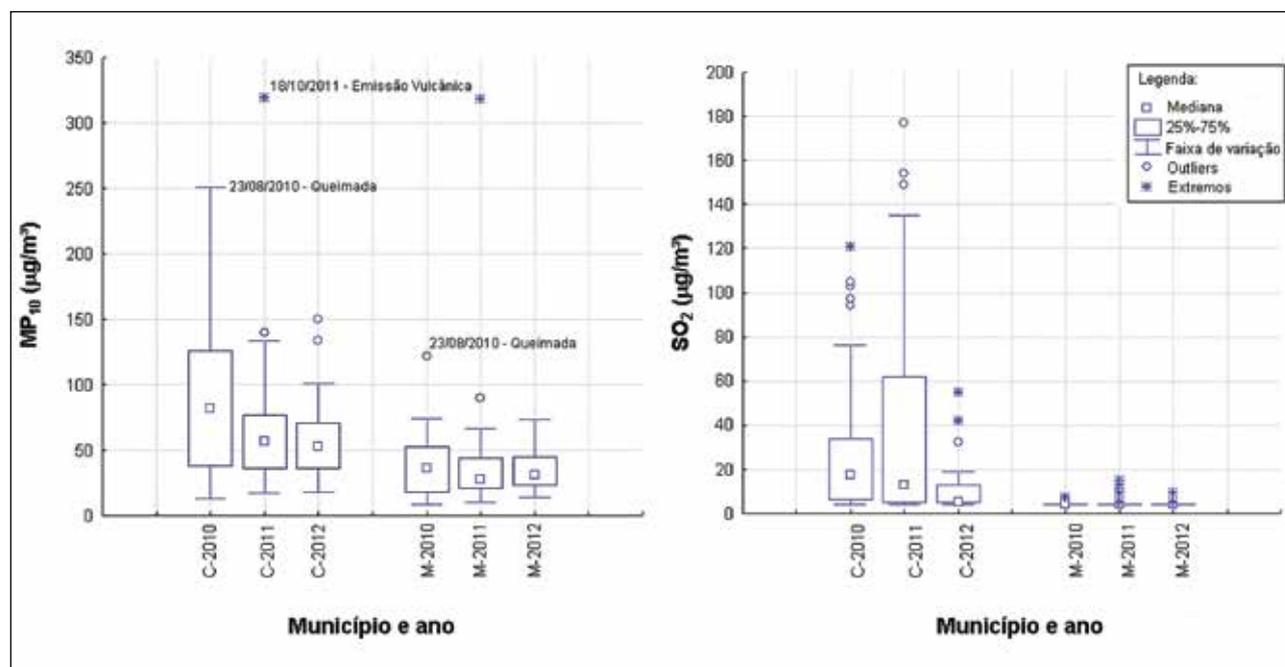
\*Ao padrão secundário da Resolução CONAMA N.º. 3/1990 para a concentração máxima diária de MP<sub>10</sub>, considerando as datas avaliadas neste estudo.

▲ Tabela 3. Teores de SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) em Charqueadas e Montenegro no período 2010-2012.

► Tabela 4. Padrões primários e secundários de  $\text{SO}_2$  (CONAMA,1990), em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

$\text{SO}_2$	CONAMA
<b>Média anual</b>	Padrão primário: 80 Padrão Secundário: 40
<b>Média diária</b>	Padrão Primário: 365 Padrão Secundário: 100

A Figura 5 apresenta os dados preliminares obtidos na análise de EPT e  $\text{MP}_{10}$  em Montenegro e Charqueadas, em datas selecionadas. Mesmo considerando o número ainda reduzido de análises, o perfil da concentração de metais revelou valores em geral mais elevados em Charqueadas, possivelmente devido às atividades produtivas tipicamente associadas à emissão destes contaminantes. Esse fato ocorreu mesmo na data com baixos teores de  $\text{MP}_{10}$ , escolhida como referência de



▲ Figura 4. Variação dos teores de  $\text{MP}_{10}$  e  $\text{SO}_2$  em Charqueadas (C) e Montenegro (M) no período de 2010 a 2012.

#### Agradecimentos

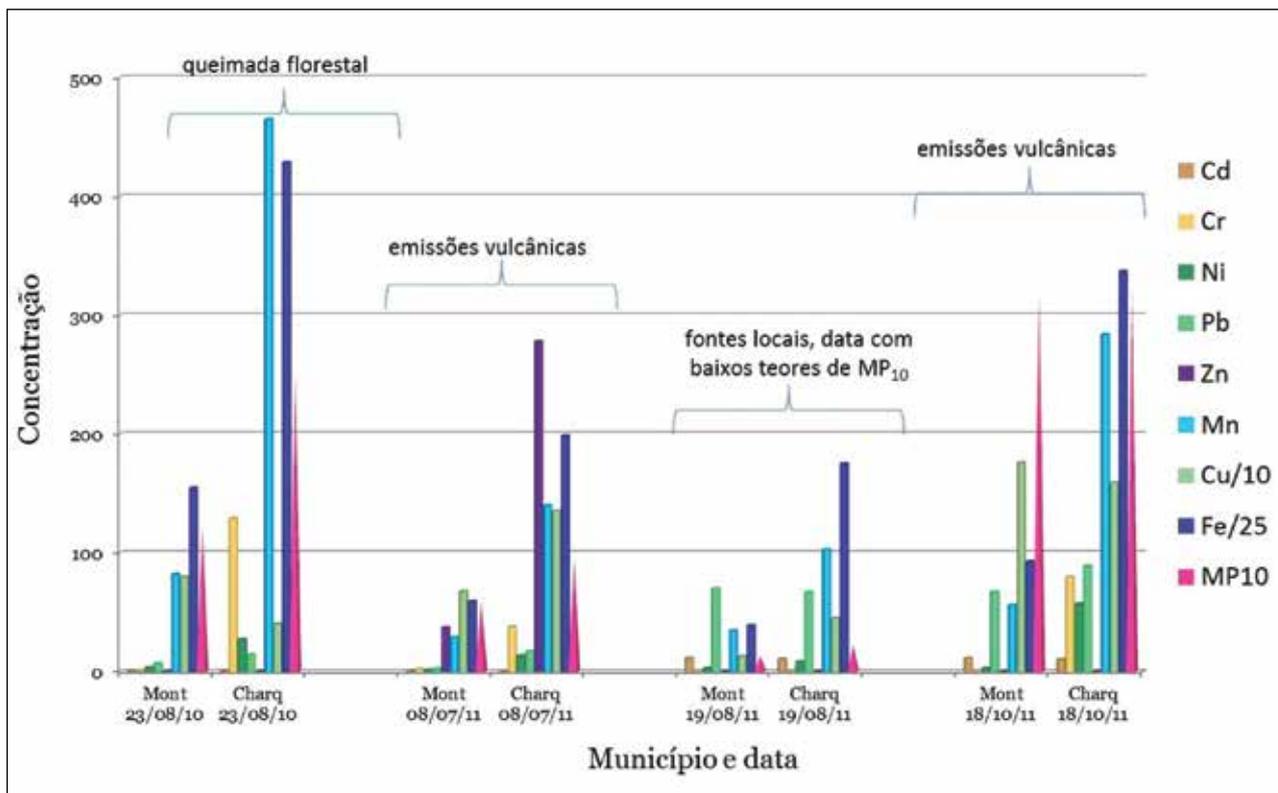
Ao Serviço de Amostragem da FEPAM. A Lillian Waquil Ferraro (GEO/FEPAM), pela elaboração do mapa da área de estudo.

comparação dos dados (19/08/2011). Aumentos nos teores de  $\text{MP}_{10}$  não implicaram acréscimos proporcionais nos teores de EPT.

Na ausência de padrões de qualidade do ar específicos para EPT na legislação brasileira, os valores obtidos neste estudo foram comparados com padrões e dados da literatura internacional, constantes em IPS ICHM (2013) e ATSDR (2012). Os resultados de EPT indicaram uma qualidade do ar em Charqueadas compatível com áreas urbanas a industriais, enquanto Montenegro é comparável a áreas rurais a urbanas.

#### Conclusões

Com base nos parâmetros avaliados, Charqueadas apresentou uma pior qualidade do ar em relação a Montenegro, independentemente dos eventos externos associados às queimadas e emissões de origem vulcânica que atingiram a RMPA no período de estudo. Desta forma, a população de Charqueadas estaria potencialmente mais exposta a problemas de saúde veiculados pela poluição do ar.



O estudo ressalta a importância de monitorar a qualidade do ar na RMPA, a fim de aprimorar o conhecimento sobre a contribuição de fontes locais e externas à região. Também é importante um acompanhamento das condições meteorológicas regionais, especialmente no que se refere ao transporte de massas de ar, com o objetivo de melhor compreender a influência de fontes locais e externas à RMPA. Os resultados obtidos devem subsidiar as ações de fiscalização da FEPAM e, principalmente, propiciar um controle mais eficiente de fontes locais de emissão.

▲ Figura 5. Teores de EPT (ng/m<sup>3</sup>) e MP<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) em Montenegro e Charqueadas, em datas selecionadas para análise.

## Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9547**: Material particulado em suspensão no ar ambiente - Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume. Rio de Janeiro, 1997. 14 p.

\_\_\_\_. **NBR 12979**: Atmosfera - Determinação da concentração de dióxido de enxofre, pelo método do peróxido de hidrogênio - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1993. 7 p.

AGENCY OF TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological profiles**, 2012. Disponível em: <http://www.atsdr.cdc.gov/>. Acesso em: maio 2013.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. **INFOCLIMA**. Disponível em: [www.infoclima1.cptec.inpe.br](http://www.infoclima1.cptec.inpe.br). Acesso em: outubro 2013.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Ficha de informação toxicológica do dióxido de enxofre**. São Paulo, 2012. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/dioxido\\_de\\_enxofre.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/dioxido_de_enxofre.pdf). Acesso em: junho de 2013.

\_\_\_\_\_. **Publicações e relatórios da qualidade do ar.** Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>. Acesso em: outubro de 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA n° 3, de 28 de junho de 1990. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 22 de agosto de 1990.

ENERGÉTICA. **AGV MP10 – Amostrador de grande volume (modelo MP10EN – com cabeça energética).** Disponível em: <<http://www.energetica.ind.br/intranet/uploads/cb624b4f54618eb6f863e81f4369971d.pdf>> Acesso em: agosto de 2012.

