

## Artigo

## Dos Predadores Pré-Históricos aos Contaminantes Emergentes Atuais: Uma História de Ameaças à Humanidade

Martins, J. R. S.; Montagner, C. C.\*

Rev. Virtual Quim., 2018, 10 (6), 1719-1732. Data de publicação na Web: 3 de dezembro de 2018

<http://rvq.sbq.org.br>

### From Prehistoric Predators to Current Emerging Contaminants: A History of Threats to Humanity

**Abstract:** How many are the fears? In the Neolithic, great animals caused fear; using rocky artifacts, we learn to defend ourselves and hunt them. With the passing of time and the advance of Science, we learned that microorganisms could cause diseases, sometimes fatal. Vaccines and remedies then came to play the same role as prehistoric artifacts. Nowadays, it is known that molecules of pollutants, even smaller in size than microorganisms, can be lethal, depending on the concentration and toxicity of a given organism. This paper articulates facts and attempts to reveal how important it is to be prepared to deal with the causative agents of acute or chronic diseases and to understand the role of emerging contaminants in the world today and in the future, with a view to implementing strategies to remove them or - ideally - to eliminate them the environment. Based on the analysis of historical cases, it proposes a new attitude to the challenges imposed in the world today, by suggesting short, medium and long terms strategies to avoid contamination of important water resources and to improve people's living conditions.

**Keywords:** Water resources; emerging contaminants; treats to humanity.

### Resumo

Quantos são os medos? No neolítico, os grandes animais causavam medo; utilizando artefatos rochosos, aprendemos a nos defender deles e a caçá-los. Com o passar do tempo e o avanço da Ciência, aprendemos que microrganismos podiam provocar doenças, às vezes fatais. Vacinas e remédios passaram então a desempenhar a mesma função dos artefatos pré-históricos. Nos dias atuais, sabe-se que moléculas de poluentes, com dimensões ainda menores que microrganismos, podem ser letais, a depender da quantidade e da toxicidade apresentada por determinado organismo. Esse artigo articula fatos e tenta revelar quão importante é estarmos preparados para enfrentar os agentes causadores de doenças agudas ou crônicas, e entendermos o papel dos contaminantes emergentes no mundo atual e futuro, visando implementar estratégias para removê-los ou – idealmente – eliminá-los do ambiente. A partir da análise de casos históricos, propõe-se uma nova atitude frente aos desafios impostos no mundo atual, ao sugerir estratégias de curto, médio e longo prazo para evitar a contaminação de importantes recursos hídricos e possibilitar melhores condições de vida às pessoas.

**Palavras-chave:** Recursos hídricos; contaminantes emergentes; ameaças à humanidade.

\* Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Departamento de Química Analítica, Rua Josué de Camargo, 126, CEP 13083-861, Campinas-SP, Brasil.

✉ [montagner@iqm.unicamp.br](mailto:montagner@iqm.unicamp.br)

DOI: [10.21577/1984-6835.20180115](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20180115)

## Dos Predadores Pré-Históricos aos Contaminantes Emergentes Atuais: Uma História de Ameaças à Humanidade

José Roberto Serra Martins, Cassiana Carolina Montagner\*

Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Química Analítica, Laboratório de  
Química Ambiental, CEP 13083-861, Campinas-SP, Brasil

\* [montagner@iqm.unicamp.br](mailto:montagner@iqm.unicamp.br)

*Recebido em 30 de outubro de 2018. Aceito para publicação em 30 de outubro de 2018*

1. Introdução
2. Retrocedendo no Tempo
3. Retrocedendo no Tamanho, em Nível Macroscópico
4. Retrocedendo no Tamanho, em Nível Microscópico
  - 4.1. Visível ao microscópio óptico
  - 4.2. Visível ao microscópio eletrônico
5. Retrocedendo no Tamanho, em Nível Molecular
  - 5.1. Contaminações agudas
  - 5.2. Contaminações crônicas
  - 5.3. Contaminantes emergentes
6. Considerações Finais

### 1. Introdução

---

O surgimento, evolução e atuação da espécie humana pode, *grosso modo*, explicar (ou possibilitar uma explicação) sobre uma série de transformações ocorridas em nosso ambiente natural, ao longo do último um milhão de anos. Apesar das espécies químicas existirem desde os primórdios dos tempos, pode-se sugerir a existência de uma Química relacionada Antropoceno. No entender de Crutzen e Stoemer, a humanidade desempenha relevante papel sobre a ecologia e a geologia do planeta, constituindo

importante agente de transformação do equilíbrio biogeoquímico, ao competir com as forças naturais, no impacto e na modificação do Sistema Terra.<sup>1</sup>

É possível sugerir no Antropoceno relações entre o modo de atuação do *Homo sapiens* sobre a matéria e consequências desta: da retirada de recursos naturais para além dos limites da sustentabilidade ao descarte indevido, passando pelo excesso de consumo de bens e serviços. Muitos da nossa espécie agem como – e defendem que – os recursos são praticamente infinitos. Alegam que sempre haverá uma solução para a escassez de recursos, e que esta não pode afetar o

modo de vida das pessoas, mesmo que isso acarrete em drástica redução de recursos naturais. Não há o que temer?

Medo de estar sozinho, de morrer ou, como diria o poeta Vinícius de Moraes, “*de renascer dentro da treva*”.<sup>2</sup> Quantos são os medos? No neolítico, temiam-se os grandes animais; utilizando artefatos rochosos, aprendemos a nos defender deles e a caçá-los. Com o passar do tempo e com o avanço da Ciência, aprendemos que microrganismos podem provocar doenças, às vezes fatais. Respeitadas as devidas especificidades históricas, vacinas e remédios passaram então a desempenhar, como instrumentos de proteção, função análoga aos artefatos pré-históricos usados na defesa contra predadores: com eles, podemos nos defender e eliminar os agentes patogênicos.

Nos dias atuais, sabe-se que moléculas de poluentes, com dimensões ainda menores que microrganismos, podem ser letais. Seriam os contaminantes emergentes (CE), devido, por exemplo, à sua capacidade de ação nos sistemas endócrinos e neurológicos de animais e seres humanos, substâncias dessa natureza? Que tipos de problemas podem estar associados aos CE?

