

# Contaminantes Emergentes

No 51º CBQ, realizado em São Luís (9 a 13 de outubro de 2011), uma das palestras internacionais foi o tema “Contaminantes Emergentes – Desafios e Perspectivas”, cujo conferencista foi o pesquisador francês Jean-Louis Marty. A RQI publicou no número 733 uma matéria sobre essa palestra, que pode ser acessada por meio do link

<http://www.abq.org.br/rqi/2011/733/RQI-733-pagina8-Contaminantes-Emergentes.pdf>.

A importância deste tema na área de pesquisa e desenvolvimento é atestada pelo grande número de dissertações, teses, patentes e artigos publicados nos últimos anos. Por isso, a RQI aborda na matéria de capa deste número este assunto, oferecendo aos leitores uma ampla visão do problema ambiental que os contaminantes emergentes representam. Para isso, três pesquisadores foram convidados para expor um pouco de sua visão sobre os desafios e as perspectivas relativos a esse tema: Josino Costa Moreira e Eline Simões Gonçalves, ambos do Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana da Fundação Oswaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde Pública (FIOCRUZ/ENSP), e Magda Beretta, professora associada do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA. É coordenadora dos Laboratórios de Análise de Água e Efluentes, e Biotoxicologia do DEA/EP-UFBA, e do Grupo de pesquisa do CNPq Núcleo de Pesquisa em Engenharia Ambiental (NUPEA).

**RQI: O que se entende por contaminantes emergentes? Quais são as principais fontes desses contaminantes?**

**Josino e Eline:** Contaminantes ou poluentes emergentes são substâncias potencialmente tóxicas das quais os efeitos ou a presença no ambiente são ainda pouco conhecidos. Desta forma, esses contaminantes não estão incluídos em programas de monitoramento de rotina pelos órgãos de meio ambiente e saúde, e tampouco estão inseridos em normativas ou legislações de controle ambiental.

Como pode ser observado por esta definição, o termo “*emergente*” se refere à preocupação que estas substâncias têm trazido à luz dos novos conhecimentos adquiridos sobre seus impactos reais e potenciais à saúde humana e ambiental. Ou seja, engloba tanto substâncias que já vêm sendo utilizadas há tempos, como também novas substâncias decorrentes dos avanços tecnológicos.

Como exemplo podemos citar os ftalatos

vários pesticidas, compostos polihalogenados (policlorados, polifluorados e polibromados especialmente os éteres difenilpolibromados), medicamentos, cosméticos e outros produtos de uso pessoal, como mostrados na Tabela 1.

Estas substâncias têm sido introduzidas no ambiente em larga escala e, devido às suas propriedades físico-químicas, como persistência, volatilidade, lipofilicidade, etc. são amplamente distribuídas no ambiente e podem impactar a saúde ambiental por um período de tempo relativamente longo.

É importante entender que por “saúde ambiental” entendemos os aspectos da saúde humana, incluindo a qualidade de vida, que são determinados por fatores físicos, químicos, biológicos, sociais e psicossociais do ambiente, ou seja, engloba a teoria e a prática de avaliar, corrigir, controlar e prevenir a ação destes fatores que potencialmente podem afetar de forma negativa a

Tabela 1: Categorização de algumas substâncias poluentes emergentes

CLASSE DE SUBSTÂNCIAS	EXEMPLOS
<b>Fármacos</b>	
Antibióticos	Trimetoprim, eritromicina, lincomicina, sulfametazona
Analgésicos e drogas antiinflamatórias	Codeína, ibuprofeno, acetaminofeno, ácido acetilsalicílico, diclofenaco, fenoprofeno
Drogas psiquiátricas	Diazepan
Reguladores lipídicos	Bezafibrato, ácido clofibrato, ácido fenofibrato
β-Bloqueadores	Metoprolol, propranolol, timolol
Contrastes (raio X)	Iopromide, iopamidol, diatrizoate
<b>Esteróis e hormônios (contraceptivos)</b>	Estradiol, estrona, estriol, dietilestilbestrol
<b>Produtos de uso pessoal</b>	
Fragrâncias	nitropolicíclicos e macrocíclicos
Agentes de protetor solar	Benzofenona, cânfora metilbenzilideno
Repelentes	N,N-dietiltoluamida
<b>Antissépticos</b>	Triclosan, clorofeno
<b>Surfactantes</b>	Alquilfenol etoxilados, alquilfenóis (nonilfenol e octilfenol), alquilfenol carboxilados
<b>Retardantes de chama</b>	difenil éteres polibromados PBDEs), tetrabromo bisfenol A, Tris(2-cloroetil)fosfato
<b>Agentes e aditivos industriais</b>	Agentes quelantes (EDTA), sulfonatos aromáticos
<b>Aditivos de gasolina</b>	dialquiléteres, metil-t-butil éter (MTBE)
<b>Produtos de desinfecção</b>	Iodo-THMs, bromoácidos, bromoacetonitrilas, bromoaldeídos, cianoformaldeídos, bromatos, NDMA

Fonte: BARCELÓ, 2003

saúde das gerações presente e futura.