ENVIRONMENTAL PROTECTION. **The air quality standards regulations 2010**, Disponível em: [http://www.legislation.gov.uk/ukxi/2010/1001/pdfs/ukxi\\_20101001\\_en.pdf](http://www.legislation.gov.uk/ukxi/2010/1001/pdfs/ukxi_20101001_en.pdf). Acesso em: maio 2013.

FERREIRA, T. M.; FORTI, M. C.; ALVALÁ, P. C. **Caracterização morfológica e química do particulado atmosférico em uma região urbana: São José dos Campos.** São José dos Campos: INPE, 2011. 65 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades.** Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: maio 2013.

INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY. **Environmental health criteria.** Disponível em: <http://www.inchem.org>. Acesso: maio 2013.

LIMA, E. F. *et al.* Morfologia e química de cinzas do vulcão Puyehue depositadas na região metropolitana de Porto Alegre em junho de 2011. **Revista Brasileira de Geociências**, n. 42, p. 265 – 280, 2012.

LINDAU, F. G. L. **Estudo da qualidade do ar na região urbana de Porto Alegre:** variabilidade das concentrações do parâmetro partículas inaláveis. Trabalho de diplomação em Engenharia Química. UFRGS, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://www.montenegro.rs.gov.br/home>. Acesso em: julho 2013.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Código Estadual do Meio Ambiente.** Lei n° 11.520, de 3 de agosto de 2000. Porto Alegre: SEMA, 2000.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Integrated sampling of suspended particulate matter (SPM) in ambient air. Overview.** EPA/625/R-96/010a, 1999. Disponível: <http://www.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/inorganic/overvw2.pdf>. Acesso em: março 2010.

\_\_\_\_\_. **National Ambient Air Quality Standards (NAAQS), 2012.** Disponível em: <http://www.epa.gov/air/criteria.html>. Acesso em: maio 2013.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, 2005.** Disponível em: [http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf). Acesso em: maio 2013.

# Área contaminada e mutagenicidade de solos: influência de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e nitroderivados

Roberta de Souza Pohren<sup>1,2</sup>, Jocelita Aparecida Vaz Rocha<sup>1</sup>, Karen Alam Leal<sup>1</sup>, Vera Maria Ferrão Vargas<sup>1,2</sup>

## Resumo

Este estudo investigou possíveis rotas na dispersão de contaminantes pela remobilização de partículas e deposição atmosférica, associando riscos ambientais. Foram selecionados locais de amostragem para solos a distâncias gradativas a partir de sítio contaminado com resíduos de uma indústria desativada de preservação de madeira. Foi analisada a atividade mutagênica através do ensaio *Salmonella*/microsoma, método de micro suspensão, em extratos orgânicos para avaliar efeitos de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e nitroderivados. A concentração dos 16 HPAs considerados poluentes prioritários pela USEPA e pentaclorofenol (PCP) foi mensurada nos extratos de solo. Em relação aos efeitos decorrentes da mistura de compostos orgânicos, a atividade mutagênica indicou um padrão de similaridade nas amostras e possível mobilidade de compostos orgânicos, como os HPAs.

**Palavras-chave:** *Salmonella*/microsoma, solo contaminado, HPAs, pentaclorofenol

**Contaminated area and mutagenicity of soils: influence of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and nitroderivatives**

## Abstract

This study investigated potential routes and area covered by dispersion of contaminants due to the remobilization of particles and atmospheric deposition, associating environmental risks. Sampling sites were selected for soils at gradually increasing distances from an industrial area contaminated with residues of wood preservatives. Mutagenic activity was evaluated by the *Salmonella*/microsome assay, micro suspension method, in organic extracts to evaluate effects from polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and nitroderivatives. The concentration of the 16 PAHs considered priority pollutants by USEPA, and pentachlorophenol (PCP) was measured in the soils extracts. As to the effects of the mixture of organic compounds in the organic extracts, the mutagenesis responses showed a pattern

<sup>1</sup>Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler – FEPAM.  
<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

Endereço para correspondência:  
V. M. F. Vargas, Programa de Pesquisas Ambientais, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler (FEPAM), Avenida Salvador França, 1707, CEP 90690-000, Porto Alegre, RS, Brasil. Fone: 5133346765. E-mail: vera.vargas@pesquisador.cnpq.br, ecorisco@fepam.rs.gov.br

of contamination in the samples analyzed, and appear to indicate the mobility of organic compounds, such as PHAs.

**Keywords:** *Salmonella/microsoma*, contaminated soils, PAHs, pentachlorophenol

## Introdução

Muitos contaminantes tendem a ser adsorvidos ao material particulado do solo, contudo, é muito difícil estimar se as rotas de exposição a partir desta matriz podem apresentar um risco efetivo (White & Claxton, 2004; Silva-Júnior & Vargas, 2007). Até recentemente, a maioria dos estudos clássicos de avaliação e controle da qualidade ambiental eram exclusivamente baseados em parâmetros físicos e químicos. Este enfoque, embora fundamental, pois facilita medidas mitigadoras de controle e biorremediação, não caracteriza de forma suficiente a contaminação do ambiente, uma vez que não considera a possível interação entre contaminantes, matriz ambiental e biota (Claxton *et al.*, 1998; Fernandez *et al.*, 2005). Desta forma, torna-se essencial avaliar o impacto destes estressores múltiplos de uma forma mais abrangente.

Uma ferramenta importante são os bioensaios, que fornecem informações adicionais sobre riscos ecológicos, permitindo uma integração dos efeitos das concentrações biodisponíveis (Eom *et al.*, 2007), ou seja, o efeito da mistura como um todo. Entre estes ensaios, estão os que permitem avaliar o risco potencial destas misturas complexas para genotoxicidade (Vargas *et al.*, 2001; 2008; Tagliari *et al.*, 2004; FEPAM, 2008).

Os compostos mutagênicos distribuem-se nos compartimentos ambientais, tendendo a se acumular no solo e, potencialmente, gerar efeitos genotóxicos aos organismos expostos. Embora questões ligadas à produtividade e aos aspectos agrônômicos do solo sempre tenham sido de grande interesse, muito investigadas e padronizadas, o conceito de proteção dos solos foi o último a ser abordado nas políticas ambientais. Isto se torna evidente, na observação do histórico de publicações das normas ambientais: Resolução CONAMA N° 357 de 2005 (CONAMA, 2005), para água, e Resolução CONAMA N° 3 de 1990 (CONAMA, 1990), para o ar, e, por último, a legislação referente à qualidade do solo, Resolução CONAMA N° 420 de 2009 (CONAMA, 2009). Estas resoluções não contemplam critérios de referência para respostas de genotoxicidade. O interesse pela incorporação de bioensaios na avaliação de riscos de locais contaminados vem crescendo e é fundamental para embasar as decisões de gestão e controle das inúmeras áreas contaminadas existentes. Em relação à genotoxicidade, a escassez de estudos em solos no Brasil indica a necessidade de ampliação da pesquisa e seleção de biomarcadores para definir a presença de mutágenos e riscos potenciais à integridade dos ecossistemas. Nesse contexto, os ensaios que medem mutagenicidade, como o *Salmonella/microsoma* (Mortelmans & Zeiger, 2000) apresentam-se como biomarcadores eficazes que permitem definir, pelo efeito, a presença precoce de diversos agentes perigosos em diferentes compartimentos ambientais, inferindo suas principais rotas de dispersão no ambiente (Umbuzeiro & Vargas, 2003; Silva-Júnior *et al.*, 2009). Na área de interesse deste estudo, uma antiga usina de preservação de madeira desativada em 2005, foram utilizados solução de pentaclorofenol em óleo e/ou óleo de creosoto,

creosoto e hidrossal CCA - arseniato de cobre cromatado. Estes compostos com características químicas altamente tóxicas realçam os riscos potenciais existentes.

Os compostos orgânicos com ação tóxica geralmente são de natureza antropogênica e persistentes no ambiente, destacando-se entre eles os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), compostos heterocíclicos e aminas aromáticas (White & Claxton, 2004). O pentaclorofenol foi o principal pesticida usado como preservativo de madeira no mundo todo, sendo um composto cumulativo, considerado pela USEPA como poluente prioritário desde 1977 (Gichner & Veleminsky, 1999) e de uso proibido no Brasil (ANVISA, 2006). Possui degradação lenta, é hidrofóbico e persistente no ambiente. Levando em consideração estudos já realizados por Grupo de Pesquisa da FEPAM dentro do projeto “Estratégias ecotoxicológicas para caracterizar áreas contaminadas como medida de risco à saúde populacional, MCT - CNPq/ CT - SAÚDE”, foram selecionadas as áreas do estudo, além de possível local de referência para mensurar a dimensão da contaminação.

## Material e métodos

### Área de estudo

A área de estudo está localizada na Depressão Central Gaúcha, próxima à confluência dos rios Taquari e Jacuí, no município de Triunfo, Rio Grande do Sul, à margem esquerda do rio Taquari. O local possui contaminação de solo decorrente da atividade industrial de uma usina de preservação de madeira, a qual operou de 1960 a 2005. Os produtos químicos utilizados para tratamento da madeira foram, inicialmente, solução de pentaclorofenol em óleo e/ou óleo de creosoto, a partir de 1982 o uso alternado de creosoto e hidrossal CCA e, desde 1998, emprego exclusivo do hidrossal.

### Locais de amostragem e coleta

A coleta das amostras de solo foi realizada em locais estratégicos, de acordo com a dispersão destes contaminantes de interesse, verificando a rota potencial de dispersão dos mesmos.

Além da área da usina, foram coletadas amostras de solo em locais próximos, com distâncias progressivas da principal fonte de contaminação, sendo:

- (i) SI, um *pool* de solos representando a contaminação da área interna do empreendimento (S 29° 52' 17.13", W 51° 43' 7.26"; S 29° 52' 17.27", W 51° 43' 8.8"; S 29° 52' 17.94", W 51° 42' 56.32");
- (ii) SR150, a aproximadamente 150 m (S 29° 52' 23.7", W 51° 43' 4.94");
- (iii) SR500, a cerca de 500 m (S 29° 52' 26.39", W 51° 42' 48.70");
- (iv) SR1700, em local passível de ser considerado como referência, a 1700 m da área (S 29° 52' 40.6", W 51° 42' 3.7").