Esse artigo articula fatos e tenta revelar a importância em se pesquisar sobre contaminantes emergentes e implementar estratégias para combater os problemas que causam (ou podem vir a causar), bem como enfrentar os agentes causadores de doenças agudas ou crônicas. A partir da análise de casos históricos, propõe-se uma nova atitude frente aos desafios impostos no mundo atual, ao sugerir estratégias de curto, médio e longo prazo para evitar a contaminação de importantes recursos hídricos e possibilitar melhores condições de vida às pessoas.

## 2. Retrocedendo no Tempo

Recuando no tempo, podemos imaginar que o cotidiano dos indivíduos pré-históricos não era fácil. O medo do desconhecido – fogo, raios e trovões, ventanias e vulcões, só para

citar alguns exemplos – se somava ao temor causado pelo encontro com predadores de grande tamanho e força, como os felinos.

No que diz respeito ao medo da morte, Childe asseverava que os homens pré-históricos,<sup>3</sup> ao salpicar os corpos dos mortos com ocre vermelho, tentavam devolver ao corpo sem vida o calor perdido. Para Braidwood,<sup>4</sup> esse fato constituía “*uma prova segura de que aquelas pessoas já se impressionavam com [e temiam a] morte*”.

Documentários, como o *Before we ruled the Earth*,<sup>5</sup> e autores, como Braidwood e Clark,<sup>4,6</sup> sugerem que os primeiros hominídeos dificilmente caçavam, alimentando-se de plantas coletadas ou de restos de carcaças deixadas pelos predadores. Klein e Edgar,<sup>7</sup> entretanto, mostram que os ossos mais nutritivos, por apresentarem somente marcas deixadas por ferramentas líticas, sugerem que os hominídeos, mesmo não sendo responsáveis pelo abate de uma presa, se apossava dela antes que outros animais o fizessem.

Para melhor aproveitar a carne e o tutano, os hominídeos utilizavam ferramentas líticas obtidas de lascas ou de núcleos de rocha. Inicialmente percutidos em um único lado (característico da tradição olduvaiense arcaica), esses artefatos passaram a serem entalhados em ambas as faces e a sofrer retoques grosseiros (tal como na tradição olduvaiense tardia).

Segundo Lepre *et al.*,<sup>8</sup> no sítio Kokiselei 4 (formação Nachukui, Quênia) estão presentes artefatos – datados de 1,76 milhões de anos antes do presente por comparação com a das cinzas vulcânicas presente ao estrato que ladeava os objetos encontrados – das tradições olduvaiense (na qual os mesmos artefatos apresentam perfil irregular, sendo denominados proto-bifaces) e acheuliense (na qual os bifaces líticos passaram a apresentar perfil muito regular), sugerindo que a utilização de artefatos da tradição acheuliense não excluía a possibilidade de utilização de artefatos olduvaienses, e que estes, obrigatoriamente, não representariam uma evolução direta daqueles.

Portanto, duas alternativas seriam possíveis: ou o *Homo erectus* esculpiu ferramentas líticas utilizando técnicas associadas à tradição acheulense e, talvez, à olduvaiense em Kokiselei; ou os artefatos líticos foram importados de outro local (não identificado), tendo sido esculpidos (e abandonados) por homínídeos pertencentes à tradição olduvaiense. Escavações realizadas na Formação Ubeidiya (Israel), recuperaram artefatos semelhantes aos do Quênia, possivelmente feitos pelo *Homo erectus*.<sup>9</sup>

Para Braidwood,<sup>4</sup> artefatos de núcleo, como os ‘machados de mão’, se tornaram mais delgados, de entalhe mais refinado, com bordo cortante mais reto e mais regular, com o passar do tempo. Para Klein e Edgar essas mudanças poderiam estar associadas à ampliação da capacidade cognitiva do gênero *Homo*,<sup>7</sup> provocada pelo aumento do volume endocrânio, associado a uma mudança da frequência gênica, que se mostrou evolutivamente vantajosa.

Apesar de saber que artefatos de núcleo, como talhadeiras e raspadeiras, rasgavam a pele dos animais, o homínídeo pré-histórico estava diante de um dilema: como se aproximar o suficiente de animais de grande porte para utilizar os artefatos líticos sem ser atacado?

Após dominar a técnica de entalhe, os homínídeos reduziram o tamanho dos artefatos líticos e, em seguida, fixaram-nos em hastes que lhes permitiam o ataque a uma distância segura. Assim, pontas líticas (feitas de lascas de sílex, por exemplo) afiadas de ambos os lados podiam ser adaptadas a hastes longas (lanças) ou curtas (flechas).

O empoderamento tecnológico, no que tange à construção de ferramentas e iniciado no neolítico, transformou homínídeos em predadores.<sup>10</sup> O desenvolvimento das técnicas de caça e o uso dos artefatos, que lhes conferiam poder, fez com que os indivíduos pré-históricos caçassem animais maiores e, muitas vezes, mais fortes que eles. O medo de ser morto por um animal parecia estar com os dias contados. Mas não era bem assim.

### 3. Retrocedendo no Tamanho, em Nível Macroscópico

---

Indivíduos pré-históricos conviviam com animais de menor porte que o seu<sup>4,5</sup>. A experiência cotidiana os ensinou que alguns destes animais podiam causar graves ferimentos<sup>3,6</sup> ou a morte, ou seja, o risco de morte não dependia diretamente do tamanho do predador!<sup>7</sup>

Analisando robusto conjunto de evidências, pesquisas históricas e arqueológicas, podemos dizer que os indivíduos pré-históricos não levavam vida fácil. Para se proteger das intempéries naturais, eles utilizavam, sempre que possível, pequenas grutas ou cavernas, comumente frequentadas por animais peçonhentos, como escorpiões e cobras. Por essa razão, crê-se que acidentes envolvendo estes animais podiam ser frequentes.

