



UM PANORAMA DOS ESTUDOS SOBRE CONTAMINAÇÃO POR MERCÚRIO NA AMAZÔNIA LEGAL NO PERÍODO DE 1990 A 2005 - AVANÇOS E LACUNAS

S. Hacon^{1*}; P.R.G. Barrocas²; A.C.S. de Vasconcellos²; C. Barcellos³;
J.C. Wasserman⁴; R.C. Campos⁵

¹ Fundação Oswaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Departamento de Endemias Samuel Pessoa. R. Leopoldo Bulhões, 1480, CEP: 21.041-210, Manguinhos, RJ, Brasil

² Fundação Oswaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental

³ Fundação Oswaldo Cruz – Centro de Informação Científica e Tecnológica, Departamento de Informações em Saúde

⁴ Universidade Federal Fluminense – Instituto de Geociências, Departamento de Análise Geoambiental

⁵ Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Química

E-mail: *shacon@easyline.com.br

Recebido em 09/07, aceito para publicação em 04/08

ABSTRACT

This research consisted of an overview of the studies developed on the Hg contamination in the Amazon Basin and its evolution along the period 1990-2005. The assessment was based on an extensive and systematic review using bibliographic databases available on line and a review of the research projects carried out by research groups. In addition, Brazilian research groups were identified using the database of the Brazilian Directory of Research Groups of the National Board of Scientific and Technological Development (CNPq). A Geographic Information System was used to determine the location of the studies. Different aspects of Hg contamination were examined (environmental studies, impacts in human health, technological improvements). For the period, 429 publications were identified. The assessment of the CNPq censuses suggests that Hg contamination in the Amazon region is a well-established research topic among Brazilian research institutions, including institutions from the Amazon region. The major achievements and remaining gaps in relation to environmental issues and human health were identified and discussed. Although the scientific production varied considerably along the period, there was a general increase in the total number of publications per year from the beginning of the 90's (less than 20) towards the end of the surveyed period (more than 30) considering the articles published in indexed journals only.

RESUMO

Esta pesquisa apresenta uma visão geral dos estudos desenvolvidos sobre a contaminação por mercúrio na bacia Amazônica e a evolução destes estudos no período de 1990 a 2005. O estudo baseou-se em extensiva e sistemática revisão utilizando

bases de dados bibliográficas disponíveis na Internet e em uma revisão dos projetos de pesquisa realizados por grupos de pesquisa. Os grupos de pesquisa brasileiros foram identificados através da base de dados do Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (CNPq). Um Sistema de Informação Geográfica foi usado para localizar os estudos conduzidos na Amazônia Legal. Diferentes aspectos da contaminação por mercúrio na Amazônia foram analisados (estudos ambientais, impactos na saúde humana, melhorias tecnológicas). No período de 1990 a 2005, foram identificadas 429 publicações. A avaliação do CNPq sugere que a contaminação por mercúrio na região amazônica é um tema de pesquisa bem estabelecido entre as instituições de pesquisa brasileiras, incluindo instituições da região amazônica. Os principais avanços e as lacunas existentes em relação aos estudos ambientais e de saúde humana foram identificados e discutidos. Apesar de variações, há um aumento geral do número total de publicações anuais desde o começo da década de 90 (menos de 20) para o final do período estudado (mais de 30) evidenciado através dos artigos publicados em revistas indexadas.

INTRODUÇÃO

Durante as últimas décadas do século passado, houve um aumento significativo da mineração de ouro em muitos países em desenvolvimento, que oscilou em função do mercado internacional do preço do ouro. Em quase todos os países da Bacia Amazônica, o mercúrio metálico foi usado como insumo no processo de extração de ouro primário. No Brasil, uma grande parte da discussão dada aos problemas da contaminação por mercúrio só surgiu na década de 80. Nessa época, estudos revelaram que grandes quantidades de mercúrio foram lançadas nos principais rios e na atmosfera do ecossistema amazônico como consequência da “corrida do ouro” (Martinelli *et al.*, 1988; Pfeiffer & Lacerda, 1988; Lacerda *et al.*, 1989; Pfeiffer *et al.*, 1989; Malm *et al.*, 1990; Lacerda & Solomons, 1992; Aula *et al.*, 1995; Akagi, 1995; Lacerda, 1995; Richard *et al.*, 2000).

Pesquisas têm revelado que o mercúrio metálico lançado em sistemas aquáticos ou na atmosfera pode ser oxidado em Hg(II) e posteriormente convertido em metilmercúrio por diversos mecanismos, na maioria das vezes mediadas por reações bacterianas (Jensen & Jernelov, 1969; UNEP 2002). A lipossolubilidade de compostos mercuriais permite que os mesmos sejam transferidos ao longo das cadeias tróficas chegando aos predadores do topo da cadeia, que apresentam altos níveis de mercúrio, devido ao processo de biomagnificação (Ebinghaus *et al.*, 1994; Morel *et al.*, 1998; Barkay *et al.*, 2003). O consumo de organismos aquáticos contaminados por mercúrio é a principal rota de exposição para os seres humanos (Lacerda & Solomons, 1992; Hacon *et al.*, 1995; Akagi, 1995; Fadini *et al.*, 2001; Dorea *et al.*, 2003; Barbosa *et al.*, 2003; Dorea & Barbosa, 2004;).

Inicialmente, os elevados níveis de mercúrio, encontrados no ecossistema amazônico brasileiro foram atribuídos apenas a mineração de ouro (Niagru, 1992; Hylander *et al.*, 1994; Villas Boas, 1997; Lechler *et al.*, 2000; Fadini & Jardim, 2001). Entretanto, recentemente, alguns autores têm sugerido que sedimentos e solos amazônicos teriam elevadas concentrações de mercúrio de origem natural, o que poderia explicar os níveis de mercúrio nos peixes e em humanos da região (Roulet & Lucotte, 1995; Roulet *et al.*, 1996; Roulet *et al.*, 1998; Akagi & Naganuma, 2000; Wasserman *et al.*, 2003). Outros autores levantaram a hipótese de que o transporte

atmosférico do mercúrio antropogênico poderia ser o responsável pelo aumento da contaminação na Bacia Amazônica (Veiga *et al.*, 1994; Hacon *et al.* 1995; Lacerda, 1995; Hacon *et al.*, 1997; Artaxo *et al.*, 2000). O desflorestamento da Amazônia para diferentes usos do solo que vem ocorrendo desde o início da década de 70, agravado a partir do século XXI, também é apontado como uma das causas da remobilização do mercúrio e a sua reemissão dos solos para a atmosfera, mantendo elevados níveis de mercúrio no ecossistema amazônico (Cordeiro *et al.*, 2002; Almeida *et al.*, 2005). Outro fator que também favorece a mobilização do mercúrio e possivelmente a produção de metilmercúrio na Amazônia é a formação de grande lagos para geração de energia hidroelétrica, como observado em estudos realizados no lago de Tucuruí (Malm *et al.*, 2004; Kehrig *et al.*, 2004; Palermo *et al.*, 2004).