Na caracterização granulométrica das amostras de solo foi observado que SR150 apresenta maior percentual de argila, seguido de SR1700, SI e SR500. Na constituição de siltes, os solos seguem a seguinte ordem: SR150 > SR500 > SR1700 > SRSI. Quanto ao percentual de matéria orgânica (MO) e carbono orgânico (CO) destes solos, nota-se que SR500 se destaca com valores mais elevados que os outros pontos: apresenta valor maior que o dobro para MO e CO (2,8 e 1,3%,

respectivamente) em relação ao ponto de coleta mais distante da área, SR1700 (1,1 e 0,51%, respectivamente).

Para cada ponto obteve-se uma amostra composta, a partir de três sub-amostras de solo coletadas a uma profundidade de 0 a 20 cm, resultando em aproximadamente 1 kg de solo homogeneizado.

### **Preparação dos extratos de solo**

Os extratos orgânicos foram obtidos conforme método da USEPA (EPA *Method* 3550C. *Ultrasonic Extraction*, 2007), utilizando os solventes diclorometano (DCM) e metanol (MeOH) na proporção de 2:1, em ultrassom por 10 minutos, em dois ciclos. Os extratos foram divididos para análise química e para os ensaios de mutagenicidade.

### **Avaliação da atividade mutagênica**

Para a avaliação da mutagenicidade das amostras, foi utilizado o teste *Salmonella*/microsoma pelo método de microssuspensão, Teste de Kado (Kado *et al.*, 1983; Umbuzeiro & Vargas, 2003), uma modificação do ensaio clássico (Maron & Ames 1983), a qual permite analisar pequenas quantidades de amostras.

Todos os testes foram realizados em presença e ausência de sistema de metabolização P450 *in vitro* - sistema exógeno de mamíferos, *S9 mix* (Maron & Ames, 1983). Os ensaios com as linhagens YGs foram realizados somente na ausência de *S9 mix*. Foram utilizadas as linhagens de *Salmonella typhimurium*, TA98 e TA97a, que detectam a ação de mutagênicos que causam erro no quadro de leitura e TA100 para substituição de pares de bases. Foram ainda utilizadas nos extratos orgânicos linhagens com alta produção das enzimas nitroreductase e O-acetiltransferase, as quais são específicas para diagnóstico de nitrocompostos: YG 1041 e YG 1042 sensíveis a mono/dinitroarenos, e YG 1024 sensível a dinitroarenos e aril-hidroxi-amino-compostos. A mutagênese foi expressa pelo número de revertentes por grama seca equivalente de solo, calculados na porção linear de curva dose-resposta.

### **Determinações químicas**

Os extratos orgânicos de solo foram obtidos pelo método USEPA 3550C - através de extração por ultrassom, e os HPAs foram analisados por cromatografia gasosa acoplada a espectrômetro de massa (GC/MS por SIM). Foram investigadas as principais espécies de HPAs presentes, focalizando as 16 espécies classificadas como poluentes prioritários pela USEPA (2007). Já o contaminante pentaclorofenol foi analisado conforme método USEPA 8270 D, no Laboratório Bioagri Ambiental, em Piracicaba, São Paulo.

### **Resultados e discussão**

A mutagênese para os extratos orgânicos (Tabela 1) mostrou um predomínio de compostos de ação indireta. Em SI, os valores para mutagênese variaram entre 107 - 1455 revertentes/g equivalente de solo seco. Nos locais amostrados no entorno, observou-se padrão similar ao SI em SR150; já em SR500, valores elevados de mutagênese de ação direta foram evidenciados em TA97a, indicando uma resposta diferenciada neste ponto de coleta e revelando uma contaminação local. As amostras do possível local de referência - SR1700 - mostraram um decréscimo nos efeitos totais apresentados.

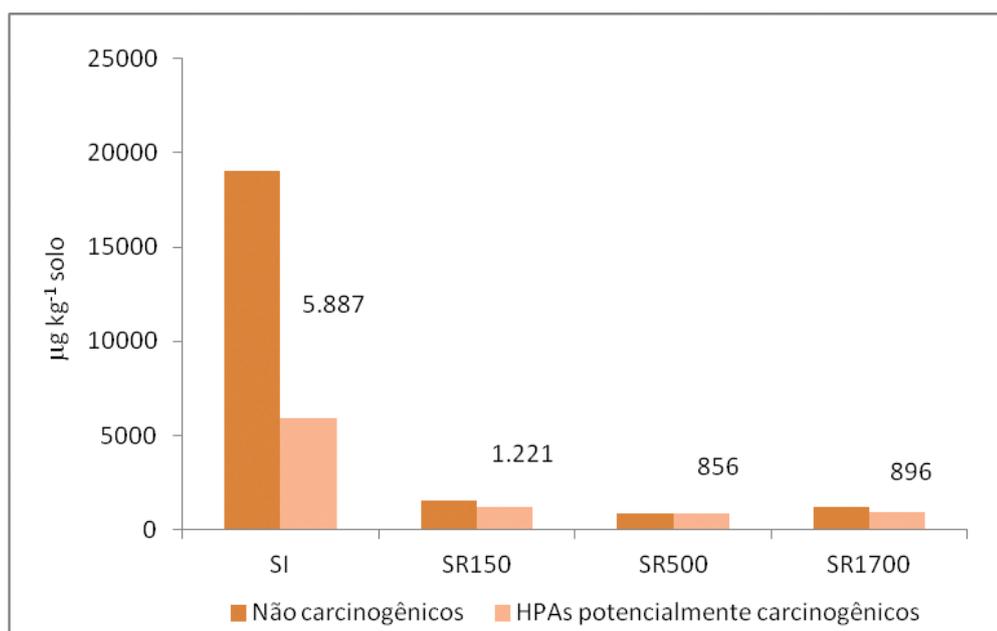
	TA 98		TA 100		TA 100	
	-S9	+S9	-S9	+S9	-S9	+S9
<b>SI</b>	<sup>a</sup> 107	827	<sup>b</sup> NS	1455	NS	307
<b>SR150</b>	33	1285	NS	NS	NS	80
<b>SR500</b>	NS	NS	3637	655	NS	388
<b>SR1700</b>	NS	317	NS	386	NS	NS

<sup>a</sup>Número de revertentes/g equivalente de solo seco; <sup>b</sup>NS: não significativo. Concentrações testadas: 10mg, 20, 40, 80, 120, 160mg. Controle Negativo (rev/placa) 5 µL DMSO/placa -S9 mix: TA98 (54,40±6,88), TA97a (182,27±11,30), TA100 (169,09±21,75); +S9mix: TA98 (56,25±6,77), TA97a (178,67±37,81), TA100 (192,09±22,89). Controle Positivo (rev/placa±DP): -S9 mix: TA98: 642,91±166,80 (4NQO - 0,5µg/placa), TA97a: 792,80±138,06 (4NQO - 0,5µg/placa), TA100: 605,38±103,68 (AZD - 5µg/placa); +S9mix: 2AF - 10µg/placa: TA98 (484,50±119,59), TA97a (533,33±82,37) e TA100 (425±88,80).

▲ Tabela 1. Mutagenicidade em extratos orgânicos de solos de sítio contaminado por preservativos de madeira e seu entorno.

A atividade mutagênica encontrada em SR150, SR500 e mesmo no local de referência SR1700, embora com valores mais baixos, destaca a presença de mutágenos dependentes de metabolização hepática. Esta evidência parece indicar contribuição na área de entorno por compostos possivelmente similares.

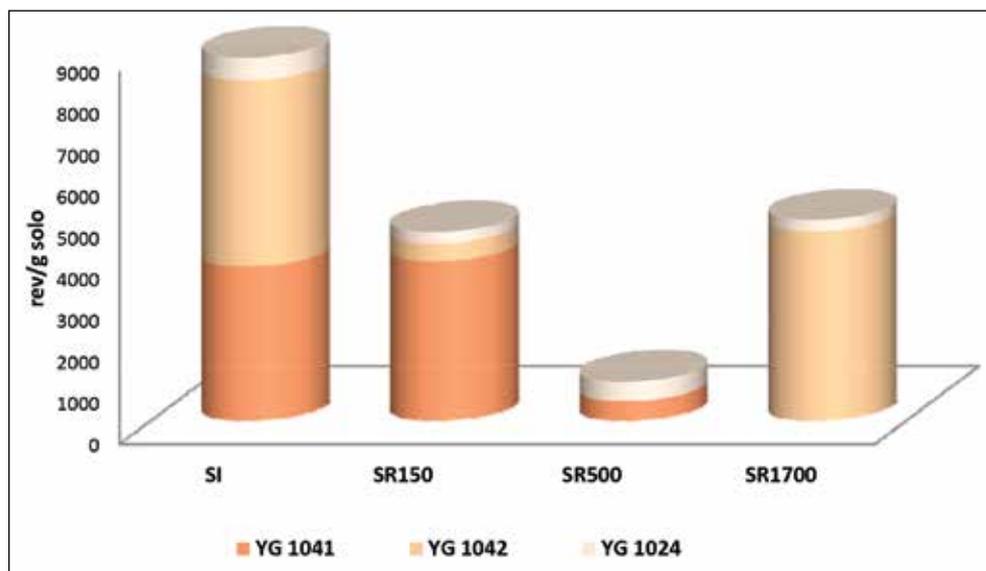
Os resultados das concentrações de HPAs totais (Figura 1) analisadas nos extratos orgânicos mostram a existência de um perfil de contaminação na área. Há um destaque para SI, o qual tem altos valores para estes compostos orgânicos, ocorrendo um decréscimo de acordo com o aumento da distância da área.



◀ Figura 1. Concentrações de HPAs totais destacando-se HPAs carcinogênicos.

Compostos orgânicos como HPAs necessitam de fração de metabolização exógena para causar efeitos nos organismos (Watanabe *et al.*, 2005). Alguns destes compostos foram encontrados na área e podem estar associados às respostas obtidas

► Figura 2. Atividade mutagênica em revertentes/g equivalente de solo nos extratos orgânicos de solo referente às linhagens sensíveis a nitrocompostos.



em presença de fração de metabolização. Na avaliação da presença de nitrocompostos nas respostas de atividade mutagênica, a utilização das linhagens YG1041 e YG1042 permitiu verificar que esta classe de compostos contribuiu expressivamente nas potências de dano existentes (Figura 2), exceto em SR500. Neste local, ficou evidente que os danos detectados não decorreram predominantemente de nitroderivados.

Controle Negativo (rev/placa±DP): 113,11±28,53 (YG1041), 200,83±19,65 (YG1042), 38±5,18 (YG1024); Controle Positivo (rev/placa±DP): 2NF (0.15g/placa), 515±195,07(YG1041), 689,75±154,44 (YG1042), 624,75±247,02 (YG1024).