Em princípio, os homínídeos – munidos de ferramentas líticas – deviam enfrentá-los com a intenção de conseguir algum espaço. O domínio e a descoberta da produção do fogo permitiram-lhes uma melhor vivência à noite, propiciando mais segurança nas caçadas e nos acampamentos. O domínio do fogo foi relevante para a passagem da alimentação crua para a alimentação cozida, com importantes repercussões no organismo durante o processo de hominização, como a redução dos maxilares e modificação da caixa craniana.

Com o advento da agricultura e da pecuária, os indivíduos se tornaram sedentários. A construção das primeiras habitações, a reunião de famílias em grupos sociais ainda mais numerosos, a divisão do trabalho e a domesticação de animais e culturas agrícolas possibilitaram a formação dos primeiros núcleos habitacionais, e, muito depois, de cidades.

Destaque-se o fato da neolitização – transformação das paisagens pela ação humana – influenciou sobremaneira na transformação do universo imaginário (como,

por exemplo, na gênese das cosmologias) e no surgimento de hierarquias sociais mais complexas, uma vez que rituais e interpretações cosmológicas eram feitas quase que exclusivamente por sacerdotes.

O aumento do número de pessoas convivendo em um mesmo local e em condições ambientais pouco favoráveis (estiagens, invernos longos e frios, por exemplo) fez com que os grupos humanos passassem a estocar alimentos. Essa fartura de comida atraiu animais de pequeno porte. Por não apresentarem qualquer tipo de risco imediato, animais de pequeno porte – como roedores – passaram a ser tolerados no convívio com humanos.

A acumulação de lixo e o excesso de comida mal estocada criavam condições ótimas nestes locais para o aumento da população dos roedores. Na época, não se sabia que esses animais poderiam representar vetores de doenças letais aos humanos, causadas por seres ainda menores: os microrganismos.

## 4. Retrocedendo no Tamanho, em Nível Microscópico

### 4.1. Visível ao microscópio óptico

Entre os exemplos de doenças que ceifaram muitos milhares de vidas, pode-se citar o cólera (causado pelo *Vibrio cholerae*, bactérias presentes em alimentos ou na água contaminada) e as doenças associadas aos roedores, como a *peste negra* (causada pela *Yersinia pestis*, bactérias transmitidas aos humanos pelas pulgas presentes na pelagem de roedores) e a *leptospirose* (causada pela *Leptospira interrogans*, que podem ser transmitidas à nossa espécie através do contato com a urina de roedores e de outros animais).<sup>11,12,13</sup>

Nos séculos XVII e XVIII, a *Teoria Miasmática das Doenças* advogava que a disseminação das doenças acontecia por meio

da inalação de miasmas, ou seja, do “*ar fétido proveniente de matéria orgânica em putrefação* [em geral, do solo e de águas contaminadas do lençol freático], *que carregava consigo partículas danosas à saúde*”.<sup>11</sup>

Essa teoria justificava o porquê de muitos médicos aconselharem que todas as atividades geradoras de miasmas deveriam acontecer longe do convívio da população. Assim, curtumes, matadouros, hospitais, lazaretos e cemitérios – que lidavam com matéria orgânica em putrefação – deveriam ser instalados em locais afastados do núcleo urbano.<sup>11</sup>

Já no século XIX, John Snow [1813 – 1858] suspeitava que o cólera era causada pelo consumo de águas contaminadas com matérias fecais. Para comprovar sua hipótese, Snow cartografou, em 1854, os poços de água de Londres e mostrou que o de *Broad Street* (localizado no distrito de *Soho*) era o principal foco, uma vez que a maior parte dos doentes consumia sua água.<sup>12</sup> O fechamento do poço, tal como sugerido por Snow, levou à diminuição do número de casos da doença. Desferia-se, assim, o primeiro grande golpe contra a teoria miasmática.

Este caso levou Snow a fundamentar as bases teórico-metodológicas do método epidemiológico, utilizado tanto para a investigação das causas, quanto ao encaminhamento de soluções a todas as doenças transmissíveis. Destaque-se, ainda, o fato de apesar dos organismos microscópicos serem conhecidos desde o século XVII, não se lhes atribuía a devida importância como agentes causadores de doenças infecciosas.<sup>12</sup>

Em 1878, com a divulgação da *Teoria Microbiana das Doenças*, de Louis Pasteur [1822-1895], Charles E. Chamberland [1851-1908] e Jules F. S. Joubert [1824-1907] pode-se mostrar que tanto a putrefação quanto a fermentação não eram fenômenos exclusivamente químicos, mas decorrentes da ação de microrganismos.<sup>12</sup> Desferia-se o mais forte golpe contra a *Teoria Miasmática das Doenças*.

A partir de métodos de experimentação criativos, inéditos e confiáveis, Pasteur convencia os demais pesquisadores que as doenças infecciosas eram causadas por *microrganismos específicos* e podiam ser combatidas por meio de imunizações. O sucesso de suas pesquisas, de grande repercussão no meio científico, facilitou a aceitação de sua teoria.

No final do século XIX, a classificação dos microrganismos ainda gerava muitas dúvidas. Segundo Carreta,<sup>13</sup> os médicos de então acreditavam que micróbios – termo cunhado pelo médico francês Charles-Emmanuel Sédillot [1804-1883] – não eram ‘pequenos animais’, mas “vegetais (...), infinitamente pequenos, verdadeiros cogumelos inferiores” (grifo nosso). Nessa mesma época, descobriram-se doenças não associadas a qualquer tipo de bactéria ou fungo. Para alguns, esse fato reforçava a possibilidade de a teoria dos miasmas estar correta.<sup>13</sup>

Para Adolf Mayer [1843-1942], contudo, a doença do mosaico do tabaco, caracterizada pela despigmentação nas folhas do fumo (*Nicotiana tabacum*), não podia ser explicada sem a presença de um agente infeccioso. Para ele, a doença devia ser transmitida pela inoculação do agente infeccioso, quando se pulverizava o filtrado de uma maceração de uma planta doente sobre uma planta sadia. Ele acreditava que um microrganismo, de dimensões diminutas e invisível ao microscópio óptico, fosse o responsável pela doença.<sup>14</sup>