Destaque é dado nos possíveis efeitos sobre futuras gerações e isto justifica a importância que tem sido atribuída às substâncias capazes de aturem sobre o sistema endócrino (desreguladores endócrinos – *endocrine disruptors*).

Ou seja, a *emergência* é resultante dos avanços científicos nos procedimentos de monitoramento ambiental, no desenvolvimento de competência analítica que utiliza equipamentos cada vez mais sensíveis e no entendimento dos processos toxicológicos e ecotoxicológicos. Realmente, o desenvolvimento das técnicas analíticas vem possibilitando a determinação destas substâncias em matrizes ambientais e/ou biológicas em concentrações cada vez mais reduzidas (ng ou pg L<sup>-1</sup>). Uma excelente revisão dos aspectos analíticos utilizadas nestes estudos pode ser encontrada no artigo de Gros e colaboradores (2008).

É importante ressaltar que nosso conhecimento sobre os aspectos ecotoxicológicos da maioria das substâncias existentes ainda é muito

primário ou mesmo inexistente. Isto pode ser depreendido comparando-se o número aproximado de substâncias químicas conhecidas e documentadas, cerca de 28 milhões, com a percentagem daquelas que são reguladas por organismos nacionais e internacionais – cerca de 1%. Esta situação é crítica e resulta da diferença de tempo entre o desenvolvimento de novas substâncias e suas utilizações industriais e o conhecimento dos impactos das mesmas sobre a saúde ambiental, especialmente em longo prazo.

Existem várias fontes de emissão de contaminantes emergentes como emissões e rejeitos industriais, rejeitos urbanos, estações de tratamento e mesmo de desmonte de material contaminado.

Talvez a fonte mais importante seja o efluente das estações de tratamento de esgotos, por esta via, os contaminantes emergentes entram continuamente no ambiente aquático. E também o esgoto *in natura*, despejado diretamente nos corpos hídricos, situação bastante comum em nosso País. Neste aspecto, existem dois problemas a considerar: a ausência de rede coletora adequada e a eficiência do tratamento dos rejeitos domésticos ou industriais, que não é capaz de remover os contaminantes emergentes por completo.

Sendo assim, fica claro que a preocupação quanto à contaminação hídrica pelas mais diversas substâncias, principalmente aquelas que não se conhece os efeitos ecotoxicológicos, deve ser prevenida e/ou minimizada, em obediência ao princípio da precaução.

*No Brasil, o Princípio da Precaução tem seu fundamento na Política Nacional de Meio Ambiente (Lei 6.938, de 31/08/1981) e implica em uma ação antecipatória à ocorrência do dano ambiental, de forma que na ausência da certeza científica formal, a existência de um risco de um dano sério ou irreversível requer a implementação de medidas que possam prever este dano.* (<<http://www.ufrgs.br/bioetica/precau.htm>>, acessado em 10/09/11).



Outro fator limitante do conhecimento esta relacionado ao reduzido número de substâncias monitoradas (sem considerar a complexidade matricial). Isto faz com que em um universo bastante grande de substâncias sejam

priorizadas algumas e assim, perdem-se informações toxicológicas altamente relevantes como efeitos sinérgicos, aditivos, inibições etc., resultantes das interações entre as mesmas, inclusive, aquelas substâncias consideradas, “a priori”, não prioritárias. Como consequência, desprezamos os riscos à saúde ambiental causada por estas misturas de substâncias e favorecemos, cada vez mais, o aparecimento de novos “poluentes emergentes”.

**RQI: Quais são as regiões do mundo mais afetadas pelos contaminantes emergentes?**

**Josino e Eline:** De maneira geral, todo o globo terrestre sofre ameaças deste tipo de contaminantes. Eles são ubíquos. Entretanto nos países mais desenvolvidos, a consciência da população e os mecanismos de controle da poluição são mais eficientes do que nos países menos desenvolvidos, assim, depreende-se que os riscos maiores são encontrados nesses últimos, onde contribuem também inúmeros outros fatores (sócio-econômicos, culturais, etc). De um modo geral, as bacias hidrográficas situadas nas proximidades de áreas urbanas com alta densidade demográfica são mais susceptíveis de serem afetadas pela presença de contaminantes emergentes.