#### Agradecimentos

Agradecemos às agências CNPq e CAPES pelo apoio financeiro e pelas bolsas de mestrado e de iniciação científica. Este estudo constituiu parte da dissertação de mestrado em Ecologia de Roberta de Souza Pohren, orientada por Vera M. F. Vargas no PPG em Ecologia da UFRGS, apresentada em março de 2011 e desenvolvida dentro dos objetivos do Programa de Pesquisas Ambientais da FEPAM. As conclusões do estudo contribuíram com medidas preventivas para proteção de possíveis impactos gerados nas áreas de entorno, durante os processos de remediação licenciados pela FEPAM.

#### Avaliação de PCP em solos

Foi encontrado como marcador específico da área, o teor de 0,431 mg kg<sup>-1</sup> para o composto pentaclorofenol na amostra SI, valor superior ao previsto na legislação (0,16 mg kg<sup>-1</sup>) para solos (CONAMA, 2009). Nos outros solos, o valor observado foi inferior ao limite de detecção.

#### Conclusões

Ficou evidente que é fundamental avaliar a extensão da contaminação a partir de fontes de solo impactado, uma vez que, sem uma correta delimitação do impacto, qualquer medida de remediação ou procedimento de minimização de riscos seria ineficiente (Bengtsson & Torneman, 2009). Portanto, o estudo mostrou que o ambiente de entorno da área pode estar exposto a contaminantes tóxicos e genotóxicos, embora deva ser considerada a possibilidade da influência de outras fontes no ambiente, principalmente para HPAs, além da fonte investigada. Recomenda-se que a área continue sendo monitorada durante os processos de descontaminação e remediação, o que é necessário para o acompanhamento dos impactos gerados nas áreas de entorno.

## Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução n. 164, de 18 de agosto de 2006. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: jun. 2011.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.

BENGTSSON, G.; TORNEMAN, N. A spatial approach to environmental risk assessment of PAH contamination. **Risk Analysis**, v. 29, n. 1, p. 48-61, 2009.

CLAXTON, L.; HOUK, V. S.; HUGHES T. J. Genotoxicity of industrial wastes and effluents. **Mutation Research**, v. 410, p. 237-243, 1998.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução N° 3. Padrões Nacionais de Qualidade do Ar. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 28 de Junho, 1990.

\_\_\_\_\_. Resolução N° 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 de março de 2005. Seção 1, 58-63 p.

\_\_\_\_\_. Resolução N° 420, de 28 de dezembro de 2009. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 30 de dezembro de 2009, p. 81-84. Disponível: <[http://homologa.ambiente.sp.gov.br/aquiferos/CONAMA%20Resolucao%202009\\_420.pdf](http://homologa.ambiente.sp.gov.br/aquiferos/CONAMA%20Resolucao%202009_420.pdf)>. Acesso em: jun. 2011.

DAHLGREN, J. H. *et al.* Residential and biological exposure assessment of chemicals from a wood treatment plant. **Chemosphere**, v.67, p. 279-285, 2007.

EOM, I. C. *et al.* Ecotoxicity of a polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) contaminated soil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 67, p. 190–205, 2007.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUÍS ROESSLER. **Estratégias ecotoxicológicas para caracterizar áreas contaminadas como medida de risco à saúde populacional**. Coord. V. M. F. Vargas. Porto Alegre, 2010. Relatório do Projeto FEPAM/CNPq 555187/2006-3.

\_\_\_\_\_. **Estratégias ecotoxicológicas para avaliação de risco aplicado à Bacia Hidrográfica do Rio Caí: Atlas ambiental**. Coord. Vera Maria Ferrão Vargas. Ed. Nara Regina Terra e Eliana Casco Sarmento. Porto Alegre, 2008. 164p. il.

FERNANDEZ, M. D. *et al.* Ecological risk assessment of contaminated soils through direct toxicity assessment. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 62, p. 174–184, 2005.

GICHNER, T.; VELEMINSKY, J. Monitoring the genotoxicity of soil extracts from two heavily polluted sites in Prague using the *Tradescantia* stamen hair and micronucleus (MNC) assays. **Mutation Research**, v. 426, p. 163–166, 1999.

GRANDE, M. D.; REZENDE, M. O. O.; ROCHA, O. Distribuição de compostos organoclorados nas águas e sedimentos da bacia do rio Piracicaba/SP – Brasil. **Química Nova**, v. 26 n. 5, p. 678-686, 2003.

KADO, N. Y.; LANGLEY, D.; EISENTADT, E. A simple modification of the *Salmonella* liquid incubation assay: increased sensitivity for detecting mutagens in human urine. **Mutation Research**, v. 121, p. 25-32, 1983.

- LEBOT, B. *et al.* Bioaccessible and quasi-total metals in soil and indoor dust. **European Journal of Mineralogy**, v. 22, p. 651–657, 2010.
- MARON, D. M.; AMES, B. N. Revised methods for the *Salmonella* mutagenicity test. **Mutation Research**, v.11, p. 173-215, 1983.
- MORTELMANS, K.; ZEIGER, E. The Ames *Salmonella/microsome* mutagenicity assay. **Mutation Research**, v. 455, p. 29-60, 2000.
- SILVA, A. P. *et al.* **Emissões de mercúrio na queima de amálgama: estudo da contaminação de ar, solos e poeira em domicílios de Poconé – MT.** Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1996. (Tecnologia ambiental, 13)
- SILVA-JUNIOR, F. M. R.; VARGAS, V. M. F. Avaliação de áreas sob a influência de uma termelétrica a carvão através de ensaio de genotoxicidade, **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, v.2, p.197-199, 2007.
- TAGLIARI, K. C. *et al.* Mutagenicity of sediment and biomarkers of oxidative stress in fish from aquatic environments under the influence of tanneries. **Mutation Research**, v. 561, p.101-117, 2004.
- UMBUZEIRO, G. A.; VARGAS, V. M. F. Teste de mutagenicidade com *Salmonella typhimurium* (Teste de Ames) como indicador de carcinogenicidade em potencial para mamíferos. In: RIBEIRO, SALVADORI, L. R.; D. M. F.; MARQUES, E. K. (Orgs.) **Mutagênese ambiental**. Canoas: Ed. ULBRA, 2003, 356 p.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Environmental Protection Agency, Method 3550C. Ultrasonic extraction, 2007. Disponível em: <<http://www.epa.gov/sw846/pdfs/3550.pdf>>. Acesso em: jan. 2011.
- \_\_\_\_\_. Environmental Protection Agency, Method 8270D. Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS), 2007. Disponível em: <<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/8270d.pdf>>. Acesso em: jan. 2011.
- VARGAS, V. M. F. *et al.* Comparative temporal ecotoxicological study in a river basin influenced by petrochemical industries. **Science of the Total Environment**, v. 392, p. 79-92, 2008.
- \_\_\_\_\_. Genotoxicity assessment in aquatic environments under the influence of heavy metals and organic contaminants. **Mutation Research**, v. 490, p.141-158, 2001.
- WATANABE, T. *et al.* Detection of a novel mutagen, 3,6-dinitrobenzo[e]pyrene, as a major contaminant in surface soil in Osaka and Aichi Prefectures, Japan. **Chemical Research in Toxicology**, v. 18, p.283-289, 2005.
- WHITE, P. A.; CLAXTON. L. D. Mutagens in contaminated soil: a review. **Mutation Research**, v. 567, p. 227–345, 2004.

## Logística Reversa de Medicamentos: FEPAM discute destinação correta dos medicamentos vencidos

Amanda Assunção Vieira e Daiene da Silva Gomes

Com o objetivo de garantir a destinação ambientalmente correta de medicamentos e de suas respectivas embalagens após o uso, o governo federal publicou, no Diário Oficial da União de 10 de outubro de 2013, o edital de chamamento para elaboração de acordo setorial visando à implantação de sistema de logística reversa de resíduos de medicamentos. Com isso, os setores interessados deverão apresentar sugestões que contemplem todas as etapas da logística reversa dos medicamentos descartados.

A FEPAM faz parte do grupo de trabalho operativo do Rio Grande do Sul pelo Descarte Correto de Medicamentos, através da participação de técnicos do Serviço de Gestão de Resíduos Sólidos da Divisão de Infraestrutura e Saneamento Ambiental (SEGERS/DISA), juntamente com profissionais do Conselho Regional de Farmácia do Rio Grande do Sul, da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, da Farmácia Escola da Universidade Luterana do Brasil e do Sindicato dos Farmacêuticos do estado do Rio Grande do Sul. É de suma importância a implementação da logística reversa de medicamentos vencidos através de uma proposta de acordo setorial, pois somente assim teremos a cadeia completa de retorno e de destinação final destes resíduos, estabelecendo a cada ator a sua responsabilidade e, desta forma, protegendo o meio ambiente e a saúde da população.

O grupo de trabalho pretende apresentar ao Ministério do Meio Ambiente uma proposta de acordo setorial que englobe pontos de coleta, transporte e destinação final ambientalmente adequada para estes resíduos. O foco é o correto descarte de medicamentos vencidos ou inutilizados ou não mais usados que se encontram nos domicílios, com o compromisso de discutir o destino ambientalmente correto, bem como medidas de não geração de sobras dos mesmos.

A ocorrência de resíduos químicos, como fármacos residuais no esgoto doméstico e nas águas naturais, revelam contaminação em diferentes ambientes aquáticos, com ocorrência de feminização de peixes machos, alteração do sistema reprodutivo de tartarugas fêmeas, desenvolvimento de bactérias resistentes, anomalias no crescimento da concha de mexilhões, entre outros. Considerando que

Serviço de Gestão de Resíduos Sólidos da Divisão de Infraestrutura e Saneamento Ambiental, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler (FEPAM, RS)

Correspondência: A. A. Vieira, Av. Borges de Medeiros, 261, Centro, CEP 90020-021, Porto Alegre, RS, Brasil. Tel.: (51) 3288-9433. E-mail: amandaav@fepam.rs.gov.br

as estações de tratamento de esgotos apresentam limitações na remoção de uma variedade de fármacos com o uso de tecnologias convencionais de tratamento, pode-se considerar que muitos psicoativos, hormônios, antiinflamatórios e antidepressivos estejam presentes até mesmo na água potável, depois de tratada.