#### 4.2. Visível ao microscópio eletrônico

Em 1884, Charles E. Chamberland desenvolvera um filtro capaz de reter bactérias. Em 1892, Dmitri I. Ivanovski [1864-1920], utilizando o filtro de Chamberland, demonstrou que folhas de tabaco infectadas e maceradas continuavam a infectar folhas saudáveis, mesmo após a filtragem, descartando a hipótese que bactérias fossem responsáveis pela doença. O desenvolvimento

de pesquisas, com resultados publicados entre 1898 e 1908, mostrou que febre aftosa, febre amarela e leucose aviária eram doenças provocadas por algum tipo de agente filtrável, sugerindo uma teoria do estado líquido do agente.<sup>15</sup>

Em 1915, Frederick W. Twort [1877-1950] observou que colônias de bactérias pereciam quando se inoculava um vírus no meio de cultura e que o agente desse processo era infeccioso. Em 1917, Félix H. d'Hérelle [1873-1949] reconheceu o agente como sendo um vírus. A partir dessa descoberta, ele cunhou o termo *bacteriófago* e propôs a utilização destes fagos para o tratamento de doenças de origem bacteriana.<sup>15</sup>

Na década de 1920, o estudo das doenças virais, apesar de rápida evolução, era limitado por haver um único meio de recuperar quantidades significativas de vírus: infectar em animais suscetíveis. Entre as décadas de 1920 e 1950, cultivos virais e vacinas (obtidas a partir de uma cepa do vírus) foram desenvolvidos; notadamente as que combatiam a *febre amarela* por Max Theiler [1899-1972] e a *poliomielite* por Jonas E. Salk [1914-1995].<sup>15</sup>

Atualmente, sabe-se que doenças podem ser causadas por fungos, bactérias e vírus. As epidemias causadas por esses microrganismos provocam elevado número de mortes. Como o modo de entrada desses microrganismos no corpo humano, as estratégias de ação e de reprodução são muito diversas, há grande dificuldade, nesse sentido, no combate aos mesmos.

Informações do Ministério da Saúde,<sup>16</sup> veiculadas pela imprensa brasileira, mostram que entre 03 de janeiro e 27 de fevereiro de 2016, o número de casos de dengue no Brasil superou 396 mil, revelando um aumento de quase 53 % em relação ao ano anterior. Dados do mesmo documento sobre a febre de chikungunya confirmavam 3748 casos confirmados no mesmo período de apuração.

A preocupação com o zika vírus fez com que a Organização Mundial de Saúde (OMS),<sup>17</sup> anunciasse a criação de uma unidade global

para responder ao surto da doença, que poderá infectar até 4 milhões de pessoas nas Américas, sendo 1,5 milhão no Brasil, em 2017. Em 2017, a febre amarela, que parecia confinada a regiões específicas do país, reapareceu em locais até então considerados seguros, exigindo uma nova estratégia de combate, que deve prescrever a da produção de vacinas e delimitações das áreas de risco.

Contudo, nenhuma doença viral causou mais investimento em pesquisa e esforço laboral do que a *Síndrome da Imunodeficiência Adquirida* (em inglês, AIDS). Provocada pelo vírus da imunodeficiência humana (em inglês, HIV), estima-se que, atualmente, contamina 78 milhões de pessoas (0,6 % da população mundial), sendo que 39 milhões já sucumbiram em decorrência das doenças que se instalam por conta da baixa resistência do organismo.<sup>17</sup>

## 5. Retrocedendo no Tamanho, em Nível Molecular

### 5.1. Contaminações agudas

Em 1976, na cidade de Seveso (Itália), ocorreu um acidente na indústria química *Icmesa*, que resultou na emissão atmosférica de uma nuvem tóxica contendo relevantes quantidades de dioxina, além de triclorofenol e seus derivados, etileno glicol e hidróxido de sódio. A nuvem, que se estendeu por cerca de 2.000 hectares, afetou quase 40.000 seres humanos.<sup>18</sup>

No ano de 1984, na cidade de Bophal (Índia), cerca de 10.000 pessoas perderam a vida, naquele que ficou conhecido como o maior desastre industrial já ocorrido. Provocado pela liberação atmosférica de isocianato de metila de uma fábrica da *Union Carbide*, estima-se que, além dos óbitos, quase 500 mil pessoas foram expostas aos gases e que quase 30 % dessas ainda sofram com os efeitos do acidente.<sup>18</sup>

Em ambos os casos, as indústrias – alegando se tratar de um segredo industrial – não forneceram, de imediato, qualquer informação sobre a substância tóxicas emitidas em decorrência do acidente, retardando ainda mais o socorro às vítimas.

Embora, as mortes em Bophal fossem atribuídas a uma exposição de curta duração e de grande intensidade aos agentes químicos, existem acidentes ambientais cujos efeitos – mortes, inclusive – estão associados à bioacumulação de substâncias químicas em longo prazo.<sup>18</sup>

### 5.2. Contaminações crônicas

Um caso emblemático ocorreu na baía de Minamata (Japão). Em 1956, quatro pacientes apresentaram uma série de sintomas comuns: convulsões, surtos psicóticos, desmaios e coma. A morte dos pacientes após um episódio de febre alta chamou a atenção do Dr. Hajime Hosokawa, diretor clínico do hospital. Aplicando metodologia equivalente à de Snow, Hosokawa fez um levantamento baseado na cartografia da área e descobriu que um total de 17 pessoas haviam apresentado os mesmos sintomas e falecido após um evento de febre alta. Em comum, somente o fato de os pacientes ingerirem uma dieta rica em peixes da Baía de Minamata. Pesquisas realizadas pela Universidade de Kumamoto não revelaram qualquer agente patológico, mas sugeriram que peixes e mariscos da baía poderiam ser venenosos, uma vez que testes de toxicidade em cobaias mostraram que estas morriam em poucas semanas, após serem alimentadas com os produtos de pesca da baía.<sup>19</sup>

Uma pesquisa sobre a baía de Minamata indicou contaminação dos peixes dessa em uma extensão muito maior do que a dos peixes de outros locais. Os efluentes químicos, removidos de lamas residuais do fundo da baía, continham grande diversidade de agentes tóxicos, como manganês, selênio, mercúrio, tálio, cromo entre outros.<sup>19</sup>