Apesar da documentação disponível sobre a contaminação da biota, sedimentos, solos e de estudos de saúde em algumas populações da Amazônia, especialmente os ribeirinhos, as fontes e sumidouros de mercúrio na Amazônia brasileira não estão bem estabelecidos e ainda não há um completo entendimento de seu ciclo biogeoquímico. Algumas populações ribeirinhas da Amazônia têm níveis elevados de mercúrio nos cabelos. Isto tem sido atribuído a sua dieta à base de peixes, sua principal fonte de proteínas (Aula *et al.*, 1994; Vasconcellos *et al.*, 1994; Leino & Lodenius, 1995; Kehrig *et al.*, 1997; Barbosa *et al.*, 1997; Vasconcellos *et al.*, 2000; Santos *et al.*, 2002; Crompton *et al.*, 2002; Fearnside, 2003).

Esforços internacionais (UNIDO, UNEP, BIRD, USEPA) para reduzir as emissões de mercúrio ou para substituí-lo por tecnologias limpas são necessários para reduzir o passivo de mercúrio em ecossistemas aquáticos. No entanto, dada as estimativas de mercúrio presente no ecossistema amazônico e a sua persistência no ambiente, esta abordagem deve ser vista como um plano de gestão sócio-ambiental de longo prazo.

A contaminação por mercúrio tem sido reconhecida como um importante problema de saúde pública há mais de 50 anos, principalmente por seus efeitos irreversíveis sobre o desenvolvimento do sistema nervoso, como ocorreu nos trágicos episódios de intoxicação humana no Japão e no Iraque. Efeitos danosos incluem: retardo mental, paralisia cerebral, surdez, cegueira e disartria, em indivíduos que foram expostos ainda no útero materno e danos sensoriais e motores graves, em indivíduos expostos na idade adulta (WHO, 1990; Barbosa *et al.*, 1995; Myers *et al.*, 1998; Lebel, 1998; NRC, 2000; Mergler, 2002; Dorea *et al.*, 2005). Há também evidências de que a exposição de seres humanos e de animais ao metilmercúrio pode resultar em efeitos adversos sobre o sistema cardiovascular tanto em indivíduos adultos quanto em desenvolvimento (Grandjean *et al.*, 1999; UNEP, 2002).

Este artigo apresenta um panorama das pesquisas desenvolvidas e publicadas sobre a contaminação por mercúrio na Amazônia legal e sua evolução ao longo tempo. A avaliação foi baseada em uma extensiva e sistemática revisão dos projetos de pesquisa e de informações científicas produzidas a partir de 1990 até 2005, assim como, nos dados dos grupos de pesquisa cadastrados no CNPq. Para a obtenção das informações foram analisados estudos como dissertações e/ou teses, artigos em revistas indexadas, relatórios de pesquisa e livros. Outro aspecto do tema abordado refere-se aos periódicos nos quais os pesquisadores que trabalham com o tema Mercúrio na Amazônia estão publicando. Diferentes aspectos desta temática foram pesquisados e analisados (i.e. inquéritos ambientais, impactos na saúde humana, melhorias tecnológicas e etc.). Os principais avanços das pesquisas desenvolvidas e as lacunas

remanescentes em relação às questões ambientais e aos efeitos na saúde humana relacionados à contaminação por mercúrio são identificados e discutidos neste artigo.

METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão sistemática e extensiva nas bases de dados eletrônicas para o período de 1990 a 2005 utilizando-se palavras-chave específicas com o intuito de identificar estudos sobre contaminação por mercúrio na região da Amazônia Legal. Grupos de pesquisa envolvidos com a questão do mercúrio na Amazônia também foram identificados e selecionados em função das diferentes linhas de investigação, incluindo os tipos de estudos realizados, assim como a localização geográfica do estudo. As bases de dados bibliográficas pesquisadas na Internet foram: (1) *PubMed*; (2) *U.S National Library of Medicine Gateway*; (3) *Medline*; (4) *Web of Science database - ISI Web do Knowledge website*; (5) LILACS e (6) Periódicos CAPES.

Os dados obtidos foram filtrados e organizados de modo a responder quatro questões:

1. Quem tem conduzido pesquisas sobre contaminação por mercúrio na Amazônia Legal?
2. Onde os estudos foram realizados?
3. Em quais revistas científicas os resultados das pesquisas são publicados?
4. Quais são os tipos de estudos realizados?

Um Sistema de Informação Geográfica foi utilizado para responder a pergunta número 2. Se as coordenadas geográficas do local de estudo estavam disponíveis no trabalho de pesquisa, eram registradas; caso contrário, uma complexa estratégia de geocodificação foi realizada para recuperar os locais mencionados. A posição correta desses locais foi verificada pela identificação dos mesmos em um mapa digital que contém referências, tais como rios, cidades, aldeias, povoados indígenas e reservas, bem como as fronteiras municipais. Se a descrição do local de investigação diferia da verificada, foi aplicada uma segunda estratégia, que consistiu em recuperar mapas publicados dentro dos artigos selecionados. Os mapas permitiram reconhecer referências topográficas, tais como rios, lagos e aldeias e identificar uma área de referência. Uma terceira estratégia consistiu em recolher os nomes dos locais mencionados no artigo e identificar suas coordenadas usando bases de dados como a lista dos municípios e vilas do Brasil (IBGE, 2006) e dicionários geográficos da Internet (Multimap, 2006; Maplândia, 2006). Finalmente, a quarta estratégia utilizada foi identificar no mapa digital os nomes de rios e lagos citados nos documentos. Uma vez que todas estas unidades espaciais têm grandes dimensões na Amazônia, (ex: rios com mais de 1.000 km e municípios com mais de 100.000 km²), uma combinação de estratégias foi adotada. Por exemplo, procurar a confluência dos rios, ou de um local no rio "A" a 120 km da cidade "B". Devido a este procedimento, o erro de posicionamento de alguns locais de estudo é estimado em 30 km, o que é compatível com a escala original do mapa de referência (1:10.000.000).

A fim de delinear o perfil dos estudos realizados pelos grupos de pesquisa e pelos indivíduos que trabalham na região amazônica, bases de dados brasileiras específicas, tais como o Diretório de Grupos de Pesquisa Brasileiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e o PROSSIGA do Ministério da Ciência e Tecnologia foram também analisados.

O censo do CNPq sobre grupos de pesquisa iniciou em 1992 e hoje inclui a maior parte dos pesquisadores brasileiros ativos (Guimarães *et al.*, 2001). Esta base de dados refere-se aos pesquisadores, aos técnicos e aos estudantes incluídos em cada grupo de pesquisa, aos respectivos temas de investigação, bem como a principal área de atuação científica. Foram utilizadas palavras-chave para identificar grupos de pesquisa em diversas áreas (ex: nome do grupo, o nome do tópico de investigação, títulos de publicações, etc.). Alguns grupos podem não ter sido identificados com esta forma de busca, mesmo que façam pesquisas sobre contaminação por mercúrio na região Amazônica, mas não exclusivamente nesta região. Ou então, os grupos que não usaram “*Amazon*” como palavra-chave da sua linha de pesquisa (ex: “mercúrio” e “ecossistemas tropicais”). Aceitando as possíveis limitações desta abordagem, a metodologia foi aplicada a cada censo do CNPq (1993, 1995, 1997, 2000, 2002, e 2005).