Diversos países já possuem programa de recolhimento de medicamentos vencidos, como a França, através do programa *Cyclamed*, a Espanha com o *SIGRE Medicamento y Medio Ambiente*, Portugal com a *Valormed*, a Suécia com a *Apoteket AB* e o Canadá com a *Post-Consumer Pharmaceutical Association*. Nos Estados Unidos da América, o estado do Maine possui um Programa de Disposição Segura de Medicamentos, financiado pela Agência de Proteção Ambiental (USEPA), no qual há coleta via correio dos medicamentos inutilizados, com envio destes para o *Food and Drug Administration* para disposição segura. No estado de Washington, o Programa *Secure Medicine Return* é financiado pelas indústrias farmacêuticas, as quais disponibilizam, nas farmácias e clínicas, caixas coletoras com dupla chave de segurança, onde os consumidores depositam seus medicamentos, para posterior tratamento por incineração e disposição segura.

No Brasil, em 2010, uma indústria farmacêutica, em conjunto com uma grande empresa do ramo varejista, lançou o programa Descarte Correto de Medicamentos, onde todo o material arrecadado era encaminhado para o Departamento de Limpeza Urbana, para os procedimentos necessários para a destinação final. No mesmo ano, no Rio Grande do Sul, uma grande rede de drogarias da região sul, em parceria com universidades gaúchas, lançou o programa Destino Certo, divulgando para a população, através de reportagens, propagandas, *blogs* e distribuição de encartes, o recolhimento de medicamentos vencidos nas suas filiais de Porto Alegre. O estado de Santa Catarina possui o programa Papa Pílula (<http://www.papapilula.com.br>), criado pela rede de farmácias do Serviço Social da Indústria (SESI). Na Bahia, com o apoio do governo estadual e de uma empresa do segmento de saúde, foi lançado, em dezembro de 2012, um projeto intersetorial de descarte de medicamentos, o qual conta com estações coletoras pós triáveis, instaladas em farmácias voluntárias.

Há também o programa Descarte Consciente, que, atualmente, está presente em onze Estados do Brasil (RS, SC, PR, MG, SP, RJ, DF, PE, ES, CE, BA), com 350 estações coletoras de medicamentos instaladas. Segundo os organizadores, o programa deverá ultrapassar a marca de 100 toneladas de resíduos de medicamentos recolhidos em 2013.

Embora não existam números precisos sobre a geração de resíduos de medicamentos no Estado, a expectativa é de que, com o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do RS, que está em fase inicial de elaboração, estes dados sejam estimados e divulgados. Assim, neste processo de discussão e de construção, é fundamental a articulação e o envolvimento de entidades representativas de diversos setores no debate para a implementação da logística reversa dos medicamentos vencidos e inutilizados. Isso permitirá avançar e buscar soluções, tanto no uso racional de medicamentos, minimizando sua geração, quanto em pesquisas sobre tecnologias alternativas de tratamento dos resíduos gerados.

## FEPAM e FZB/RS realizam a IX Jornada de Iniciação Científica: Meio Ambiente

Nina Rosa Rodrigues

Divisão de Biologia, FEPAM, av. Salvador França, nº 1707, Porto Alegre, RS, CEP 90.690-000. E-mail: ninarr@fepam.rs.gov.br

---



No ano de 2013, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler e a Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul novamente uniram esforços para realizar a Jornada de Iniciação Científica: Meio Ambiente – FEPAM/FZBRS. Entre os dias 27 e 30 de agosto, nas dependências da FZB/RS, pesquisadores, técnicos e acadêmicos trocaram experiências e apresentaram trabalhos sobre diferentes temas relacionados ao meio ambiente.

Contando com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, a nona edição da Jornada teve a coordenação geral das pesquisadoras Vera Maria Ferrão Vargas (FEPAM) e Suzana Maria de Azevedo Martins (Museu de Ciências Naturais da FZB/RS). Participaram do evento representantes de 14

instituições de ensino e pesquisa do Estado, com a apresentação de 123 trabalhos, avaliados por 51 pesquisadores.

A palestra de abertura dessa edição da Jornada - “Espécies da fauna e flora ameaçadas de extinção no Rio Grande do Sul” - foi proferida pelos pesquisadores Glayson Ariel Bencke e Andreia Carneiro Maranhão, vinculados à FZB/RS.

Na cerimônia de encerramento, foram premiados os 18 trabalhos que se destacaram nas diferentes sessões temáticas. Os destaques obtidos pela FEPAM podem ser conferidos abaixo.

#### **Genética Ecológica/Toxicológica:**

“Reavaliação da genotoxicidade do Arroio Bom Jardim por análise de micronúcleos em V79”, de Cristina Araújo Matzenbacher, Samyra Allem Chedid Silva e Clarice Torres de Lemos (orient.).

#### **Geoquímica Ambiental:**

“Determinação de cianeto nas águas do trecho inferior da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS (2009/2013)”, de Luana Haas e Maria Lucia Kolowski Rodrigues (orient.).

#### **Gestão Ambiental I:**

“Delimitação de áreas de preservação permanente da Lagoa do Jacaré, Torres, Litoral Norte do Rio Grande do Sul”, de Letícia Sebastião Miranda, André Luis Domingues, Galileo Adeli Buriol (coorient.) e Kátia Helena Lipp-Nissinen (orient.).

#### **Química Ambiental:**

“Avaliação de cromo residual em solos fertilizados com hidrolisado proteico de couro”, de Juliana Batista Zoch, Jovana Bavaresco, Clesio Gianello (orient.) e Maria Lucia Kolowski Rodrigues (orient.).

O resumo dos trabalhos apresentados na IX JIC estão disponíveis na forma impressa e em CD-ROM, podendo ser acessados na biblioteca e no *site* da FEPAM.

# Contribuições à temática da sustentabilidade na gestão de resíduos sólidos na América Latina divulgadas na III<sup>a</sup> Conferência Internacional de Gestão de Resíduos - GRAL 2013

Cristiano Sordi Schiavi e Kátia Helena Lipp-Nissinen

Programa de Assessoramento aos Municípios e Programa de Pesquisas Ambientais, Gerência de Programas, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler – FEPAM; Av. Borges de Medeiros, 261, 9<sup>o</sup> andar, Porto Alegre, RS, CEP 90.020-021; Tel: (51) 3288-9534; Email: [katihln@fepam.rs.gov.br](mailto:katihln@fepam.rs.gov.br).

---

Com o tema “Sustentabilidade Social, Ambiental, Técnica e Econômica da Gestão de Resíduos na América Latina”, foi realizada a III<sup>a</sup> Conferência Internacional de Gestão de Resíduos na América Latina – GRAL 2013, durante o período de 04 a 06 de setembro, no Instituto de Engenharia, na cidade de São Paulo, SP. O evento teve a organização da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) e também do *International Waste Working Group* (IWWG) - fórum mundial voltado para o desenvolvimento em pesquisa, indústria e gestão de resíduos.

Novas tecnologias para projetos de aterros sanitários, encerramento de lixões, tratamento de orgânicos e líquidos lixiviados, aproveitamento energético e gestão integrada de terminais de transporte e de resíduos da construção civil foram temas abordados nos oito mini-cursos disponibilizados no evento.

Os Anais da Conferência apresentam 68 artigos completos, selecionados por pareceristas internacionais no sistema *blind review*. Desse total, dois trabalhos escolhidos constituíram-se em palestras magnas, 28 foram apresentados oralmente e 30 na forma de pôsteres. Palestraram ainda outros 12 especialistas convidados de sete países. As sessões abrangeram as seguintes temáticas: (a) Boas práticas na gestão de resíduos nos municípios; (b) Educação ambiental; (c) Boas práticas de responsabilidade empresarial e social; (d) Manejo adequado dos resíduos e seu impacto na sustentabilidade; e (e) Recuperação e aproveitamento dos resíduos.

As sessões iniciais da Conferência abordaram as dificuldades enfrentadas pelos municípios na implantação de políticas voltadas à gestão dos resíduos sólidos. Para os debatedores, há recursos técnicos e financeiros suficientes para resolver os problemas relacionados ao lixo na América Latina. Porém, ainda são necessárias muitas ações para que manejo, descarte e/ou reaproveitamento apropriados sejam implantados de fato e em geral nas comunidades. No Brasil, a

Lei N°. 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelece instrumentos importantes para o avanço necessário ao enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado. Nesse contexto, os desafios para a efetividade da PNRS em diferentes regiões do país foi assunto recorrente nas palestras e debates com a plateia.

O estudo desenvolvido em 2013, na Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler (FEPAM), analisando a gestão dos resíduos de demolição e construção civil em municípios do Rio Grande do Sul, foi apresentado por Cristiano S. Schiavi e Kátia H. Lipp-Nissinen. Além da avaliação situacional junto a 13 municipalidades, representando 43% da população e 36% do PIB estadual, foram analisadas comparativamente as informações publicadas em três relevantes fontes de dados: (a) Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB/IBGE–2008), (b) Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e (c) Sistema de Informações Ambientais da FEPAM (S3i).

Anais com artigos completos e outras informações sobre a IIIª Conferência GRAL 2013, as anteriores no Equador (2009) e na Colômbia (2011), bem como a programação para a próxima edição na Guatemala em 2015, estão disponíveis em <http://www.gral.eng.br>

# XIV Congresso Brasileiro de Geoquímica – Diamantina, MG – 13 a 18/10/2013

**Maria Heloisa Degrazia Pestana**

**Programa de Pesquisas Ambientais – FEPAM, Av. Borges de Medeiros,  
261, Porto Alegre, RS; Email: mariahd@fepam.rs.gov.br**

---

A décima quarta edição do Congresso Brasileiro de Geoquímica reuniu a comunidade científica das áreas de Química, Geociências e afins, na cidade de Diamantina. As sessões do Congresso ocorreram nas dependências da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) e do Instituto Eschwege, na Casa da Glória. O evento, organizado pela Sociedade Brasileira de Geoquímica, contou com o apoio também da Universidade Federal de Minas Gerais, da Universidade Federal de Ouro Preto, do CNPq, da CAPES e do Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Simultaneamente, ocorreu o Simpósio Latino-Americano de Mapeamento Geoquímico, com destaque para os levantamentos e estudos que o Serviço Geológico do Brasil vem realizando em todo o território nacional.