Como a principal empresa (*Chisso Corporation*) se negava a falar sobre a natureza de seus efluentes, as pesquisas para a identificação do agente responsável foram conduzidas visando eliminar, um a um, os potenciais causadores da doença. Ao fim, estas apontavam para o metil-mercúrio (MeHg); entretanto, a quantidade daquele composto presente aos efluentes da fábrica, ainda não explicava o efeito causado.<sup>19</sup>

Pesquisas posteriores mostraram que o MeHg, absorvido por seres vivos na base da cadeia alimentar, era bioacumulativo e sua concentração crescia à medida que passava de um nível trófico para outro, até chegar à espécie humana. Harada comprovou que,<sup>19</sup> apesar de os sedimentos da baía de Minamata possuírem baixa concentração de MeHg, os produtos marinhos daquela localidade apresentavam concentração do composto variando entre 5,6 e 35,7 ppm, enquanto a análise de amostras capilares de moradores da região indicava concentrações próximas a 705 ppm para aquela substância.

Portanto, após anos ingerindo peixes e moluscos contaminados (a fábrica fora instalada na década de 1930), os efeitos surgiam. Comprovou-se que a alimentação, baseada no consumo de peixe contaminado, provoca a bioacumulação de mercúrio no organismo humano.

Entretanto, é importante lembrar que, como o mercúrio, outras substâncias podem causar efeitos adversos em decorrência de sua exposição crônica. A literatura científica apresenta casos em que produtos químicos foram responsáveis por vários problemas ambientais envolvendo seres vivos. Entre os compostos, encontram-se:

- Dicloro-difenil-tricloroetano (DDT): responsável direto pela grande mortandade de pássaros em *Cape Cod, Massachusetts*. Como demonstrado por Rachel Carson [1907-1964], o DDT estava a contribuir diretamente na extinção de certas espécies de aves, como a águia careca, animal símbolo dos Estados Unidos da América: o DDT e outros inseticidas

clorados estariam relacionados ao adelgaçamento das cascas dos ovos das aves e doenças crônicas em humanos.<sup>20</sup>

- Diclofenaco (DCF): utilizado como produto farmacêutico e veterinário, esse analgésico e anti-inflamatório (incluído também na lista de contaminantes emergentes – ver item a seguir) é letal a abutres do gênero *Gyps sp.* A mortandade dessas aves na Índia, nos anos 1990, mostrou que bastava que as aves ingerissem a carne de um animal que recebera o fármaco até 72 horas antes, para que morressem de falência renal, em até três dias, por conta de gota úrica visceral, caracterizada pelo acúmulo anormal de cristais de urato de sódio (ácido úrico) nos rins.<sup>21</sup>

Nos casos de exposição aguda que chocaram a opinião pública, pode-se afirmar que as autoridades agiram com certa rapidez, muito embora a pena aplicada tenha sido mínima, frente aos danos causados. No caso de Minamata, as autoridades hesitaram durante certo tempo: o atraso na entrega de pareceres técnicos sobre possíveis causas dos acidentes e o baixo número de vítimas humanas não causou a mesma comoção popular do que as das exposições agudas.

As exposições agudas e crônicas parecem revelar uma lição: só se passa a controlar a fonte poluente quando a população, devidamente informada, exige soluções por parte das autoridades. Historicamente essas providências estão relacionadas à minimização do risco pela diminuição da exposição e não pela eliminação do agente responsável. Neste cenário, conhecer o perigo não é algo trivial e requer estratégias e tecnologias específicas. Um importante exemplo de ameaça aos seres vivos relacionados ao estilo de vida moderno são os denominados contaminantes emergentes (CE).



### 5.3. Contaminantes emergentes

Segundo a definição proposta pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos,<sup>22</sup> os contaminantes emergentes são:

*“[...] poluentes que, atualmente, não são incluídos em programas de monitoramento e que podem se tornar candidatos para legislações futuras dependendo de pesquisas sobre a toxicidade, efeitos sobre a saúde, percepção pelo público e dados sobre sua ocorrência em vários ambientes”.*<sup>22</sup>

Sauve e Desrosiers,<sup>23</sup> dentro de um contexto mais amplo, sugerem que seria mais correto denominar os CE como *contaminantes de preocupações emergentes (Contaminants of Emerging Concern – CECs)*. Para os autores, fariam parte desse grupo os contaminantes: *emergentes verdadeiros* ou realmente novos, que englobariam novas espécies químicas; *de interesse emergente*, que apesar de conhecidos, ainda demandam de estudos mais profundos (ecotoxicológicos, por exemplo); *emergentes conhecidos*, apesar de bem conhecidos, estariam envolvidos em novas polêmicas ambientais ou associados ao risco de saúde em seres vivos.

Trata-se de compostos detectados em diferentes compartimentos ambientais, oriundos da atividade humana, cuja produção visa atender à demanda do padrão de consumo moderno. Esses compostos trazem inúmeros benefícios para a vida, pois podem elevar a expectativa de vida da população e garantir oferta de alimento. No entanto, a necessidade de expansão da agropecuária, aliada ao adensamento urbano das grandes cidades e a falta de saneamento básico adequado favorecem um cenário crítico de contaminação, cujos principais efeitos são devidos à exposição crônica e, portanto, não são facilmente identificáveis.

Os CE compreendem uma extensa gama de materiais, entre os quais pesticidas, nanocompostos, compostos farmacêuticos e cosméticos, somente para citar alguns. Informações sobre os efeitos de ecotoxicidade

são escassos e de avaliação complexa considerando que a combinação deles pode envolver efeitos sinérgicos (e antagônicos) a moléculas distintas<sup>24</sup>.