Além disso, bases de dados de instituições de financiamento à pesquisa dos governos federal e estaduais foram examinadas para identificar os recursos financeiros atribuídos à pesquisa sobre contaminação por mercúrio na Região Amazônica. O montante dos recursos direcionados para cada grupo de pesquisa (como bolsas de estudo) permitiu a avaliação da relevância dada a esta questão pelo governo brasileiro. A base de dados do PROSSIGA permite pesquisas usando palavras-chave, sobre bolsas de estudo (ex: Apoio técnico, Produtividade, Pesquisador visitante) e projetos de pesquisa individuais e institucionais. Os dados incluem as agências de financiamento federal (CAPES, CNPq e FINEP) e algumas agências de financiamento estaduais (FACEPE, FAPEMIG, FAPERGS, FAPERJ, FAPESP e FUNCAP), que são responsáveis pela maior parte do apoio financeiro à pesquisa científica no Brasil. Além dos grupos de pesquisa brasileiros, esses dados também permitiram identificar cooperações com grupos de investigação estrangeiros.

Os documentos analisados neste trabalho de revisão foram principalmente artigos de revistas científicas, que são indexados em bases de dados internacionais ou nacionais. Há duas razões principais para isso: em primeiro lugar, esses documentos são considerados mais importantes e este é o mais eficiente meio de divulgação do conhecimento científico. Revistas científicas são publicadas mais rapidamente do que livros, por isso seus dados tendem a ser mais atualizados. Além disso, os periódicos científicos são, geralmente, revisados, o que é o principal mecanismo para assegurar a qualidade da informação. Resumos ou quaisquer outros documentos com menos de duas páginas, bem como, os documentos sem os nomes dos autores ou das instituições, não foram considerados.

A maior parte dos dados foi recolhida a partir de fontes eletrônicas. O acesso ao texto integral foi fundamental, a fim de descrever parâmetros como tipo de estudo (ambiental e/ou saúde), matrizes analisadas, tecnologias limpas, dentre outros. O conjunto das informações selecionadas nos textos foi organizado em uma planilha para facilitar uma análise descritiva.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de 1990 até 2005, foram identificadas 429 publicações, incluindo 41 teses e dissertações, 25 relatórios, 15 livros, 307 artigos publicados em revistas científicas e 41 resumos expandidos apresentados em reuniões científicas sobre a contaminação de mercúrio na Bacia Amazônica Brasileira (Figura 1). Embora

a produção tenha variado consideravelmente ao longo do período, houve um aumento geral do número de publicações por ano, do início da década de 1990 para o final do período analisado. Isto é mais evidente no número de artigos publicados em periódicos indexados, sendo observado um máximo de publicações no ano 2000 (49 referências), com um decréscimo nos últimos dois anos, 22 e 24 referências, respectivamente.

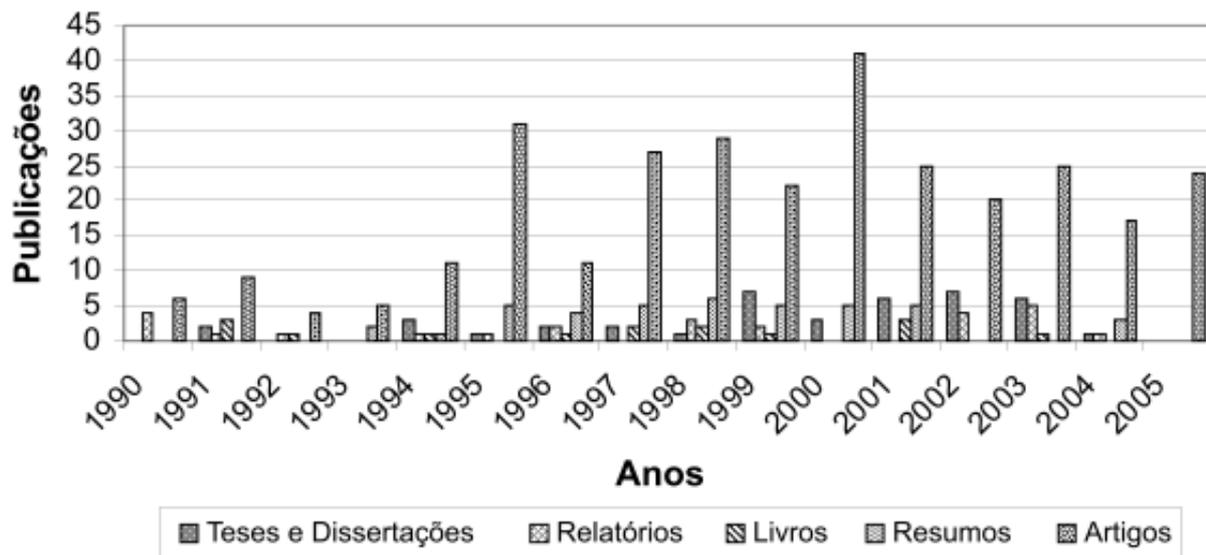


Figura 1: Número e tipo de publicação por ano no período de 1990 até 2005.

Respondendo à questão 1, poucas instituições trabalhavam com o tema da contaminação por mercúrio na Região Amazônica, no início dos anos 80. Só na década seguinte, a partir de cooperações internacionais, aumentaram os grupos pesquisando sobre esta questão. Dentre os países da bacia Amazônica, as instituições de pesquisa brasileiras foram responsáveis pela maior parte da produção científica (> 90%) e concentram a maior parte dos grupos de pesquisa envolvidos com o tema.

Embora o número de instituições brasileiras que pesquisam sobre contaminação por mercúrio na Amazônia no período estudado (23 instituições de 1990-1997 e 25 instituições de 1998-2005) tenha se mantido quase constante, o número de instituições internacionais que cooperaram com os pesquisadores brasileiros aumentou nos últimos 8 anos (27 instituições) em comparação com o início dos anos 90 (13 instituições). Em relação às cooperações entre pesquisadores brasileiros e instituições de pesquisa internacionais, os principais parceiros do início do período (1990-1997) foram os japoneses (43%), os americanos (24%) e os canadenses (14%). Enquanto que no período de 1998 a 2005, as instituições de pesquisa canadenses tornaram-se as principais parceiras dos brasileiros (30%), seguidos pelas instituições americanas (19%), japonesas (11%) e suecas (11%).

Uma maneira consistente de analisar a evolução das pesquisas sobre mercúrio na Amazônia é observar os grupos envolvidos na investigação, em vez de analisar os pesquisadores individualmente. Esta forma de análise implica que haja um tema de pesquisa, que seja partilhado por vários pesquisadores, com objetivos e projetos de pesquisa em comum. Os censos dos grupos de pesquisa do CNPq foram à fonte de dados para esta análise. Utilizou-se para a busca, os termos “Amazônia” e “Mercúrio” como palavras-chave nos campos do nome do grupo de pesquisa ou da principal área de pesquisa. Esta abordagem pode ter excluído alguns grupos de pesquisa tradicionais, que desenvolvem estudos sobre a contaminação de mercúrio na Amazônia, mas não exclusivamente nesta região ou grupos que não utilizaram essas palavras-chave nos

campos pesquisados. Assim, a eventual limitação desses dados secundários deve ser considerada.

Tabela 1: Grupos de pesquisa listados na base de dados do CNPq em que “Mercúrio” e “Amazônia” foram usados para o nome dos Grupos de Pesquisa ou das Linhas de Pesquisa.