Dentre as sessões com abordagem de maior ênfase ambiental, salientaram-se as de Geoquímica Ambiental, Hidrogeoquímica, Geologia Médica, e a de Biogeoquímica e Química da Atmosfera. Também de interesse ambiental foram os minicursos ocorridos no domingo, 12/10/13, entre os quais “Modelagem hidrogeoquímica: aplicações ambientais, ministrado por Ricardo Perobelli Borba (UNICAMP) e “Hidrogeoquímica fluvial: características químicas das cargas dissolvidas e particuladas e elementos potencialmente tóxicos em sedimentos de fundo”, ministrado por Jeferson Mortatti (CENA/USP). Este último salientou a importância da aplicação da metodologia de extrações sequenciais em sedimentos de corrente, para a avaliação da contaminação por metais de origem antrópica.

Muito entusiasmo tomou conta dos ouvintes que assistiram à Conferência 2: “Explorando a geoquímica de Marte com o robô *Curiosity*”, por Nilton O. Reno, da Universidade de Michigan (USA). Com aplicação direta para o cumprimento das atribuições da FEPAM relativas à gestão ambiental e ao licenciamento da mineração, salientou-se a interessante conferência de encerramento: “Monitoramento e recuperação de áreas degradadas por atividade mineira”, por Eduardo Anselmo Ferreira da Silva, da Universidade de Aveiro (Portugal).

A FEPAM esteve representada nesse evento pelo trabalho “Contaminação por metais em águas superficiais e sedimentos de corrente após década e meia do encerramento de mineração de cobre no RS”, de autoria de M. H. D. Pestana e M. L. L. Formoso, apresentado oralmente na sessão de Geoquímica Ambiental.

Parabéns à Sociedade Brasileira de Geoquímica, na figura do seu Presidente Jorge Carvalho de Lena (SBGq/UFOP), ao Presidente de Honra do Congresso, Alcides Nóbrega Sial (UFPE), e a todos que contribuíram para a realização e o sucesso de mais esta edição do Congresso Brasileiro de Geoquímica.

## II Seminário Sul-Brasileiro de Gerenciamento de Áreas Contaminadas

Mário Rogério Kolberg Soares

Serviço de Licenciamento de Áreas Industriais em Implantação – SELAI, Divisão de Controle da Poluição Industrial – DICOPI, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler – FEPAM; Rua Borges de Medeiros, 261, Centro Histórico, Porto Alegre, RS, CEP 90.020-021. E-mail: mariorks@fepam.rs.gov.br

---

Nos dias 4 e 5 de novembro de 2013, ocorreu no Centro de Eventos do Hotel Plaza São Rafael, em Porto Alegre, o II Seminário Sul-Brasileiro de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, realizado pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental do estado do Rio Grande do Sul (ABES-RS), com co-realização da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler (FEPAM). O objetivo do Seminário foi divulgar técnicas quanto à investigação de passivos e de remediação, dentro do contexto da gestão de áreas contaminadas. Assim como reportar o estágio atual da aplicação do estabelecido pela Resolução CONAMA N° 420/2009, no cenário nacional e na região sul do Brasil, com destaque para a determinação dos Valores de Referência de Qualidade para solos. O evento objetivou, também, provocar reflexões a respeito do gerenciamento de passivos ambientais, no contexto da municipalização do licenciamento ambiental. Face ao crescimento das cidades e às adequações de seus planos diretores, áreas que no passado tiveram uso predominantemente industrial passaram agora a integrar cenários urbanos. Porém, com o licenciamento de complexos imobiliários e de lazer, ainda sem uma avaliação preliminar quanto à potencialidade da existência de contaminação nesses locais.

No Seminário, foram proferidas ao todo 21 palestras, fomentando a realização de importantes debates, que contribuiriam para a avaliação do cenário atual do Gerenciamento das Áreas Contaminadas nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. O Seminário contou com a presença de órgãos ambientais estaduais e municipais do sul do Brasil, promotorias de justiça, empresas de consultoria e prestação de serviços, gestores dos diferentes setores da indústria, pesquisadores e estudantes que atuam nesta área, totalizando mais de 400 inscritos, incluindo técnicos de estados como São Paulo, Bahia e Rio de Janeiro, entre outros.

As discussões evidenciaram a necessidade do estabelecimento de políticas públicas no sentido de implementar, nos estados do sul do Brasil, procedimentos complementares às ações que vêm sendo realizadas para o atendimento da Resolução CONAMA N° 420/2009.

Na palestra de encerramento do evento, foi abordada a Resolução CONAMA N° 314/2002, que trata do registro de insumos químicos e biológicos destinados à remediação, e também a Instrução Normativa N° 05/2010 do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, que fixou os procedimentos e as exigências decorrentes desta Resolução.

## Comitesinos: pioneirismo, protagonismo e consistência



O Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (Comitesinos), que completou 25 anos em 2013, foi a primeira entidade do gênero em um rio de águas estaduais, criada pelo Decreto Estadual Nº 32.774, alterado pelo Decreto Estadual Nº 39.114/98. Serviu de laboratório para a gestão das águas no Estado, resultando na Lei das Águas (Lei Estadual Nº 10.350/94), que, por sua vez, influenciou a Lei Federal das Águas (Lei Nº 9.433/97). Segundo seu atual presidente, Arno Leandro Kayser, trata-se de um ente peculiar no sistema social. “É um órgão do Sistema Estadual de Recursos Hídricos instituído nos termos da Lei Nº 10.350/94 para promover a gestão das águas através do diálogo entre o estado e a sociedade.” De tal forma que, seguidamente, deliberações de sua plenária são ratificadas pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH), em portarias do Estado, que lhes dão força de lei.

O Comitesinos abrange os 32 municípios da Bacia do Sinos e, como as entidades similares no Estado, tem seu colegiado composto por representantes das categorias Usuários da Água (Entidades de Abastecimento Público, Esgotamento Sanitário e Resíduos Sólidos, Drenagem, Geração de Energia, Produção Rural, Indústria, Mineração, Lazer e Turismo) e Representantes da Comunidade (Legislativo Municipal e Estadual, Associações Comunitárias, Clubes de Serviços, Instituições de Ensino, Pesquisa e Extensão, ONGs Ambientalistas, Associações Profissionais e Organizações Sindicais), além dos Representantes de Governo.

Texto baseado em  
release do jornalista  
Castor Becker Junior.

A data de fundação do Comitesinos é considerada o Dia do Rio dos Sinos (Dia Estadual de Preservação e Conscientização da Importância da Bacia Hidrográfica do Rio do Sinos, conforme a Lei Estadual N° 12.171/2004).

## A marca da mobilização

O Comitê da Bacia do Rio dos Sinos surgiu a partir da união da comunidade contra a poluição industrial nos anos 80 e manteve essa mobilização da população como sua marca registrada, daí também o espírito de conciliação. Tanto que, mesmo mantendo uma diversidade de setores, opiniões e mentes em sua plenária, historicamente tem conseguido resolver os conflitos pelo uso da água com decisões unânimes em suas assembleias. Ou seja, as questões são debatidas à exaustão até que todos os lados cedam um pouco, resultando em ganhos à sociedade. Por exemplo, nas estiagens do rio dos Sinos, ocorridas a partir de 2005, anualmente, arroteiros e empresas de abastecimento do Estado, todos com assento na plenária do Comitê de Bacia, discutiram um protocolo de cooperação para que, em caso de escassez de chuvas, os agricultores a montante reduzam o ritmo de retirada de água para lavouras, a fim de garantir o abastecimento público a jusante.

Debates como esses são fundamentais agora que a região está em plena etapa de mobilização social para finalizar seu Plano de Bacia. Todos estão participando de encontros para discutir, corrigir, acrescentar e ratificar os relatórios, bem como definir as metas de qualidade e quantidade de água e o plano de ações para atingir essas metas.

A busca de consistência nos debates, os quais visam sempre decisões de consenso entre todos os seus representantes, está presente também nas ações de Educação Ambiental que o Comitesinos promove desde sua criação. A receita está em aliar a pesquisa científica a projetos que prevêm mobilização de instituições e voluntários.

Uma ferramenta para isso tem sido o Programa Permanente de Educação Ambiental (PPEA), que, no passar dos anos, conseguiu uma rede de multiplicadores de conhecimento junto a escolas, com apoio das prefeituras. A estratégia tem sido a busca de recursos junto a programas de responsabilidade ambiental da iniciativa privada ou editais de órgãos públicos, além de racionalizar recursos de compensações ambientais.

Um resultado prático dessa estratégia de unir educação ambiental, pesquisa e ações práticas de preservação e recuperação ambiental é o projeto Dourado. A iniciativa juntou os pesquisadores da universidade e professores de escolas da região e, literalmente, na água, vivenciou as condições de vida do rio dos Sinos. Este conhecimento passou a ser compartilhado imediatamente com as comunidades, resultando em um novo jeito de ensinar e de multiplicar ações práticas pelo meio ambiente.

Outro exemplo é o Monalisa, que usou essa mesma fórmula para que as comunidades mapeassem mais de 8 mil impactos ambientais na região, fornecendo subsídios para o VerdeSinos, que se tornou programa permanente e já recuperou ou preservou mais de 300 hectares de mata ciliar na região. A mobilização já chegou a mais de 6 mil voluntários na Bacia do Sinos.

Por mais que cientistas estudem, autoridades determinem, jornalistas noticiem e professores ensinem, enquanto a comunidade não for unânime em ações e entendimento sobre seu papel nessa engrenagem, a solução não terá chegado e dependerá da capacidade de mobilização – e entendimento - pela defesa dos recursos hídricos.

## Sessão de autógrafos do livro “Couro”, de Arno Leandro Kayser

No dia 7 de novembro de 2013, ocorreu a sessão de autógrafos do romance “Couro”, de autoria do colega e escritor Arno Kayser, na 59ª. Feira do Livro de Porto Alegre. Segundo o autor, engenheiro agrônomo e chefe do Serviço de Licenciamento de Criações da FEPAM, a obra foi inspirada na proposta literária do “romance mural” de Osvald de Andrade. “Couro” é sua primeira experiência com ficção e traça um painel sobre os impactos da indústria coureiro-calçadista na vida no Vale do Sinos, no final do século vinte. Ele reúne diversos relatos sobre personagens anônimos, compondo um “mural” de pequenos flagrantes da vida daquele período. Além disso usa como fio condutor do enredo as várias conotações possíveis para o termo “couro”. De acordo com o autor, o que o motivou ao desafio de apresentar uma visão deste tempo (que, na sua opinião, foi muito rico de experiências humanas e em um momento de grandes transformações políticas, econômicas e sociais) é a inexistência de relatos específicos sobre o tema. O livro tem 80 histórias sobre este período dos anos 80. Todas inspiradas em fatos reais que ele testemunhou.