Com o avanço das tecnologias analíticas foi possível detectá-los em concentrações cada vez menores; atualmente, em níveis de partes por trilhão (ppt) ou ainda menores. Assim, a literatura atual apresenta trabalhos seminais sobre a ocorrência de CE em águas servidas,<sup>25</sup> superficiais,<sup>26</sup> tratadas,<sup>27</sup> residuais,<sup>28</sup> potáveis e subterrâneas.<sup>29,30</sup>

Para entender melhor essa situação que envolve a exposição crônica e a necessidade de se realizar uma investigação ecotoxicológica das substâncias lançadas no mercado, citaremos dois casos representativos:

- **Dicofol (DC)**: utilizado como acaricida agrícola, essa substância foi a principal responsável pela diminuição da população de jacarés do lago *Apopka* (Flórida). Pesquisas realizadas por Woodward *et al.*<sup>31</sup> mostraram que a porcentagem de eclosão dos ovos de jacarés havia caído de 90 % para 18 % e que metade dos filhotes morria nos primeiros dias. Guillette Jr. *et al.* e Milnes,<sup>32,33</sup> por sua vez, revelaram que todos os jacarés do lago *Apopka* apresentavam elevada concentração de estradiol-17 $\beta$  (E2) em relação aos de um lago de *Woodruff* (no qual vivia a população de controle) e que os machos exibiam altos níveis de concentração plasmática de estrogênio e níveis muito baixos de testosterona, sendo que 60 % destes possuíam testículos e pênis pouco desenvolvidos. Essas pesquisas sugeriram que o despejo não controlado de DC (interferente endócrino), devido a um vazamento ocorrido na indústria *Tower*, foi uma das prováveis causas para o problema. Por isso, apesar das concentrações de DC serem na faixa de nanogramas por litro (ou ppt), fortes indícios apontaram que a exposição contínua dos jacarés ao acaricida causou o declínio de sua população.

- Dietilestilbestrol (DES): Até o ano de 1970, milhões de mulheres haviam sido expostas – ainda no útero – ao medicamento citado, receitado às suas mães como antiabortivo. Hoover *et al.* realizaram pesquisas com 6580 mulheres,<sup>32</sup> das quais 70,7 % haviam sido expostas ao medicamento (as demais faziam parte de um grupo de controle). Os resultados apontaram que os riscos cumulativos em mulheres expostas ao DES, quando comparados aos daquelas que não foram expostas, são maiores no que tange à infertilidade, aborto espontâneo, parto prematuro e câncer de mama aos 40 anos de idade ou mais entre outros. O estudo sugeriu que a exposição intrauterina de mulheres ao DES pode estar associada a um risco maior, durante toda a vida, de resultados adversos de saúde.

Como se pode verificar, os CE podem apresentar um risco velado e desconhecido ao ambiente, por afetar não somente a saúde humana, mas atuando também sobre a biota aquática e sobre os animais que direta ou indiretamente fazem uso dela.

Os casos acima citados constituem importantes referências a pesquisas realizadas em âmbito internacional, mas que ecoam constantemente em território nacional. Pesquisadores brasileiros, universidades e institutos de pesquisa estão a demonstrar que:<sup>29,35,36</sup>

(1) Evidências claras mostram que estamos expostos a um novo tipo de ameaça;

(2) A tecnologia analítica, em franca evolução, nos ajuda a identificar os riscos associados aos CE por meio da determinação da exposição aos contaminantes;

(3) Aprendemos a quantificar emergentes e conhecer suas rotas de exposição, além de estarmos aprendendo a controlá-los e eliminá-los;

(4) Ainda há muito que conhecer em termos dos efeitos causados e dos mecanismos de ação dos CE, notadamente

para que se possam prever as ações a serem tomadas;

(5) É necessária a aprovação de um marco regulatório legal que assegure tratamentos de qualidade para as águas servida e de abastecimento, com vistas a diminuir a exposição a esses compostos.

No que diz respeito à análise dos CE, a evolução das técnicas analíticas levou à diminuição dos limites de detecção e aperfeiçoamento dos protocolos relativos à preparação e coleta das amostras. O aumento da sensibilidade do método provocou, por essa razão, uma maior preocupação com o tratamento das amostras, uma vez que a presença de espécies contaminantes, mesmo em baixíssimas concentrações, poderia afetar os resultados.<sup>36,37</sup>

De acordo com Chiaia-Hernández *et al.*, o aumento significativo dos vestígios de atividade humana no ambiente global parece evidenciar o início do antropoceno. Suas pesquisas corroboram a ideia de que o gradiente e a variabilidade das modificações humanas em escala *glocal* (global/local) ainda constituem desafios à ciência, mas que novos métodos analíticos, como a espectrometria de massa de alta resolução (HRMS), podem auxiliar na caracterização da contaminação química.<sup>37</sup>

Como se percebe, atualmente é possível obter cenários cada vez mais reais da contaminação por CE, cujos mecanismos de ação são complexos. Análises de agrupamento hierárquico (AGH) e de padrões temporais de contaminantes não-alvo (APTC), tais como as realizadas por Chiaia-Hernández *et al.*, além de demonstrarem a presença de mais de 13000 perfis de origem antrópica em lagos europeus (comprovando a existência de impactos humanos em larga escala desde a década de 1950), confirmaram que a APCT é um método eficiente para caracterizar o padrão de contaminação no Antropoceno.<sup>37</sup>

## 6. Considerações Finais

No que diz respeito aos CE, as vítimas são, por enquanto, potenciais. A concentração dos contaminantes, à qual as pessoas estão expostas, é milhares de vezes menor que a dos poluentes que causaram vítimas em Bophal; seus efeitos podem, portanto, demorar muito tempo para aparecer. O fato de os CE poderem atuar nos sistemas endócrinos e neurológicos dos seres vivos implica que as concentrações consideradas seguras para a exposição aos emergentes podem ser ultrapassadas em um futuro não muito distante. Como se defender dessa situação?

Eliminar os CE, por meio do tratamento da água servida (esgoto), seria a melhor defesa. Infelizmente, os padrões de consumo atuais apenas reforçam a entrada dos atuais emergentes no ambiente, seja por descarte indevido de materiais nos quais os CE estejam presentes ou pelo lançamento de esgoto e efluentes não tratados nos corpos de água. Destaque-se ainda o fato de, anualmente, cerca de duas mil novas substâncias entrarem no mercado de consumo; algumas dessas poderão, no futuro, tornarem-se importantes CE.