Grupos de Pesquisa	Instituições Brasileiras	Linhas de Pesquisa	Área
Mineralogia e Geoquímica Aplicada	Universidade Federal do Pará (UFPA)	Caracterização e aplicação de resíduos minerais industriais	Geociências
Toxicologia	Universidade Federal do Pará (UFPA)	Determinação de mercúrio total em amostras ambientais e biológicas	Farmácia
Mercúrio em populações e no ambiente Amazônico	Instituto Evandro Chagas (IEC)	Populações Amazônicas expostas ao mercúrio	Saúde Pública
Laboratório de Biogeoquímica Ambiental	Universidade Federal de Rondônia (UNIR)	Contaminação humana e ambiental por mercúrio na Bacia do rio Madeira	Geociências
Biogeoquímica Ambiental	Universidade Federal do Ceará (UFC)	Biogeoquímica do mercúrio em áreas tropicais	Ecologia
Química Analítica Ambiental	Universidade de Brasília (UnB)	Aspectos analíticos e toxicológicos do mercúrio	Química
Química Ambiental	Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas)	Química Ambiental	Química
Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca	Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)	Aspectos ambientais, sanitários e ecotoxicológicos da poluição ambiental por metais pesados e por substâncias orgânicas, especialmente mercúrio, em áreas de garimpo da Amazônia	Ecologia

A Tabela 1 mostra informações detalhadas sobre os grupos de pesquisa atualmente listados no banco de dados do CNPq. Este censo contém as informações pesquisadas até 15 de Julho de 2002, bem como atualizações feitas pelos líderes dos grupos de pesquisa até abril de 2005. O número total de grupos de pesquisa tem sido estável (cerca de 8 grupos), após um máximo no final dos anos 90 (13 grupos). No entanto, como mostra a Figura 2, a origem dos grupos de pesquisa (pertencentes ou não às instituições localizadas na bacia amazônica) teve uma alteração em relação à dominância dos grupos de pesquisa. A partir do ano 2000, os grupos de pesquisa de instituições amazônicas se tornaram a maioria, sugerindo a importância do tema para as instituições da região.

As parcerias nacionais e internacionais contribuíram para o desenvolvimento de instituições de pesquisa da Amazônia. Um exemplo foi a cooperação entre o grupo de “Radioisótopos” da Universidade Federal do Rio de Janeiro e o grupo de “Biogeoquímica Ambiental” da Universidade Federal de Rondônia. Outro caso envolve

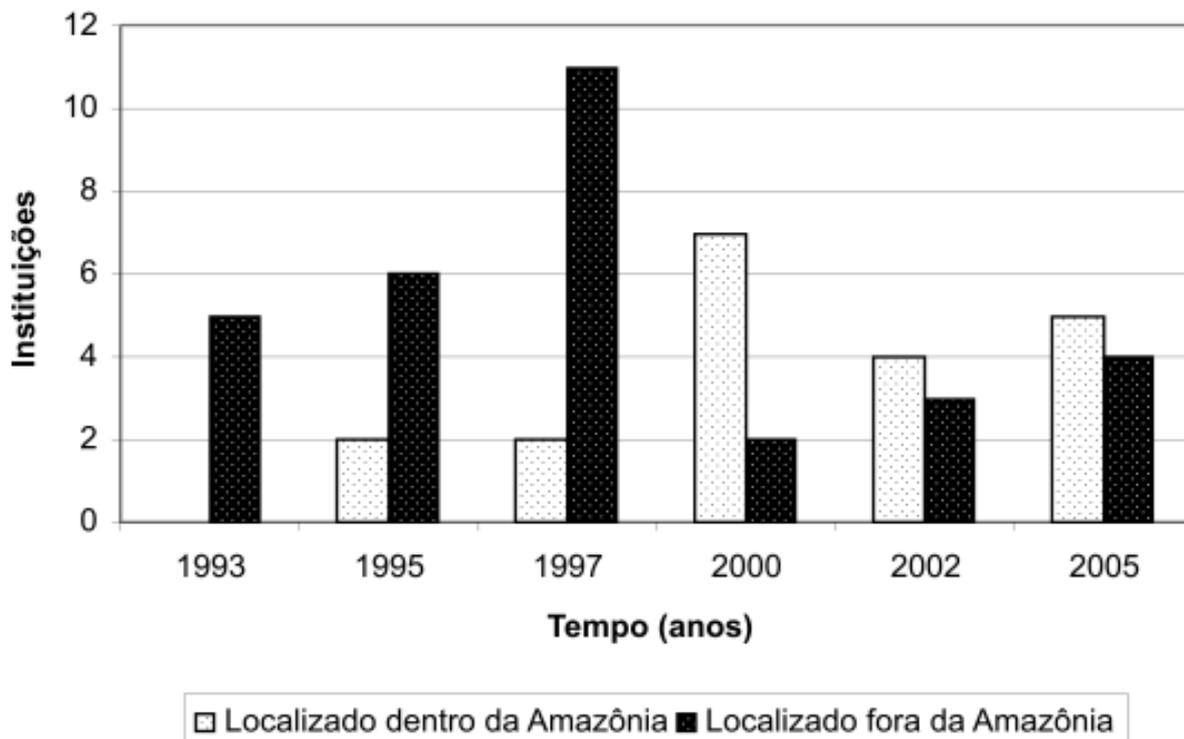


Figura 2: Evolução do número e da dominância dos grupos de pesquisa brasileiros que estudam a contaminação da Amazônia por mercúrio, de acordo com o censo do CNPq de 2002.

o grupo do Instituto Evandro Chagas, que teve tanto uma colaboração internacional, com o Departamento de Medicina Ambiental da Universidade de Odense na Dinamarca, quanto colaborações nacionais com grupos da Universidade Federal do Pará, o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) e o Núcleo de Saúde Coletiva (NESC - UFRJ).

Entre os grupos de pesquisa listados na Tabela 1, dois grupos merecem destaque (UNIR - Rondônia e PUC-Campinas-SP) em relação ao número de pesquisadores, estudantes e técnicos. Cada um deles tem mais de 10 alunos envolvidos em pesquisa sobre contaminação de mercúrio na região amazônica. O grupo de São Paulo está envolvido principalmente com o desenvolvimento analítico, enquanto o outro grupo, do estado de Rondônia, estuda principalmente a avaliação da contaminação ambiental.

Outra forma de avaliar o desenvolvimento atual e futuro de uma área de pesquisa é verificar as bolsas atribuídas a projetos de pesquisa financiados sobre esse tema. A base de dados mostra duas bolsas de excelência em pesquisa pelo CNPq, uma na Universidade Federal do Rio de Janeiro e outra na UNICAMP. Também foram identificadas seis bolsas de *Ph.D.* nas seguintes instituições: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), no Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA), na UNICAMP e na Universidade do Estado de São Paulo (UNESP); uma bolsa de Pós-doutoramento no Instituto de Pesquisa em Energia Nuclear (IPEN) e duas bolsas de iniciação científica, uma na Universidade Federal do Pará (UFPA) e outra no Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA). Estes resultados indicam que os recursos alocados para a pesquisa sobre mercúrio na Amazônia são limitados, tendo em conta a importância e a extensão do problema da contaminação por mercúrio.

Entretanto, o presente estudo não pôde identificar os projetos sobre a contaminação mercurial na Bacia Amazônica nas bases de dados das principais agências de financiamento. Assim, a relevância do financiamento alocado para as pesquisas neste tema não pôde ser avaliada. Esta é uma falha importante na gestão

dos fundos para a pesquisa, que exige o planejamento eficiente dos futuros investimentos.