**RQI: Como situa o Brasil frente a esse problema?**

**Josino e Eline:** O primeiro estudo sobre contaminantes emergentes no Brasil foi realizado no Estado do Rio de Janeiro, em 1999, onde foi avaliada

a presença de resíduos de fármacos (diferentes antiinflamatórios, analgésicos e antilipêmicos) em água potável e rios de captação, como o rio Paraíba de Sul, na Baía de Guanabara e também, em afluentes e efluentes de ETEs, e em amostras de água fornecida para abastecimento público das cidades de Niterói, Resende, Três Rios e Campos (STUMPF *et al.*, 1999). Em geral, os compostos frequentemente detectados nas águas superficiais deste estudo foram o ácido clofíbrico, o diclofenaco e o naproxeno em concentrações máximas próximas a 200 ng L<sup>-1</sup>. Os demais compostos foram encontrados em concentrações abaixo ou próximas de 10 ng L<sup>-1</sup>.

Somente após 10 anos, um novo estudo sobre o mesmo tema foi realizado por Kuster e colaboradores (2009), quando foi detectada a presença de interferentes endócrinos como estrogênios, progestogênios, fitoestrogênios e suas formas conjugadas, em amostras dos rios Guandu, Paraíba do Sul e Macaé. Nas amostras analisadas, os compostos encontrados foram estriol-16-glucuronida, estradiol-17-glucoranida, estradiol-3-sulfato, estriol, daidzeína, coumestrol, genisteína e progesterona, em concentrações médias na faixa 0,72–170 ng L<sup>-1</sup>.

Recentemente, Gonçalves (2012) avaliou a presença de 35 fármacos de diferentes classes terapêuticas, cafeína e bisfenol-A em rios de diferentes escalas no Estado do Rio de Janeiro, inclusive, nos rios Guandu e Paraíba do Sul. Os resultados obtidos mostraram que nenhuma das 47 amostras analisadas estava livre da contaminação por esses compostos, sendo que o interferente endócrino bisfenol-A foi detectado em 96% das amostras analisadas em concentrações que variaram entre <9,7 a 31.700 ng L<sup>-1</sup>. Nestes três estudos, foram gerados dados pontuais, com apenas uma coleta. Ainda não há dados oriundos de monitoramentos em longo prazo, em que sejam avaliadas as variações sazonais desses compostos no ambiente e na água distribuída à população do Estado do Rio de Janeiro.



No Estado de São Paulo, estudos sobre essa temática vêm avançando. Atualmente, podem-se encontrar publicações provenientes do monitoramento de efluentes de estações de tratamento de esgoto, de mananciais de captação e da água tratada, todas do município de Campinas, quanto à ocorrência de fármacos e interferentes endócrinos, e alguns estudos de toxicidade (GHISELLI, 2006; MONTAGNER, 2007 e 2011; SODRÉ *et al.*, 2010).

A reduzida quantidade de trabalhos científicos realizados no país vai além do interesse científico ou dos órgãos do governo, mas envolve também a carência de pesquisadores especializados no tema, especialmente se considerarmos que a exigência de profissionais qualificados e investimentos na infraestrutura laboratorial, acreditação e no desenvolvimento e validação de métodos analíticos para a determinação de baixíssimas concentrações, como as observadas nas matrizes ambientais e biológicas.

Em realidade este ainda é um tema muito atraente para pesquisas, pois: (i) o desenvolvimento das técnicas analíticas, cada vez mais permitem a detecção de compostos em concentrações cada vez

mais baixas em matrizes de alta complexidade; (ii) o aumento da conscientização da opinião pública sobre a importância do monitoramento da qualidade ambiental (especialmente da qualidade da água) e sua preservação; (iii) o aumento da necessidade de reuso de alguns bens ambientais, como a água, que exige melhorias nos sistemas de tratamentos de esgoto e efluentes. Ademais, diante de tantos dados sobre a presença desse contaminantes e de seus efeitos aos seres humanos e principalmente aos organismos aquáticos, torna-se cada vez mais necessário a obtenção de informações sobre o destino desses compostos no meio ambiente. Entretanto sob o ponto de vista da vigilância ambiental, algumas destas substâncias têm restrições e limites legais, mas a maioria, não.

### **RQI: Porque o tratamento de efluentes contendo esses materiais é tão desafiador?**

**Josino e Eline:** A maioria destas substâncias é persistente, ou seja, não sofre degradação rápida quando submetida às condições ambientais e não são retidas ou degradadas sob as condições de tratamentos amplamente utilizadas. Pesquisas têm demonstrado que muitos desses compostos na

completamente removidos durante o tratamento convencional de efluentes, em especial os domésticos (GAGNÉ *et al.*, 2006; METCALFE *et al.*, 2003). Em alguns países, os efluentes de aterros sanitários são, inclusive, tratados conjuntamente com o esgoto doméstico, o que modifica a composição do efluente e afeta a eficiência dos processos. Contudo, em países onde a rede de coleta e o tratamento de esgoto atendem grande parte da população, são as Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) que podem promover a primeira e, provavelmente, a única oportunidade de remoção desses resíduos antes de chegarem aos ambientes aquáticos, o que torna importante a caracterização de seu destino nos sistemas de tratamento (KOSJEK *et al.*, 2007).