Na época, a região vivia o auge das exportações de calçados para os Estados Unidos e, como o autor trabalhava na prefeitura de Novo Hamburgo, pôde acompanhar diversos personagens em busca de riqueza e que tentaram a sorte na cidade, fugindo da monocultura da soja que crescia no interior do RS. No relato, ele lembra do choque cultural entre esse público e os descendentes de imigrantes alemães, numerosos na região.

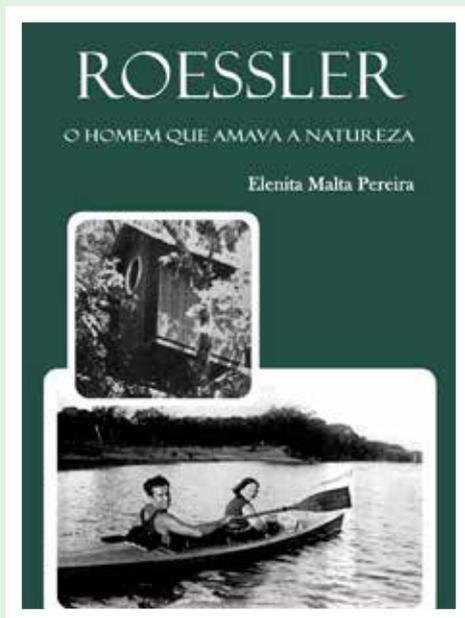
Arno Kayser colaborou na seção de Ecologia dos jornais NH e Folha de Novo Hamburgo, além de vários jornais e revistas do Brasil, dentre estes a Revista Mundo Jovem. É autor de textos teatrais infantis, livros de poesia, crônicas e roteiros para vídeos com ênfase na área ambiental, como “A Reconciliação com a Floresta”.

---

## Estímulo à pesquisa ambiental através de acordo de cooperação técnica

Em 16 de dezembro de 2013, foi assinado um Acordo de Cooperação Técnica entre a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler (FEPAM) e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), para o desenvolvimento de projetos de pesquisa na área de Geoquímica Ambiental. O Acordo tem por objetivo viabilizar análises de amostras de materiais geológicos, como sedimentos, solos e rochas, no Laboratório do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CPGq), onde a UFRGS disponibilizará instalações e equipamentos ao uso de pesquisadores da FEPAM. Além da capacitação de recursos humanos de ambas as Instituições, como produto final serão feitos também relatórios técnicos e publicações científicas para aplicação e referência. Espera-se, a partir da execução desse Acordo, uma amplificação do uso de materiais geológicos entre os dados necessários para embasar processos de licenciamento e de avaliação de áreas contaminadas, contribuindo, assim, para a melhoria da gestão ambiental no Rio Grande do Sul.

# bibliografia comentada



## Roessler: o homem que amava a natureza

A presente obra é a primeira biografia histórica de Henrique Luiz Roessler (1896-1963), um dos mais importantes agentes da proteção à natureza no Rio Grande do Sul antes da constituição de movimentos ecologistas no Estado. Fruto da dissertação de mestrado da autora, defendida na Universidade Federal do Rio Grande do Sul em 2011, o enfoque do livro se desdobra em dois eixos: a trajetória de Roessler e a memória construída sobre ele. No eixo da trajetória, o objetivo é, a partir da análise da produção escrita de Roessler, bem como de suas estratégias de atuação, acessar, além dos meandros de seu projeto pessoal, uma dimensão mais ampla, a saber, as ideias e práticas sobre a proteção à natureza no Rio Grande do Sul, nos anos 1930-60. No plano da memória, são analisados os elementos que possibilitaram a construção de uma memória que situou Roessler como precursor do movimento ambientalista/ecologista no Estado, através de suportes escritos e da construção de lugares de memória para homenageá-lo.

O livro se debruça sobre passagens da vida pessoal de Roessler, assim como das duas principais fases em que se divide sua atuação em prol da

natureza: de 1939 a 1954, quando ocupou os cargos federais de Delegado Florestal e Fiscal de Caça e Pesca e, de 1955 a 1963, como fundador e único presidente da União Protetora da Natureza (UPN), primeira entidade não governamental de proteção ambiental do Rio Grande do Sul. A trajetória pessoal e profissional de Roessler é abordada no sentido de compreender como seu projeto protecionista se desenvolveu no contexto em que estava inserido. Esse projeto recebeu apoio dos membros da rede de relações de Roessler, mas também foi alvo de fortes resistências. Na obra, são analisadas a fiscalização florestal e da caça e pesca no Estado, comandadas por ele como Delegado Florestal Regional, e os conflitos originados dessa fiscalização, especialmente os embates em torno da “passarinhada”. Também merecem atenção detalhada a criação (1955) e o funcionamento da UPN, onde Roessler desenvolveu um importante trabalho educativo-ambiental. Além disso, são objeto de análise as ideias presentes nos textos de Roessler (crônicas jornalísticas), palestras e nos cartazes educativos distribuídos pela UPN, com destaque para sua concepção de natureza, articulada a partir de um discurso nacionalista, educativo e sacralizante. Por fim, o enfoque recai sobre a construção das memórias a respeito de Roessler: ele mesmo já operava uma construção de si como “pioneiro do Serviço Florestal”, que é transformada por diversos agentes, após sua morte, em “pioneiro da ecologia” no Rio Grande do Sul. Apesar de diversos esforços na publicação de artigos, livros, proferimento de palestras, na organização de eventos comemorativos e na constituição de diversos lugares de memória para homenagear Roessler, há sempre a ameaça do esquecimento, por isso a necessidade dos agentes manterem-se vigilantes sobre a memória do “pioneiro”.

No plano teórico-metodológico, a obra se alicerça nos referenciais da biografia histórica e da história ambiental - campo de estudos relativamente recente (as primeiras obras datam do início dos anos 1970, nos Estados Unidos), que busca compreender a relação homem-natureza ao longo do tempo. Em diálogo com autores importantes de ambas as áreas, a obra investiga os motivos do interesse de Roessler pela proteção à natureza já nos anos 1930, sempre analisando a trajetória do personagem em interação com seu contexto social. Quem tiver interesse no livro e/ou quiser entrar em contato com a autora, por favor, escreva para o e-mail abaixo.

- ▶ PEREIRA, Elenita Malta. **Roessler: o homem que amava a natureza**. São Leopoldo: Oikos, 2013. 400 p. ISBN: 978-85-7843-332-1

Elenita Malta Pereira | Doutoranda em História na UFRGS | E-mail: elenitamalta@gmail.com

## Normas para apresentação de trabalhos Informações gerais

A Revista recebe contribuições de textos dentro das seguintes categorias de seções: Artigo Técnico, Revisão de Literatura, Comunicação Técnica, Relato de Experiências, Relato de Eventos, Bibliografia Comentada, Notícias Gerais, Legislação Ambiental, Tradução de Trabalho, Destaque Fotográfico, Almanaque Ambiental e Conversa com o Leitor. A elaboração das demais seções estará a cargo da Comissão Editorial.

### 1 Normas de apresentação para todas as categorias:

- 1.1- O estilo de redação deverá ser claro e coerente na exposição das idéias, observando-se o uso adequado da linguagem. Sugere-se ao autor que o trabalho passe por uma revisão gramatical antes de seu encaminhamento à Comissão Editorial da Revista.
- 1.2- Os trabalhos deverão ser digitados com o editor de texto Microsoft Word versão 6.0 ou superior.
- 1.3- Em folha anexa ao corpo do texto, deverá (ão) constar o(s) nome(s) completo(s) do(s) autor(es) (ou, se necessário, a forma preferencial de sua citação), seguido(s) do nome e local da instituição à qual está(ão) vinculado(s).
- 1.4- No caso de trabalho elaborado por vários autores, designar o autor principal para envio de correspondência, com endereço postal completo, telefone, fax e email.
- 1.5 - O autor principal é responsável por certificar-se de que todos os co-autores do manuscrito tenham aprovado a versão final do mesmo. Uma carta de encaminhamento do artigo deverá ser assinada por todos os autores, consentindo na publicação do trabalho, indicando seu número de CPF.
- 1.6 - É também responsabilidade do autor principal assegurar que os trabalhos tenham sido previamente aprovados pela(s) instituição(ões) de origem, quando houver.
- 1.7 - Todo o apoio e financiamento por instituições de fomento deverão ser citados.
- 1.8 - A FEPAM em Revista não se responsabiliza por incorreções no conteúdo científico do trabalho, sendo os autores responsáveis pelo mesmo.
- 1.9- Os trabalhos submetidos deverão ser inéditos e não deverão ter sido, simultaneamente, submetidos a qualquer outro periódico. No caso de desistência da publicação por parte dos autores, durante o processo de avaliação, essa deverá ser comunicada por escrito à Comissão Editorial. Após o recebimento dessa comunicação, será enviada uma confirmação de recebimento aos autores, encerrando-se, assim, o processo de avaliação da submissão.
- 1.10- Os autores concordam em ceder os direitos autorais dos conteúdos publicados à FEPAM em Revista.
- 1.11- Os títulos e subtítulos deverão estar em negrito e ter apenas a primeira letra da primeira palavra em maiúscula.
- 1.12- O texto deverá ser escrito em português, utilizado-se o tipo Times New Roman, com tamanho de fonte 12, espaço 1,5 entre linhas e parágrafos, alinhamento justificado, papel A4, páginas não numeradas, margens superior e inferior com 2,5 cm e margens esquerda e direita com 3,0 cm.
- 1.13- Palavras estrangeiras deverão ser citadas em itálico. Nomes científicos de espécies e substâncias químicas, bem como unidades de pesos e medidas, deverão obedecer às regras e padrões internacionais de nomenclatura.
- 1.14- As referências bibliográficas deverão estar de acordo com a NBR-6023 da ABNT, disponível na Biblioteca da FEPAM.
- 1.15 - Os editores reservam-se o direito de fazer adaptações na forma do texto, para manter a uniformidade da revista.
- 1.16- Os trabalhos deverão ser encaminhados por e-mail ou por CD-ROM para o endereço abaixo:

#### Comissão Editorial – FEPAM

Av. Borges de Medeiros, nº 261, 1º andar, Centro Histórico, CEP 90020-021 – Porto Alegre – RS  
e-mail: [comissaoeditorial@fepam.rs.gov.br](mailto:comissaoeditorial@fepam.rs.gov.br)

### 2 Normas para Artigo Técnico, Revisão de Literatura, Comunicação Técnica e Tradução de Trabalho:

A seleção dos trabalhos incluídos nas categorias acima será realizada pelos membros da Comissão Editorial, que decidirão sobre sua aceitação ou recusa, sem conhecimento de sua autoria (*blind review*). Tal prática assegura isenção, agilidade e objetividade do processo de seleção dos trabalhos. Os trabalhos aprovados serão revisados por dois pareceristas externos convidados e por membros da Comissão Editorial.