A avaliação dos censos do CNPq sugere que a contaminação por mercúrio na região amazônica é um tópico de pesquisa bem estabelecido entre as instituições brasileiras, incluindo as da região amazônica, onde grupos de pesquisa estão ativamente produzindo dados científicos sobre este tema.

Em relação à segunda questão, a Figura 3 mostra que a Amazônia Brasileira (128 locais de amostragem) é a área mais estudada, seguida pelo Suriname (7 amostragem locais) e Guiana Francesa (6 amostragem locais), enquanto que a Amazônia peruana e a venezuelana apresentam poucas áreas de pesquisa sobre mercúrio (2 locais de amostragem). As principais áreas de estudo estão localizadas ao longo dos rios Madeira e Tapajós no Brasil. Outros rios importantes, como o rio Negro e o Purus, são pouco estudados.

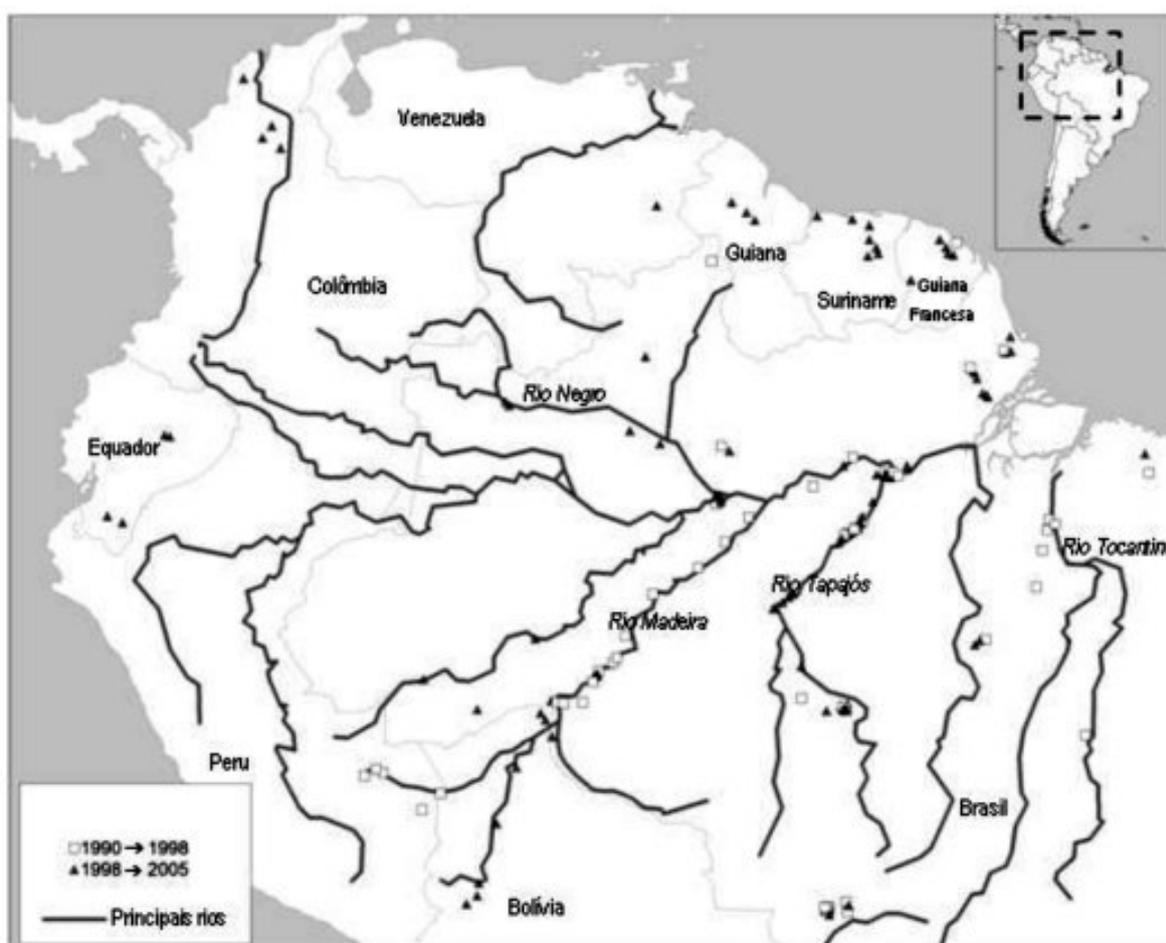


Figura 3: Áreas de estudo sobre contaminação mercurial na Bacia Amazônica de acordo com os anos das publicações.

Esta distribuição espacial reflete a localização dos garimpos e das grandes atividades mineradoras na Bacia Amazônica. Por exemplo, ao longo do Rio Tapajós, onde um garimpo intensivo tem ocorrido desde os anos de 1950. Durante os anos de 1990, a atividade mineradora nesta área abrangia mais de 150.000 km², onde trabalharam 60.000 garimpeiros (Villas-Bôas *et al.*, 2001). Alta Floresta (Rio Teles Pires), Serra do Navio (rios Tartarugalzinho e Amapari) e Porto Velho (Rio Madeira) também representaram importantes áreas de garimpo. As bacias mais estudadas

(Tapajós, Madeira e Tocantins) também são as mais afetadas pela atividade de mineração de ouro (Guimarães *et al.*, 2000; Harada *et al.*, 2001; de Jesus *et al.*, 2001). Na última década, houve uma alteração significativa neste padrão espacial, com uma maior representação de outros territórios, como a Guiana Francesa, Suriname, Peru, Equador e Bolívia. A distribuição espacial das áreas estudadas permite visualizar o deslocamento dos estudos das áreas tradicionais de garimpo para zonas mais remotas da Amazônia. Esta mudança reflete provavelmente a hipótese de que há fontes naturais de mercúrio na Amazônia que naturalmente enriquecem os solos a despeito da mineração de ouro na região. Além disso, a mineração de ouro diminuiu consideravelmente ao longo das últimas décadas. A recente distribuição espacial das pesquisas na Amazônia é mais dispersa e relativamente maior do que nas áreas impactadas pela mineração. Exemplos desta mudança são os rios Negro e Beni. Maurice-Bourgoin *et al.* (1999) e Santos *et al.* (2001) justificam a localização de suas áreas de estudo como a busca por locais não impactados por atividades mineradoras que apresentem mercúrio de origem natural.

Em relação à questão 3, os estudos sobre contaminação mercurial na Bacia Amazônica têm gerado publicações em várias revistas científicas. As cinco principais revistas científicas, considerando-se o número de artigos publicados abordando os diferentes aspectos desta linha de pesquisa, foram: *The Science of the Total Environment* (33 artigos), *Environmental Research* (28 artigos), *Water, Air and Soil Pollution* (24 artigos), *Ambio* (13 artigos) e *Cadernos de Saúde Pública* (9 artigos). Embora a maioria dessas revistas tenha pesquisadores da área ambiental como seus principais leitores, o periódico "*Cadernos de Saúde Pública*" é caracterizado por publicações na área da saúde. Estas são as duas principais abordagens dos estudos realizados sobre a contaminação de mercúrio na Bacia Amazônica.