A maior parte dos estudos realizados sobre remoção de contaminantes emergentes nas ETEs tem focado principalmente a fase aquosa, sendo que a carga desses contaminantes na fase sólida é frequentemente negligenciada.

Assim, a ocorrência e a distribuição de contaminantes emergentes no lodo do esgoto demanda ainda investigações detalhadas, especialmente porque o esgoto digerido é disposto em aterros ou usado como fertilizantes na agricultura e esta representa uma outra entrada de contaminantes emergentes no ambiente.

Outro aspecto importante e que exige ainda informações mais apuradas, é o reúso de água tratada na ETE, já que está impõe-se como a solução mais adequada para o gerenciamento sustentável do ciclo da água. E como um dos problemas-chave na reciclagem de esgoto é o problema emergente dos micropoluentes como fármacos, hormônios, fragrâncias e produtos de uso pessoal, é de se esperar que tais informações sejam geradas dentro em breve.

Os requisitos a serem atingidos para o efluente de uma ETE existem em função de legislação específica, que prevê padrões de qualidade para o efluente e para o corpo receptor.

Assim, um dos desafios é a geração de dados robustos sobre o percentual de remoção de todo o sistema de tratamento e também dados de ecotoxicidade para fundamentar novas regulamentações especialmente para novos compostos, subprodutos, fármacos e demais contaminantes emergentes com relação ao tratamento da água e esgoto doméstico e industrial.

Ademais, já que as fontes de contaminantes emergentes não podem ser eliminadas em sua totalidade, processos de tratamento específicos precisam ser otimizados. Ozonização, radiação ultravioleta (UV), filtração por membrana, e adsorção por carbono ativado são tratamentos em potencial que poderiam promover uma efetiva remoção de contaminantes emergentes. Entretanto, a implementação destas técnicas podem aumentar o custo da estação de tratamento de esgoto.

Alternativamente, o entendimento do destino dos contaminantes emergentes nas ETEs pode render métodos baseados em um melhor gerenciamento ou menores modificações nas atuais ETEs.

A Tabela 2 (na página ao lado) apresenta os valores típicos de remoção de alguns poluentes emergentes presentes em esgoto doméstico em uma ETE.

Como podem ser observadas, as taxas de remoção de poluentes emergentes na ETE são informações importantes no levantamento de quais compostos estão chegando ao ambiente aquático.

Assim, diferentes métodos de tratamento e condições de operação em cada estação irão influenciar as concentrações encontradas no efluente final.

Desta forma, a avaliação da eficiência de cada etapa do tratamento (lagoa de aeração, sedimentação, lodo ativado, dentre outros) na remoção de poluentes emergentes se faz necessário para a elaboração de um modelo de entrada de poluentes emergentes para o ambiente a partir das ETEs.

Tabela 2: Concentração de poluentes emergentes em afluentes e efluentes em ETEs e eficiência de remoção no tratamento de esgotos

Composto	Afluente ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Efluente ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Remoção máxima (%)
<b>Analgésico/anti-inflamatório</b>			
Ácido Acetilsalicílico	3,2	0,6	81
Ácido Salicílico	57-330	0,05-3,6	99
Dextropoxifeno	0,03	0,06	0
Diclofenaco	0,33-3,0	0,17-2,5	0-75
Ibuprofeno	0,54-38,7	0-4	12-100
Ketoprofeno	0,41-5,7	0,008-2,3	8-100
Ácido Mefenâmico	0,20-3,2	0,34-2,3	0-50
Naproxeno	0,6-40,7	0-12,5	15-100
Paracetamol	6,9	0	100
<b><math>\beta</math>-bloqueadores</b>			
Metoprolol	-	-	0-83
Propranolol	70	304	0-96
Atenolol	-	-	< 10
<b>Antilipêmicos</b>			
Benzafibrato	0,4-2,6	0-0,8	15-100
Gemfibrozil	0,3-0,7	0,18-1,3	10-75
Ácido Clofibrato	0,15-1	0-0,88	0-91
<b>Compostos neuroativos</b>			
Carbamazepina	0,59-1,5	0,1-1,5	4-53
Diazepam	0,59-1,18	0,1-0,66	93
<b>Outros</b>			
Etinilestradiol	0,003	0,0004	85
Clotrimazole	0,031	0,14	55
Ifosfamida	0,007-0,029	0,010-0,043	0
Tamoxifeno	0,15	0,20	0
Contraste de raios x	0,18-7,5	0,14-8,1	0

Fonte: FENT *et al.* (2006)

**RQI: O que é mais difícil: tratar efluentes contendo contaminantes emergentes ou substituí-los por outras substâncias mais ambientalmente seguras, mantendo a qualidade do produto?**

**Josino e Eline:** Neste aspecto, que envolve a prevenção de potenciais efeitos à saúde humana, temos alguns aspectos a considerar: (i) o passivo ambiental, ou seja, a contaminação já existente; (ii) a educação do povo; (iii) e a substituição das substâncias reconhecidamente danosas por outras que não o sejam. Acredito que todos estes aspectos devem ser abordados simultaneamente.