- 2.1- Extensão dos textos: Artigos Técnicos e de Revisão de Literatura deverão ter no mínimo 05 laudas e no máximo 12 laudas (tamanho A4). Comunicações Técnicas deverão ter no máximo 06 laudas e Traduções de Trabalho, no máximo, 10 laudas.
- 2.2- Título do artigo: em português e em inglês, deverá ser conciso, claro e expressar o conteúdo geral do artigo.
- 2.3- Resumo e Abstract: cada artigo deverá ser acompanhado de Resumo em português e Abstract em inglês, com extensão máxima de 200 palavras cada.
- 2.4- Palavras-chave: deverão ser fornecidas de três a cinco palavras-chave ou termos-chave em português e em inglês (*keywords*) visando à confecção de instrumentos de busca. A Comissão Editorial poderá, a seu critério, substituir ou acrescentar palavras-chave, as quais entenda pertinentes ao conteúdo apresentado e que possam melhor auxiliar na recuperação dos trabalhos.
- 2.5- A inclusão de ilustrações, gráficos, desenhos, quadros, tabelas, fotografias, etc. deverá se restringir ao necessário para o entendimento do texto. Esses elementos deverão estar localizados o mais próximo possível do trecho onde são mencionados e estar acompanhados de suas respectivas legendas ou títulos. Fotografias e demais imagens digitalizadas deverão, preferencialmente, estar em formato jpeg, ou bmp, ou tif, podendo ser apresentadas em arquivos separados, com a indicação de sua localização no trabalho. A dimensão máxima deverá ser de 14 x 23 cm.
- 2.6- Citações de até 03 (três) linhas deverão ser incluídas no texto entre aspas duplas. Citações com mais de 03 linhas deverão ser recuadas 04 cm a partir da margem, com recuo tamanho de fonte 10, espaçamento simples.
- 2.7- Corpo do texto: deverá ter uma estrutura lógica e sequencial de apresentação, sendo subdividido em subtítulos indicativos dos tópicos abordados. Dependendo do tipo de trabalho a ser relatado, isto é, experimental ou teórico, esse poderá ter uma das seguintes estruturas, respectivamente: (a) Introdução, Material e Métodos (ou Metodologia), Resultados, Discussão, Conclusões, Agradecimentos e Referências Bibliográficas; (b) Introdução, Considerações Teóricas, Conclusões e Referências Bibliográficas.

### 3 Normas para as demais seções:

- 3.1- Conversa com o Leitor: O texto poderá ser livre, não excedendo 300 palavras. O nome, a instituição e o e-mail do remetente deverão ser citados no final do texto. A Comissão Editorial reserva-se o direito de fazer adequações à gramática do texto, se necessário.
- 3.2- Notícias Gerais: Texto livre, objetivo e conciso, com cerca de 600 palavras e título, contendo informações precisas, com todas as indicações e referências necessárias à divulgação. O nome, a instituição e o e-mail do colaborador deverão ser citados no final do texto.
- 3.3- Bibliografia Comentada: O texto de cerca de 600 palavras deverá conter a referência completa da obra comentada, inclusive o ISBN ou ISSN e, se for o caso, o preço. O nome, a instituição e o e-mail do colaborador deverão ser citados no final do texto.
- 3.4- Relato de Experiências e Relato de Evento: Texto livre de cerca de até 1.500 palavras (03 laudas em formato A4), podendo ter ilustrações, citações e referências bibliográficas.
- 3.5- Legislação Ambiental: Texto livre de cerca de até 1.500 palavras (03 laudas A4) com a identificação da lei, decreto, resolução, portaria, etc., incluso no título. O corpo do texto deverá apresentar o comentário/explicação/análise e a referência completa do instrumento legal, isto é, seu número, data de publicação e local de acesso ao mesmo.
- 3.6- Almanaque Ambiental: Poesias e acrósticos poderão ter, no máximo, 25 linhas; ilustrações e desenhos deverão ser entregues conforme item 2.5; relatos de fatos curiosos relacionados às atividades de trabalho na FEPAM terão, no máximo, 600 palavras. Não serão aceitos trabalhos em que apareçam nomes de empresas ou pessoas, exceto a identificação do(a) autor(a).

Dúvidas sobre a adequação dos textos às normas da Revista serão dirimidas pela Comissão Editorial. As normas da Revista estão sujeitas a alterações. Solicita-se aos autores que se mantenham atualizados, acessando periodicamente este espaço na rede eletrônica da FEPAM: [www.fepam.rs.gov.br/fepamemrevista/](http://www.fepam.rs.gov.br/fepamemrevista/).

Informações sobre as funções, estrutura organizacional, procedimentos e documentos da FEPAM podem ser acessados em: [www.fepam.rs.gov.br](http://www.fepam.rs.gov.br).

#### PORTO ALEGRE

##### SEDE:

Av. Borges de Medeiros, nº 261, 1º andar, Centro Histórico  
Porto Alegre - RS - Brasil CEP: CEP 90020-021  
Fone (pabx): (51) 3288-9400  
Fax: (51) 3288-9423

##### Central de Atendimento ao Público

1º andar do Edifício Sede  
Fone: (51) 3288-9428 e 3288-9434  
Horário de atendimento: 09:00 - 12:00 h e 14:00 - 17:00 h

##### SEAMB - Serviço de Emergências Ambientais

Fone: (51) 3288-9457  
E-mail: [emergencia@fepam.rs.gov.br](mailto:emergencia@fepam.rs.gov.br)

#### LABORATÓRIOS:

##### DLAB - Divisão de Biologia e Serviço de Amostragem

Rua Salvador França, 1707 - Jardim Botânico  
Porto Alegre - RS - CEP: 90690-000  
Divisão de Biologia - Fone: (51) 3334-4583  
Serviço de Amostragem - Fone: (51) 3381-1599

##### DLAB - Divisão de Química

Rua Aurélio Porto, 37 - Partenon  
Porto Alegre - RS - CEP: 90620-090  
Fone: (51) 3226-5633

#### GERÊNCIAS REGIONAIS

##### Gerência Regional Metropolitana

Av. Borges de Medeiros, nº 261, 1º andar, Centro Histórico  
Porto Alegre - RS - Brasil CEP: CEP 90020-021  
Fone (pabx): (51) 3288-9400  
Fax: (51) 3288-9423

##### Gerência Regional da Campanha

Rua David Canabarro, nº 165  
Alegrete - RS - CEP: 97542-180  
Fone: (55) 3422-6028  
E-mail: [regional.alegrete@fepam.rs.gov.br](mailto:regional.alegrete@fepam.rs.gov.br)

##### Gerência Regional do Litoral Norte

Rua São João, nº 819, Tramandaí - RS - CEP: 95590-000  
Fone: (51) 3661-1685  
E-mail: [regional.litoralnorte@fepam.rs.gov.br](mailto:regional.litoralnorte@fepam.rs.gov.br)

##### Gerência Regional de Santa Cruz do Sul

Av. João Pessoa, nº 199,  
Santa Cruz do Sul - RS - CEP: 96815-770  
Fone: (51) 3711-6655  
E-mail: [santacruzdosul@fepam.rs.gov.br](mailto:santacruzdosul@fepam.rs.gov.br)

##### Gerência Regional Serra

Rua Alfredo Chaves, nº 998,  
Caxias do Sul - RS - CEP: 95020-460  
Fone: (54) 32148401  
Fax: (54) 3221-1296  
E-mail: [regional.caxias@fepam.rs.gov.br](mailto:regional.caxias@fepam.rs.gov.br)

##### Gerência Regional Sul em Rio Grande

Rua Marechal Floriano, nº 5 - 3º Andar  
Rio Grande - RS - CEP: 96200-380  
Fone: (53) 3232-9777  
E-mail: [regional.riogrande@fepam.rs.gov.br](mailto:regional.riogrande@fepam.rs.gov.br)

##### Gerência Regional Sul em Pelotas

Rua Barão de Santa Tecla, nº 469 - Sala 1  
Pelotas - RS - CEP: 96010-140  
Fone: (53) 3222-9172  
E-mail: [pelotas@fepam.rs.gov.br](mailto:pelotas@fepam.rs.gov.br)

##### Gerência Regional Central

Rua Roque Calage, nº 8 - 3º Andar  
Condomínio Edifício Roque Calage  
Santa Maria - RS - CEP: 97010-580  
Fone: (55) 3222-1648 e (55) 3225-3131  
E-mail: [regional.santamaria@fepam.rs.gov.br](mailto:regional.santamaria@fepam.rs.gov.br)

##### Gerência Regional Noroeste

Rua Armando Roos Haag, nº 44  
Santa Rosa - RS - CEP: 98900-000  
Fone: (55) 3512-6573 e (55) 3511-3624  
E-mail: [regional.santarosa@fepam.rs.gov.br](mailto:regional.santarosa@fepam.rs.gov.br)

##### Gerência Regional do Planalto

Rua 15 de Novembro, n 318  
Passo Fundo - RS - CEP: 99010-090  
Fone: (54) 3313-5393 Fax: (54) 3312-1641  
E-mail: [agpafu-defap@sema.rs.gov.br](mailto:agpafu-defap@sema.rs.gov.br)

Artigos	04	Atividade mutagênica em solos sob a influência de rejeitos de carvão
	11	Determinação das principais fontes emissoras de Hidrocarbonetos...
	19	Avaliação de metais em peixes do trecho inferior do rio dos Sinos, RS
	27	Determinação de BTEX no arroio Dilúvio em Porto Alegre, Rio Grande do Sul
	36	Comparação da qualidade do ar em dois municípios da Região Metropolitana...
	46	Área contaminada e mutagenicidade de solos...
Matéria Técnica	54	Logística Reversa de Medicamentos...
Relatos de Eventos	56	FEPAM e FZB/RS realizam a IX Jornada de Iniciação Científica...
	58	Contribuições à temática da sustentabilidade na gestão de resíduos sólidos...
	60	XIV Congresso Brasileiro de Geoquímica – Diamantina, MG
	61	II Seminário Sul-Brasileiro de Gerenciamento de Áreas Contaminadas
Notícias	62	
Bibliografia comentada	65	