Os grupos de pesquisa nacionais e internacionais escolheram, preferencialmente, revistas internacionais indexadas, para a publicação de seus resultados. Estas escolhas são baseadas em várias questões, como tempo até a publicação, o impacto da revista, a popularidade para a comunidade científica, bem como a acessibilidade aos artigos. Este último tópico tem recebido cada vez mais atenção dos pesquisadores devido às possibilidades oferecidas pela *Internet*, incluindo algumas iniciativas de periódicos científicos com acesso livre. Embora os editores dos periódicos científicos saibam das vantagens da criação de versões eletrônicas dos artigos científicos publicados, o acesso aos mesmos é restrito aos assinantes. A assinatura de periódicos eletrônicos é, em geral, tão cara quanto as suas versões em papel, apesar dos custos de produção serem reduzidos. Tais custos elevados afetam instituições com fundos limitados, especialmente de países pobres ou em desenvolvimento. Alguns editores permitem o livre acesso ao conteúdo de questões mais antigas discutidas em seus periódicos como uma forma de compromisso e o acesso parcial para atender as reivindicações da comunidade científica para tornar a informação científica disponível livremente. Espera-se que esta tendência continue a crescer no futuro e assim, o acesso aos dados científicos produzidos será para um público cada vez maior. Esta revisão, assim como, qualquer avaliação sobre a informação produzida sobre um tema específico, foi extremamente facilitada pela disponibilidade dos artigos *on line*. A eficiente difusão da informação científica é essencial para a sociedade moderna tomar decisões bem informadas e estabelecer prioridades.

Em relação à última pergunta, os artigos foram classificados em estudos de

revisão, ambientais, efeitos na saúde, desenvolvimento técnico e estudos integrados (saúde e ambiente). A Figura 4 mostra o número de artigos publicados durante o período de 1990-2005 distribuídos de acordo com esta classificação. De um total de 307 artigos, aproximadamente 36% trataram da contaminação dos compartimentos ambientais, seguido por estudos relacionados com a saúde (34%) e de revisões (13%). Apenas 7% dos estudos foram relacionados com melhorias tecnológicas (ou seja, novos métodos analíticos, novos processos de recuperação do mercúrio ou equipamentos para reduzir a contaminação, etc.). Cerca de 10% dos projetos de pesquisa fez uso de uma abordagem integrada, ou seja, avaliação da contaminação ambiental e suas conseqüências para a saúde humana.

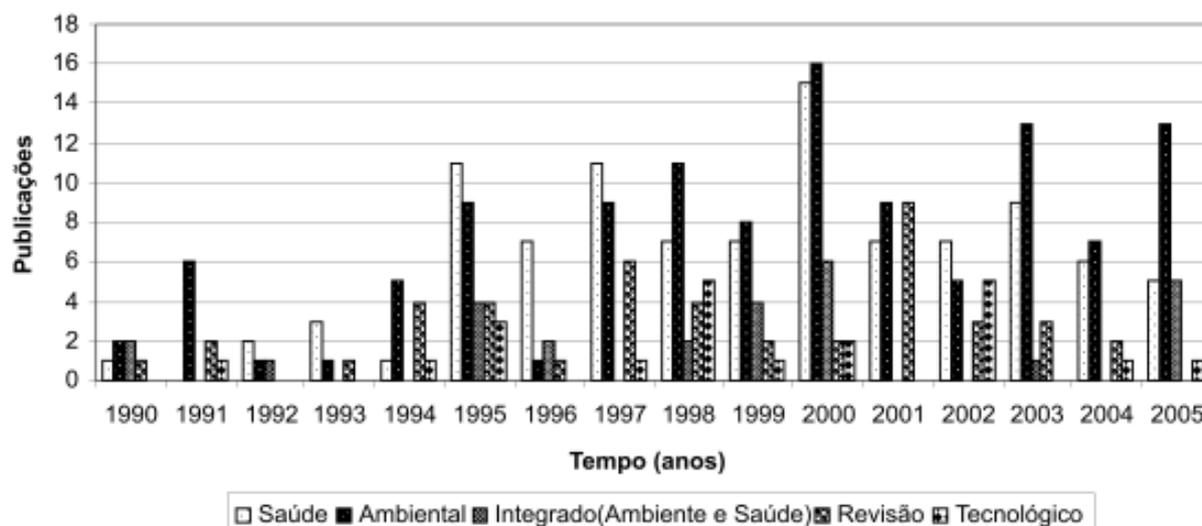


Figura 4: Número e tipo de estudos/publicações sobre contaminação por mercúrio na Bacia Amazônica no período de 1990 até 2005.

Artigos de revisão da literatura sobre um tópico específico têm um padrão cíclico, uma vez que dependem da contínua acumulação de conhecimentos sobre o assunto. Trabalhos de revisão só são justificáveis quando ocorreu uma acumulação suficiente de novos dados ou informações que permitam uma nova reflexão ou análise sobre o tema. Assim, podemos observar máximos recorrentes deste tipo de publicação em 1994, 1997 e o maior deles em 2001 (9 artigos). Depois de 2001, observa-se uma tendência decrescente, que será provavelmente revertida, num futuro próximo, com um novo ciclo de revisões, como o presente trabalho.

De acordo com os nossos dados, alguns poucos pesquisadores dedicaram esforços para o desenvolvimento de novas tecnologias. As publicações relatadas tinham um padrão descontínuo ao longo do tempo, com um máximo de 5 artigos publicados por ano. Isto pode ser explicado pela atitude típica de países em desenvolvimento, que normalmente importam tecnologias, incluindo equipamentos e procedimentos analíticos. Desenvolvimentos tecnológicos normalmente demoram mais tempo para se tornarem disponíveis e requerem incentivos e condições especiais. Esse tipo de publicação inclui métodos analíticos novos ou alternativos, como o proposto por Yallouz & Campos (2000). Outro exemplo são as tecnologias propostas para a melhoria do processo de mineração de ouro (ex: retortas), que, entretanto, tiveram pouco ou nenhum impacto no processo de trabalho dos garimpeiros. Contudo, essa tendência tem mudado nos últimos projetos de pesquisa, que possuem componentes educacionais, com uma forte participação das comunidades locais (Hacon *et al.*, 2003; Caruso Project, 2006).

Os estudos ambientais foram os primeiros a detectar a contaminação

generalizada por mercúrio no ecossistema amazônico e continuaram como a principal abordagem científica utilizada ao longo do período avaliado neste trabalho. Houve um aumento no número de estudos até 2000 (16 estudos) e posteriormente, uma estabilização. Muitas destas avaliações foram desenvolvidas no contexto das áreas de mineração de ouro ativas ou inativas. Diversos artigos relatam a análise de diversas matrizes ambientais simultaneamente (Roulet *et al.*, 2000; Herpin *et al.*, 2002; Cordeiro *et al.*, 2002; Brabo *et al.*, 2003; Wasserman & Queiroz, 2004; Almeida *et al.*, 2005), principalmente: peixes (38%), água (16%), sedimentos (16%) e solo (14%). Outros poucos estudos envolveram a análise de amostras de ar (9%), de plantas (4%) e de animais selvagens (3%).