O tratamento de efluentes ainda necessita o desenvolvimento de sistemas mais eficientes e de

baixo custo para ser acessível a todos, principalmente aos países pobres. O uso de vários tipos de tratamentos terciários e de nanotecnologia para suplantar os problemas atualmente existentes tem se despontado como importantes áreas de pesquisas para a sustentabilidade ambiental. Se considerarmos as condições díspares existentes no Brasil, esta área torna-se fundamental. A substituição envolve pesquisas aprofundadas sobre a ecotoxicologia das substâncias e dos produtos. Assim, uma etapa importante e que pode ser imediatamente iniciada é a educação, que exige primeiro pessoal qualificado para isto, e segundo, vontade política.

**RQI: Que exemplo ilustrativo poderia ser citado?**

**Josino e Eline:** Eis um exemplo concreto: a contaminação por difenil éteres polibromados (PBDEs). Os difeniléteres polibromados (PBDE) constituem uma família de substâncias químicas empregadas como retardantes de chama em plásticos, circuitos eletrônicos, têxteis etc. Esta família é constituída por 209 congêneres dos quais os mais abundantes são os penta, octa e deca-PBDEs.

Os PBDEs são lipofílicos, têm baixa pressão de vapor e coeficiente de partição octanol/água na faixa compreendida entre 5,9 e 10,0. São persistentes, têm baixa solubilidade em água e elevada afinidade para se ligar a material particulado (DE WIT, 2002).

O descarte de produtos eletroeletrônicos é uma das fontes importantes destes agentes tóxicos para o ambiente. Para se ter uma idéia da magnitude desta contaminação, estima-se que cada indivíduo nascido na Europa em 2003 produzirá cerca de 8 t de lixo eletroeletrônico durante sua vida, e atualmente são produzidos cerca de 9 milhões de t deste lixo. Uma estimativa feita nos Estados Unidos mostra que existe um potencial de 747 milhões de itens eletroeletrônicos representando cerca de 13 milhões de toneladas métricas (OGUNSEITAN *et al.*, 2009).

Atualmente estas substâncias são encontradas em todos os ambientes terrestres como resultado da migração que resulta da disposição final dos produtos que as contêm e de suas lixiviação e dispersão.

Suas características físico-químicas favorecem a biomagnificação ao longo da cadeia alimentar. De fato, fatores de bioconcentração da ordem de 1.400.000 tem sido encontrados em mexilhões assim como a biomagnificação que tem sido relatada em peixes (GUSTAVSON *et al.*, 1999, BUREAU *et al.*, 2000). Devido a suas características e a grande dispersão ambiental, esta família de substâncias já foi identificada em mamíferos e inclusive no homem. Trabalho realizado na Alemanha mostra que entre 1985 e 1999 a concentração média de PBDEs no sangue humano da população residente naquele País aumentou de cerca de 3,1 para 4,7 ng g<sup>-1</sup> lipídios (SCHROTER-KERMANI *et al.*, 2000).

Recentemente, um estudo realizado nos Estados Unidos mostrou que 70% das 303 amostras de leite humano analisadas estavam contaminadas principalmente com os congêneres BDEs 28, 47, 99, 100 e 153. As concentrações encontradas variaram desde o limite de detecção do método analítico utilizado até 1430 ng g<sup>-1</sup> de lipídios, com uma mediana de 28 ng g<sup>-1</sup> lipídio (DANIELS *et al.*, 2010). Estes dados confirmam a ampla distribuição destas substâncias no planeta e a contaminação humana resultante desta exposição, embora muito pouco se saiba da situação brasileira tanto do ponto de vista ambiental quanto biológico.

Do ponto de vista toxicológico, embora as consequências da exposição ambiental a estas substâncias na saúde humana ainda sejam pouco conhecidas, estudos têm reportado interferência dos PBDEs na homeostase dos hormônios tireoidianos, como a tiroxina, que participa na regulação da velocidade metabólica, no metabolismo de carboidratos, proteínas e lipídeos e na oxigenação dos tecidos (HOOPER E MCDONALD, 2000). Esses

hormônios são importantes no desenvolvimento normal do cérebro.