O fato de o risco de morte causado pelos emergentes ainda ser potencial, somado ao custo extra de instrumentos e reagentes, leva as empresas responsáveis pelo tratamento de água a protelar a implementação de processos que eliminem os emergentes. Mas a relevância do tema nos demonstra ser urgente a adoção de políticas públicas que visem o controle, tratamento e possível eliminação dos CE e que devem atuar em diferentes frentes:

(1) Em curto prazo, na responsabilização dos que não controlam seus efluentes (indústrias) e dos que se omitem, notadamente os que deveriam tratar os esgotos e a água fornecida à população;

(2) Em médio prazo, na formação de consumidores conscientes e informados sobre os CE, ou seja, indivíduos conscientes de que

seus próprios padrões de consumo geram parte dos emergentes e que não se deve entrar em pânico quando algum deles é detectado no ambiente;

(3) Em médio e longo prazos, na priorização da identificação de contaminantes orgânicos ainda não atingidos por regulamentações ambientais e iniciativas de redução da poluição. (Essa nova abordagem, aplicável aos dados ambientais constituintes de paleoarquivos pode efetivamente ser utilizada para documentar o lapso temporal e do gradiente da taxa de mudança na contaminação ao longo do tempo.

(4) Na criação de um marco regulatório, que determinaria procedimentos e normas para o tratamento da água disponibilizada à população, com metas específicas para curto, médio e longo prazos; deve-se esclarecer que não é possível pautar o estabelecimento de um marco, que visa o bem comum da população, no medo de empresários (em transferir ao erário, parte do lucro auferido, por conta do pagamento de multas vultosas) e gestores (em perder a liberdade, por conta de seus erros administrativos). A negociação política com os diversos setores da sociedade nos parece o modo mais adequado de se estabelecer um processo eficaz para o tratamento de água.

No que tange à população em geral, campanhas que mostram os contaminantes emergentes como potenciais inimigos não costumam funcionar. Antes de tudo, seria bom mostrar que o respeito ao ambiente deve suplantar os padrões exacerbados de consumo e mesmo conduzir ao descarte consciente dos resíduos.

A história nos dá bons exemplos de pânico coletivo gerados por notícias veiculadas em rádios ("A guerra dos mundos", transmitida pela CBS, em 1938, tendo Orson Welles como narrador) ou televisão. Um alerta sobre os perigos associados aos CE, desvinculado de seu contexto, não escapa a essa realidade: pode exacerbar debates, baseados em interpretações errôneas sobre o tema ou amedrontar pessoas, ao superestimar os

perigos atribuídos aos emergentes, que são contaminantes: (1) surgidos em decorrência de atividades humanas no antropoceno, (2) criados para combater problemas de saúde pública, mas que são capazes de gerar novas doenças, como decorrência de sua utilização, (3) resultantes da evolução da pesquisa farmacêutica/química (microplásticos, nanocompostos etc.) (4) inseridos em uma lógica de mercado, que conjuga a urgência de alta lucratividade e consumo em larga escala em detrimento de testes ecotoxicológicos mais profundos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao INCTAA (CNPQ Proc. 573894/2008-6 e Proc. 465768/2014-8, e FAPESP Proc. 2008/57808-1 e Proc. 2014/50951-4) pelo apoio financeiro.

## Referências Bibliográficas

- <sup>1</sup> Crutzen, P. J.; Stoermer, E. F. The Anthropocene. *Global Change Newsletter* **2000**, *41*, 17. [Link]
- <sup>2</sup> Moraes, M. V. M. O haver. Em *Poemas esparsos*; Ferraz E., org.; Companhia das Letras: São Paulo, 2008.
- <sup>3</sup> Childe, V. G.; *O que aconteceu na história*, 4<sup>a</sup>. ed. Dutra W., trad.; Zahar: Rio de Janeiro, 1977.
- <sup>4</sup> Braidwood, R. J.; *Homens pré-históricos*, 2<sup>a</sup>. ed. Martín C. B., trad.; Editora UnB: Brasília, 1988.
- <sup>5</sup> *Before we ruled the Earth: Hunt or be hunted/ Mastering the beasts*, [videotape], Discovery Channel: USA, 2003.
- <sup>6</sup> Clark, J. G. D.; *A pré-história*, 2<sup>a</sup>. ed. Jorge E., trad.; Zahar: Rio de Janeiro, 1975.
- <sup>7</sup> Klein, R. G.; Edgar, B.; *O despertar da cultura: a polêmica teoria sobre a origem da criatividade humana*. Andrade A. L. V., trad.; Zahar: Rio de Janeiro, 2005.
- <sup>8</sup> Lepre, C. J.; Roche, H.; Kent, D. V.; Harmand, S.; Quinn, R. L.; Brugal, J. P.; Texier, P. J.; Lenoble, A.; Feibel, C. S.; An earlier origin for the Acheulian. *Nature* **2011**, *477*, 82 [CrossRef]
- <sup>9</sup> Goren-Inbar, N; Feibel, C. S.; Verosub, K. L.; Melamed, Y.; Kislav, M. E.; Tchernov, E.; Saragusti, I.; Pleistocene milestones on the out-of-Africa corridor at Gesher Benot Ya'aqov, Israel. *Science* **2000**, *289*, 944. [CrossRef]
- <sup>10</sup> Quaresma, A; Interregno antropotécnico. *Revista Internacional de Tecnología, Ciencia y Sociedad* **2014**, *3*, 87. [CrossRef]
- <sup>11</sup> Jorge, K. C.; A modificação da vida urbana da cidade de São Paulo no século XIX a partir das ações sanitárias – a construção de cemitérios e a prática de sepultamentos; *Anais do XXIV Simpósio Nacional de História* (ANPUH); São Leopoldo, Brasil, 2007.
- <sup>12</sup> Hempel, S. *The strange case of the Broad Street pump*. Granta: London, 2006.
- <sup>13</sup> Carretta, J. A. *O micróbio é o inimigo: debates sobre a Microbiologia no Brasil (1885-1904)*; Editora UFABC: São Bernardo do Campo, 2015.
- <sup>14</sup> Zaitlin M. The discovery of the causal agent of the Tobacco Mosaic Disease. Em Kung, S. D.; Yang, S. F., eds. *Discoveries in Plant Biology*. World Publishing: Hong Kong, 1998.
- <sup>15</sup> Kane, B. M. *HIV/AIDS treatment drugs*. Chelsea House: New York, 2008.