Os padrões irregulares em relação aos locais dos estudos e a diversidade dos tipos de amostras analisadas sugerem a falta de planos integrados de investigação. Assim, os estudos ambientais foram na maioria das vezes isolados no tempo e no espaço. Estas pesquisas desarticuladas produziram grandes quantidades de dados, porém, não permitem uma visão integrada da contaminação por mercúrio no ambiente amazônico. Por exemplo, apenas três artigos sobre as concentrações de mercúrio em animais selvagens foram identificados. Embora existam muitos dados sobre os níveis de mercúrio em peixes, a principal via de entrada do metilmercúrio em muitas cadeias tróficas, não há informações suficientes sobre os níveis deste poluente nos seus principais predadores (pássaros, mamíferos e répteis). Portanto, não se pode afirmar se estes animais estão sofrendo efeitos adversos da contaminação mercurial e se cadeias tróficas estão sendo comprometidas no ecossistema Amazônico. A enorme dimensão da bacia amazônica e a absoluta falta de infra-estrutura básica na maior parte da sua extensão tornam fundamental o desenvolvimento e a implementação de estratégias de pesquisa integradas, bem articuladas e por longos períodos de tempo.

Avaliações exclusivas sobre os efeitos da contaminação por mercúrio na saúde de populações locais começaram depois dos estudos ambientais. Houve um aumento dos poucos estudos no início dos anos de 1990, com um máximo no ano 2000 (15 publicações). Apenas durante breves períodos (de 1995 até 1997 e em 2002) o número de estudos sobre saúde superou os estudos ambientais. Nos últimos anos, houve uma diminuição no número de artigos publicados sobre este assunto. Isto pode estar relacionado, pelo menos em parte, ao aumento do número de estudos que avaliaram a contaminação ambiental e efeitos na saúde simultaneamente. Embora, o número de estudos integrados tenha sido historicamente menor (sempre inferior a 7 estudos por ano), cinco documentos de abordagem integrada foram publicados no ano de 2005. Este resultado pode indicar que este tipo de abordagem continuará a aumentar no futuro.

A pesquisa sobre os impactos na saúde pela exposição ao mercúrio na Amazônia exige uma compreensão ampla das condições locais. Em relação aos estudos sobre a saúde de populações, o número de publicações científicas aumentou em países da Bacia Amazônica do início dos anos 1990 até os últimos anos do período de estudo. De 1990 até 1999, foram publicados 81 artigos com análises de amostras biológicas, enquanto que nos próximos seis anos (de 2000 a 2005), este número foi de 61 artigos. A exposição humana ao mercúrio foi caracterizada de três maneiras: primeira, através de informações do histórico profissional (contato e uso de mercúrio metálico durante a mineração de ouro), hoje em dia estes estudos aparecem com menos freqüência na literatura. A segunda maneira foi através de informações sobre o consumo de peixes (freqüência das espécies predominantes do pescado consumido) e em terceiro lugar, através da análise das concentrações de mercúrio em amostras biológicas humanas

reconhecidas como bioindicadores. A definição do bioindicador depende do propósito do estudo e da rota de exposição. Para as pessoas cronicamente expostas ao metilmercúrio através do consumo de peixes, foram analisadas amostras de sangue ou de cabelo. Para as pessoas expostas ao mercúrio metálico, como na mineração de ouro, são analisadas amostras de urina (Berlin, 1986). Assim, amostras de cabelo foram analisadas em 61% das avaliações de saúde, seguida por amostras de urina (19%) e de sangue (17%). Outros bioindicadores analisados em estudos sobre saúde, para fins específicos, foram leite materno (2%) e células do palato (1%).

O número de publicações sobre populações indígenas brasileiras expostas ao mercúrio aumentou consideravelmente nos últimos anos. De 1990 até 1998, houve apenas 4 publicações científicas. No entanto, nos últimos seis anos, a partir de 1999 até 2005, treze artigos foram publicados sobre este assunto. Esses estudos mostraram que mesmo populações nativas que vivem longe das atividades de exploração de ouro têm elevadas concentrações de mercúrio nos cabelos. Entretanto, não foram realizadas avaliações clínicas ou neurológicas de forma sistemática (Vasconcellos *et al.*, 2000). Na verdade, poucos estudos investigaram os sinais clínicos e psicológicos dos efeitos neurológicos da intoxicação por mercúrio. Além disso, poucos artigos discutiram sobre as doenças endêmicas encontradas na Região Amazônica e seu possível papel como fator de confundimento, na avaliação dos efeitos tóxicos do mercúrio, uma vez que pode haver sobreposições entre os sintomas clínicos da exposição ao mercúrio e de certas doenças infecciosas. Os riscos sanitários da exposição ao mercúrio não são monitorados pelos serviços de saúde locais, uma vez que os profissionais da saúde não são treinados para distinguir um quadro toxicológico de exposição ao mercúrio de algumas doenças endêmicas da região (Santos *et al.*, 1992; Santos, 1993). Esta pode ser uma das razões pelas quais os efeitos tóxicos da exposição ao mercúrio ainda não são bem documentados na população da Amazônia. Portanto, há necessidade de melhorar o conhecimento dos possíveis efeitos sinérgicos entre mercúrio e as doenças endêmicas amazônicas, o que pode resultar em avanços na abordagem toxicológica tradicional.

Hoje, o cenário da exposição humana ao mercúrio na Amazônia mudou, no entanto, deve-se entender que a Bacia Amazônica representa um verdadeiro laboratório para estudar os efeitos da exposição crônica ao mercúrio e suas interações com a dieta, o histórico clínico e a susceptibilidade às doenças endêmicas tropicais (Silbergeld & Nyland, 2004). Infelizmente, este trabalho mostrou que estudos sobre os efeitos do mercúrio na saúde de populações ainda são um ponto fraco em termos do conhecimento das conseqüências da contaminação da Amazônia pelo mercúrio. Além disso, este trabalho de revisão expõe a falta de estudos e publicações relativas à avaliação de risco da contaminação por mercúrio na Bacia Amazônica.

O presente trabalho revelou que houve uma melhoria na capacidade analítica dos laboratórios e na qualificação do pessoal. Atualmente, vários laboratórios no Brasil são capazes de realizar análise de mercúrio total em matrizes ambientais e biológicas, enquanto que alguns poucos são capazes de analisar o metilmercúrio. Além disso, laboratórios brasileiros participam na determinação de mercúrio total e na produção de amostras de mercúrio certificadas. A cooperação entre grupos de pesquisa das diferentes regiões brasileiras foi de fundamental importância para a difusão desta capacidade analítica.

CONCLUSÃO

A contaminação por mercúrio na Região Amazônica foi discutida pela primeira vez no final dos anos 80, quando estudos ressaltaram a importância da “corrida do ouro” como fonte de mercúrio para este ecossistema.

As bases de dados de agências oficiais e de instituições públicas foram fundamentais para a realização deste trabalho. Por isso, a disponibilidade de livre acesso a bases de dados eletrônicas deve ser estimulada e apoiada. Compartilhar dados livremente poderá ajudar pesquisadores a conduzir estudos de forma mais rápida, econômica e abrangente no futuro. A eficiente difusão da informação científica é essencial para a sociedade moderna tomar decisões informadas e estabelecer prioridades. No entanto, bases de dados eletrônicas podem apresentar incoerências significativas, por isso a análise e a interpretação de dados secundários devem ser realizadas com atenção e cuidado.

Houve um aumento no número total de publicações ao longo do período estudado. Esta tendência provavelmente reflete o aumento do número de grupos de pesquisa em muitos países da Bacia Amazônica que trabalham atualmente com esta questão. O aparecimento e a consolidação destes grupos de pesquisa em vários países da Bacia Amazônica foi resultado direto das cooperações nacionais e internacionais. Dentre os países amazônicos, o Brasil teve o maior número de cooperações internacionais e de instituições de pesquisa que trabalham com contaminação por mercúrio. O aumento no número dos grupos de pesquisa de instituições localizadas na região amazônica foi notável. A partir do ano de 2000, tornaram-se a maioria entre os grupos de pesquisa brasileiros a tratar deste tema.