Os principais alvos da toxicidade dos PBDEs são o fígado, a tireóide e os sistemas reprodutivo e nervoso. Muitos estudos têm relatado associação positiva entre PBDEs e hipertireoidismo clínico ou subclínico e alguns derivados hidroxilados dos PBDEs podem se ligar aos receptores tireoidianos alfa1 e beta e inibirem a liberação de TSH (DARNERUD, 2008, CONTAM, 2011). Estudos recentes têm demonstrado atividade carcinogênica destas substâncias relacionadas com cânceres de seio, ovário e cervical (LI *et al.*, 2012) bem como efeitos sobre o neurodesenvolvimento de crianças expostas (HERBTSMAN *et al.*, 2012).

De fato, pesquisas em roedores mostram que a exposição pré-natal pode causar problemas de aprendizado e de comportamento que persistem mesmo na vida adulta (DANIELS *et al.*, 2010). Em virtude de seus efeitos toxicológicos, a produção e o uso de formulações contendo PBDEs foi proibida na Europa e o de formulações contendo penta e octaBDE, no Estados Unidos. Entretanto mesmo com estas proibições estas substâncias continuam a contaminarem o ambiente através de sua liberação dos produtos ainda em uso e daqueles dispostos em depósitos de lixo (BARCELÓ *et al.* 2011).

A via ambiental é a principal via de exposição direta a estas substâncias. A contaminação dos segmentos ambientais, a persistência e a capacidade de biomagnificação ao longo da cadeia alimentar destes agentes tóxicos fazem com que a via digestiva seja outra via importante.

Devido à sua distribuição ubíqua e aos potenciais efeitos que estas substâncias podem ter sobre os organismos vivos, inclusive o homem, o desenvolvimento de metodologias simples, baratas e de ampla aplicação para suas degradações são extremamente necessárias.

O problema ambiental está criado; resta-nos o encargo de como resolvê-lo, que certamente passará para as novas gerações de químicos.

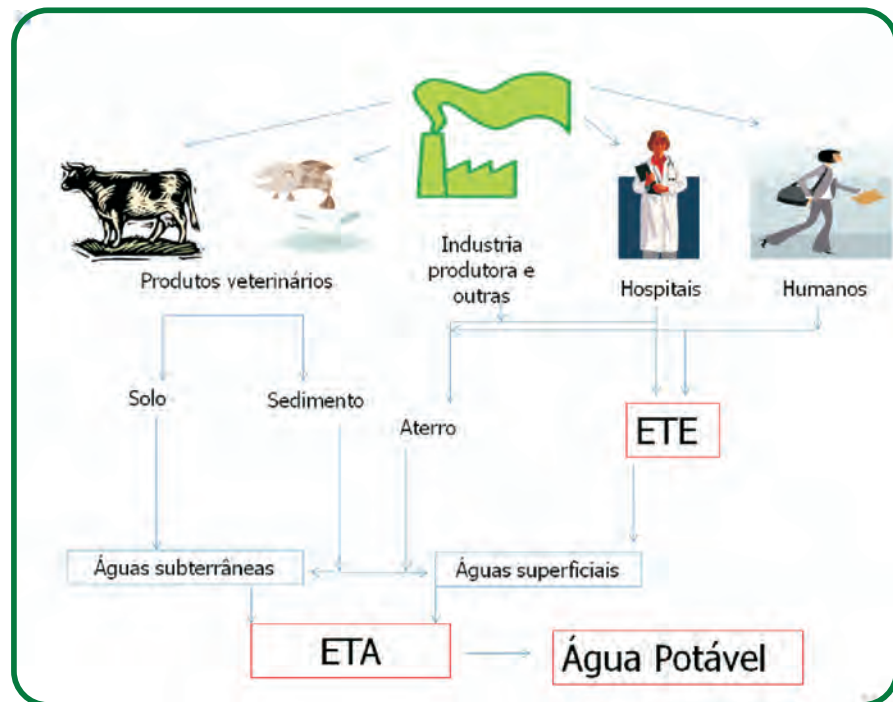


Figura 1: Rotas de circulação de fármacos no ambiente

**RQI: O que se entende por contaminantes emergentes? Quais são as principais fontes desses contaminantes?**

**Magda:** O que caracteriza os contaminantes emergentes é que ainda não estão especificados em legislações e o conhecimento sobre eles, tais como formas de contaminação, rotas, matrizes ambientais e remoções ainda é escasso. A descoberta destes compostos no meio ambiente se tornou possível através da evolução de equipamentos de amostragem e análises, pois estão presentes em concentrações na faixa de ppb ( $\mu\text{g L}^{-1}$  ou  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) e ppt ( $\text{ng L}^{-1}$  ou  $\text{ng kg}^{-1}$ ). Alguns deles se comportam como disruptores endócrinos, provocando alterações no sistema endócrino humano e têm sido constantemente encontrado nas amostras de águas superficiais, sedimentos, biota, efluentes e mesmo em água potável.