- <sup>16</sup> Sítio do Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Disponível em: <http://portalsaude.saude.gov.br/images/pdf/2016/marco/29/2016-011-boletim-epi-dcz-se8.pdf>. Acesso em: 31 julho 2018.
- <sup>17</sup> Sítio da Organização Mundial da Saúde (OMS). Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/zika/pt/>. Acesso em 31 julho 2018.
- <sup>18</sup> Thomson, J. R. *High integrity systems and management in hazardous industries*. Elsevier: Oxford, 2015.
- <sup>19</sup> Harada, M. Minamata Disease: Methylmercury Poisoning in Japan Caused by Environmental Pollution. *Critical Reviews in Toxicology* **1995**, *25*, 1 [CrossRef].
- <sup>20</sup> Carson, R. *Primavera Silenciosa*. Crítica España, Madrid, 2010.
- <sup>21</sup> Barbara, J. C. A.; *Dissertação de Mestrado*. Universidade de São Paulo, Brasil, 2015. [Link]
- <sup>22</sup> United States Environmental Protection Agency (USEPA). *Emerging Technology – A State’s permitting technology*. [CrossRef]
- <sup>23</sup> Sauvé S.; Desrosiers, M. A review of what is an emerging contaminant. *Chemistry Central Journal* **2014**, *8*, 15. [CrossRef]
- <sup>24</sup> Smital, T. Acute and chronic effects of emerging contaminants. Em Barceló, D.; Petrovic, M., eds. *The Handbook of Environmental Chemistry*. Emerging contaminants from industrial and municipal waste (5, 5S). Springer-Verlag: Berlim, 2008.
- <sup>25</sup> Terzić, S.; Senta, I.; Ahel, M.; Gros, M.; Petrović, M.; Barcelo, D.; Müller, J.; Knepper, T.; Martí, I.; Ventura, F.; Jovanić, P.; Jabucar, D. Occurrence and fate of emerging wastewater contaminants in Western Balkan Region. *Science of the Total Environment* **2008**, *399*, 66. [CrossRef].
- <sup>26</sup> Yao, C.; Li, T.; Twu, P.; Pitner, W. R.; Anderson, J. L. Selective extraction of emerging contaminants from water samples by dispersive liquid–liquid microextraction using functionalized ionic liquids. *Journal of Chromatography A* **2011**, *1218*, 1556. [CroosRef]
- <sup>27</sup> Rodríguez-Prieto, L.; Miralles-Cuevas, L.; Ollera, I.; Agüera, A.; Puma, G. L.; Malato, S. Treatment of emerging contaminants in wastewater treatment plants (WWTP) effluents by solar photocatalysis using low TiO<sub>2</sub> concentrations. *Journal of Hazardous Materials*. **2012**, *211*, 131. [CrossRef]
- <sup>28</sup> Fortunato, A. I. C.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Coimbra, Portugal, 2014 [Link].
- <sup>29</sup> Jardim, W. F.; Montagner, C. C.; Pescara, I. C.; Umbuzeiro, G. A.; Bergamasco, A. M. D.; Eldridged, M. L.; Sodré, F. F. An integrated approach to evaluate emerging contaminants in drinking water. *Separation and Purification Technology* **2012**, *84*, 3 [CrossRef].
- <sup>30</sup> Lapworth, D. J.; Baran, N.; Stuart, M. E.; Ward, R. S. Emerging organic contaminants in groundwater: a review of sources, fate and occurrence. *Environmental Pollution* **2012**, *163*, 287. [CrossRef]
- <sup>31</sup> Woodward, A. R.; Percival, H. F.; Jennings, M. L.; Moore, C. T. Low clutch viability of American alligators on Lake Apopka. *Florida Scientist* **1993**, *56*, 52. [CrossRef]
- <sup>32</sup> Guillette, Jr., L. J.; Brock, J.W.; Rooney, A. A.; Woodward, A. R. Serum concentrations of various environmental contaminants and their relationship to sex steroid concentrations in the American alligator. *Archives of Environmental*

*Contamination and Toxicology*. **1999**, *36*, 447. [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]

<sup>33</sup> Milnes, M. R.; *Tese de Doutorado*, Universidade da Florida, EUA, 2005 [[Link](#)].

<sup>34</sup> Hoover, R. N.; Hyer, M.; Pfeiffer, R. M.; Adam, E.; Bond, B.; Cheville, A. L.; Colton, T.; Hartge, P.; Hatch, E. E.; Herbst, A. L.; Karlan, B. Y.; Kaufman, R.; Noller, K. L.; Palmer, J. R.; Robboy, S. J.; Saal, R. C.; Strohsnitter, W.; Titus-Ernstoff, L.; Troisi, R. Adverse Health Outcomes in Women Exposed In Utero to Diethylstilbestrol. *New England Journal of Medicine* **2011**, *365*, 1304. [[CrossRef](#)]

<sup>35</sup> Feitosa, F. S.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília, Brasil, 2012 [[Link](#)].

<sup>36</sup> Montagner, C. C.; Jardim, W. F.; Von der Ohe, P. C.; Umbuzeiro, G. A. Occurrence and potential risk of triclosan in freshwaters of São Paulo, Brazil – the need for regulatory actions. *Environmental Science and Pollution Research International* **2014**, *21*, 1850. [[CrossRef](#)]

<sup>37</sup> Chiaia-Hernández, A. C.; Günthardt, B. F.; Frey, M. P.; Hollender, J. Unravelling Contaminants in the Anthropocene Using Statistical Analysis of Liquid Chromatography–High-Resolution Mass Spectrometry Nontarget Screening Data Recorded in Lake Sediments. *Environmental Science Technology* **2017**, *51*, 12547. [[CrossRef](#)]