Os principais grupos a que pertencem estes compostos são:

- 1) Fármacos (analgésicos, anti-inflamatórios, antibióticos, etc.);
- 2) Produtos de cuidado pessoal (fragrâncias, bronzeadores, etc.);
- 3) Produtos químicos industriais (bisfenol-A, alquilfenóis, etc.), bem como seus produtos de

degradação e metabólitos.

Eles são lançados no ambiente a partir de várias rotas, e uma vez presentes nos corpos hídricos podem aparecer em pequenas concentrações na água tratada (potável). Isto acontece porque as estações de tratamento de efluentes e de água não conseguem remover de forma eficiente estas substâncias.

A figura 1 ilustra as possíveis rotas, de um grupo destes compostos, os fármacos, no ambiente.

Os fármacos têm se apresentado como poluentes de difícil remoção em efluentes e águas, e são consumidos tanto pelos seres humanos quanto por animais através dos usos veterinários, em quantidades significativas.

Os medicamentos ingeridos por via oral ou parenteral sofrem reações químicas no organismo e são excretados através da urina e das fezes.

A eliminação pode ser feita por compostos livres, conjugados ou através de seus metabólitos.

**RQI: Quais são as regiões do mundo mais afetadas pelos contaminantes emergentes?**

**Magda:** Praticamente todas. A extensa utilização de novos produtos químicos e de medicamentos



propicia o aparecimento destes contaminantes em qualquer região que apresente alguma atividade antrópica.

**RQI: Como situa o Brasil frente a esse problema?**

**Magda:** Para se ter uma visão próxima da realidade são necessários extensos estudos para elaboração de um diagnóstico mais preciso. Existem alguns trabalhos já realizados no país, e todos indicam que os compartimentos ambientais analisados apresentam concentrações residuais destes compostos, inclusive água potável.



FOTO: FAPESP

Poluição em água potável

**RQI: Porque o tratamento de efluentes contendo esses materiais é tão desafiador?**

**Magda:** Todas estas substâncias compõem um grupo muito heterogêneo em relação às suas propriedades físico-químicas, e isto dificulta a adoção de técnicas de tratamento que consigam remover com eficiência a maioria destes compostos.

O sistema de tratamento de esgoto consiste em: tratamento preliminar para remoção de sólidos grosseiros, tratamento primário com o objetivo de remover sólidos sedimentáveis e consequentemente parte da matéria orgânica, tratamento secundário para remoção de matéria orgânica e eventuais nutrientes através de mecanismos biológicos, e tratamento terciário que objetiva remover poluentes tóxicos, compostos não biodegradáveis ou então nutrientes não eliminados no tratamento secundário. Porém a maioria das

estações de tratamento de esgoto no Brasil dispõem somente de tratamento preliminar, ou preliminar com primário e lançam os seus dejetos em rios ou no mar.

A Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/11 (potabilidade da água), a Resolução CONAMA 357/05 (padrões de classificação de corpos de água), e a Resolução CONAMA 430/11 (lançamento de efluentes), não dispõem de valores limites sobre estes contaminantes.

Portanto, a preocupação está na possibilidade da remoção ineficiente destes compostos no tratamento de águas naturais para abastecimento humano, bem como o impacto na biota aquática.

**RQI: O que é mais difícil: tratar efluentes contendo contaminantes emergentes ou substituí-los por outras substâncias mais ambientalmente seguras, mantendo a qualidade do produto?**

**Magda:** A lista de contaminantes presentes no ambiente é imensa, e pensar em substituir todos é quase impossível.

Por exemplo, a problemática associada com a poluição das águas pelos compostos farmacêuticos se diferencia de outras substâncias de origem antropópica (por exemplo, pesticidas), pois neste caso a proibição da sua produção ou consumo não é uma solução viável devido a que os medicamentos são destinados a melhorar a saúde humana, um ponto que até hoje na nossa sociedade, tem prioridade em relação aos cuidados e preservação do meio ambiente. Por conseguinte, as principais linhas de ação para atenuar possíveis efeitos adversos causados com a presença de fármacos no ambiente devem incluir:

- a) Os processos sociais, tais como tentar sensibilizar a sociedade, de que os medicamentos devem ser utilizados de forma racional e que os que não forem utilizados devem ter o destino adequado através de pontos de recolha específicos;
- b) Melhorias na composição dos medicamentos,

para tentar substituir os ingredientes ativos menos agressivos ao meio ambiente e satisfazendo doses de modo que a fração excretada após ingestão seja mínima;

c) Otimização de tecnologia e de funcionamento de ETAs,

Temos que levar em conta a presença desses compostos quando do planejamento do projeto.

Diretrizes semelhantes devem ser elaboradas para solucionar o problema relacionado à presença dos outros contaminantes emergentes.

Para finalizar gostaria de citar trechos da tese de Ana Lúcia Silva (Tese de doutorado, USP – Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2009), que refletem nossos desafios em relação a este tema:

> “De tudo que foi exposto conclui-se que a detecção e a determinação da ação destas substâncias constituem-se em um pequeno detalhe dentro da complexidade inerente à problemática dos contaminantes emergentes e as ações que se fazem necessárias para a busca da solução deste tipo de poluição.”

> “O tema traz um imenso desafio e uma grande oportunidade: a de evoluir das atuais ações relacionadas ao meio ambiente, saindo de um modelo cartesiano, responsivo e reativo para outro que seja preventivo e prime pela parceria entre os vários atores da sociedade.”

> “A reversão deste quadro se dará a partir de outras iniciativas, incluindo a sociedade, que evoluam da realidade regional para a global, dentro de visão multidisciplinar, com ética ambiental e transformação do próprio homem.”

#### Referências

- BARCELÓ (2003). *Trac-Trends in Analytical Chemistry*, v.22(10), p. XIV-XVI..
- BARCELÓ et al. (2011). *Trac-Trends in Analytical Chemistry*, v. 30(6), 842-848.
- BURREAU et al. (2000), *Organohalogen Compounds*, 47, 253-255.
- CONTAM, (2011). *EFSA Journal*. v. 9(5), 2156, p. 1- 268.
- DANIELS et al. (2010) *Environmental Health Perspective*, v. 118(1), p. 155.

- DARNERUD (2008). *International Journal Andrology*, v. 31, p. 152-60.
- DE WIT (2002). *Chemosphere*, v. 46, p. 583–624.
- FENT, WESTON, E CAMINADA (2006). *Aquatic Toxicology*, v. 76, p.122-159.
- GAGNÉ, BLAISE E ANDRE (2006). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.64(3), p.329-336.
- GHISELLI, G. Avaliação da Qualidade das Águas Destinadas ao Abastecimento Público na Região de Campinas: Ocorrência e Determinação dos Interferentes Endócrinos (IE) e Produtos Farmacêuticos e de Higiene Pessoal (PFHP). Campinas, 2006. 181 f. (Tese de Doutorado em Química Analítica). Universidade de Campinas.
- GONÇALVES, E. S. Ocorrência e distribuição de fármacos, cafeína e bisfenol-A em alguns corpos hídricos no Estado do Rio de Janeiro. Niterói, RJ, 2012, 203 f. (Tese de Doutorado em Geoquímica Ambiental). Universidade Federal Fluminense.
- GROS, PETROVIC e BARCELÓ (2008). Analysis of Emerging Contaminants of Municipal and Industrial Origin, *Hdb Env Chem* (5), Part S/1: 37–104, disponível online.
- GUSTAVSON et al. (1999). *Environmental Toxicology Chemistry*, v. 18, p. 1218-22.
- Hooper e McDonald (2000). *Environmental Health Perspectives*, v. 108(5), p. 387 – 392.
- KOSJEK et al. (2007). *Trac-Trends in Analytical Chemistry*, v.26(11), p.1076-1085.
- KUSTER et al. (2009). *Environmental International*, n. 35, p. 997-1003.
- LI et al. (2012). *Environmental Health Perspectives*, v. 118(5), p. 1075-1079.
- METCALFE et al. (2003). *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 22(12), p.2881-2889.
- MONTAGNER & JARDIM (2011). *Journal of Brazilian Chemistry Society*, v. 22(8), p. 1452-1462.
- MONTAGNER, C. Ocorrência de interferentes endócrinos e produtos farmacêuticos nas águas superficiais da bacia do rio Atibaia. Campinas, 2007. 108 f. (Mestrado em Química Analítica) Universidade de Campinas.
- OGUSEITAM et al. (2009). *Science*, v. 326, p. 670-671.
- SCHROTER-KERMANI et al. (2000). *Organohalogen Compounds*, v.47, p. antrevis49-52.
- SODRÉ et al. (2010). *Microchemical Journal*, v. 96, p. 92-98.
- STUMPF et al. (1999). *The Science of the Total Environment*, v. 225, p. 135-141.

**Nota do editor:** os entrevistados podem ser contatados pelos seguintes meios:

**Josino Costa Moreira:**

Tel.: 21 2598-2968. E-mail: josinocm@fiocruz.br

**Eline Simões Gonçalves:**

Tel.: 21 2598-2967. E-mail: elinesg@ensp.fiocruz.br

**Magda Beretta:** E-mail: mberetta@ufba.br