A distribuição espacial das pesquisas sobre contaminação por mercúrio na Bacia Amazônica mostrou-se heterogênea devido à presença de algumas regiões com muitos pontos de amostragem. No início dos anos 90, a maior parte dos estudos foi concentrada nas áreas de mineração de ouro e em bacias de grandes rios. O que pode ter levado a uma superestimativa das fontes e fluxos medidos. Mais recentemente, os locais de pesquisa tornaram-se mais dispersos ao longo da Bacia Amazônica, incluindo as áreas não impactadas pela mineração. Isto é provavelmente resultado da nova hipótese sobre fontes de mercúrio na Amazônia, que sugere que os solos são naturalmente enriquecidos por mercúrio. A maior parte dos estudos não são georreferenciados, tornando difícil a comparação dos dados de diferentes estudos.

Entre os diferentes tipos de estudos desenvolvidos sobre a contaminação por mercúrio na Bacia Amazônica, as avaliações dos compartimentos ambientais contaminados são os estudos mais comuns de pesquisa. A avaliação da saúde das populações locais expostas ao mercúrio é o segundo aspecto mais estudado. No entanto, esses estudos são ainda insuficientes em termos de conhecimento e sofisticação metodológica. A relação entre a saúde humana e a contaminação ambiental é muito complexa. Os riscos para a saúde humana estão associados com uma variedade de aspectos econômicos e sociais e precisam ser avaliados dentro do contexto local.

Houve um aumento de estudos utilizando abordagens interdisciplinares, refletido na composição dos grupos de pesquisa e no aumento da cooperação entre instituições de diferentes áreas científicas. Entretanto, a maioria dos estudos ainda é isolada no tempo e no espaço, tratando apenas de um aspecto específico da contaminação por

mercúrio na Amazônia. Estas pesquisas desarticuladas e sem uma análise de tendências sobre os níveis de contaminação em diferentes compartimentos e indicadores biológicos não são capazes de dar uma visão conclusiva do problema.

A complexidade do ecossistema amazônico, junto ao limitado conhecimento do ciclo biogeoquímico do mercúrio na floresta tropical, explica as dificuldades que a comunidade científica enfrenta para avaliar o impacto da contaminação por mercúrio. Assim, os conhecimentos atuais sobre o transporte, transformação e destino do mercúrio no ambiente terrestre e aquático Amazônico ainda é muito superficial. Estas questões afetam o potencial da exposição das populações locais e, conseqüentemente, os seus riscos.

Concluindo, este panorama demonstra que ainda não existe uma explicação conclusiva sobre os elevados níveis de mercúrio em alguns locais da Bacia Amazônica. Pesquisas interdisciplinares, de longo prazo, são necessárias, levando em conta o transporte, a transformação e o destino do mercúrio, bem como, a rápida conversão de extensas partes da floresta em áreas para a agropecuária. Além disso, os efeitos do mercúrio sobre a saúde das populações locais devem ser estudados usando uma abordagem integrada e discussão participativa, que deve incluir um programa de educação ambiental e a comunicação dos resultados dos estudos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAGI, H. & NAGANUMA, A. (2000) Human exposure to mercury and the accumulation of methylmercury that is associated with gold mining in the Amazon Basin, *Brazilian Journal of Health Sciences*, **46**: 323-328.
- AKAGI, H. (1995) Mercury pollution in the Amazon, Brazil. *Japanese Journal of Toxicology and Environmental Health*, **41**: 107-115.
- ALMEIDA, M.D.; LACERDA, L.D.; BASTOS, W.R.; HERRMANN, J.C. (2005) Mercury loss from soils following conversion from forest to pasture in Rondônia, Western Amazon, Brazil. *Environmental Pollution*, **137** (2): 179-186.
- ARTAXO, P.; CAMPOS, R.C.; FERNANDES, E.T.; MARTINS, J.V.; XIAO, Z.F.; LINDQVIST, O. (2000) Large scale mercury and trace element measurements in the Amazon Basin. *Atmospheric Environment*, **34**: 4085-4096.
- AULA, I.; BRAUNSCHWEILER, H.; LEINO, T.; MALIN, I.; PORVARI, P.; HATANAKA, T.; JURAS, A.A. (1994) Levels of mercury in the Tucuruí Reservoir and its surrounding area in Pará, Brasil In: *Mercury Pollution: Integration and Synthesis*, WATRAS, C.J. & HUCKABEE, J.W. (eds.) Lewis Publishers, Boca Raton, p. 21-40.
- AULA, I.; BRAUNSCHWEILER, H.; MALIN, I. (1995) The watershed flux of mercury examined with indicators in the Tucuruí reservoir in Pará, Brazil. *The Science of the Total Environment*, **175**: 97-107.
- BARBOSA, A.C.; BOISCHIO, A.A.; EAST, G.A.; FERRARI, I.; GONÇALVES, A.; SILVA, P.R.M. (1995) Mercury contamination in the Brazilian Amazon: Environmental and occupational aspects. *Water, Air & Soil Pollution*, **80**: 109-121.
- BARBOSA, A.C.; GARCIA, A.M.; DE SOUZA, J.R. (1997) Mercury contamination in hair of riverine populations of Apiacas Reserve in the Brazilian Amazon. *Water, Air, Soil Pollution*, **97**: 1-8.
- BARBOSA, A.C.; SOUZA, J.; DÓREA, J.G.; JARDIM, W.F.; FADINI, P.S. (2003) Mercury biomagnification in a tropical black water, Rio Negro, Brazil. *Archives of Environmental Contamination & Toxicology*, **45**: 235-246.

- BARKAY, T.; MILLER, M.S.; SUMMERS, A.O. (2003) Bacterial mercury resistance from atoms to ecosystems. *FEMS Microbiology Review*, **27**: 355-384.
- BERLIN, M. (1980) Handbook on the toxicology of metals. FRIBERG, L.; NORDBERG, G.; VOUK, V. (eds.), v. II. Elsevier, New York, p: 387-445.
- BRABO, E.S.; ANGÉLICA, R.S.; SILVA, A.P.; FAIAL, K.R.F.; MASCARENHAS, E.; SANTOS, E.C.O. (2003) Assessment of mercury levels in soils, waters, bottom sediments and fishes of acre state in Brazilian Amazon. *Water, Air, Soil Pollution*, **147**: 61-77.
- CARUSO PROJECT (2006) Mercury exposure and ecosystem health in the Amazon. Disponível em <www.unites.uqam.ca/gmf/caruso/caruso_home.htm>. Acessado em 03/03/2006.
- CAPEX (2006) Portal Periódicos. Disponível em <<http://www.periodicos.capes.gov.br>>. Acessado em 15/01/2006.
- CORDEIRO, R.C.; TURCQ, B.; RIBEIRO, M.G.; LACERDA, L.D.; CAPITANEO, J.; DA SILVA, A.O. (2002) Forest fire indicators and mercury deposition in an intense land use change region in the Brazilian Amazon (Alta Floresta, MT). *The Science of the Total Environment*, **293**: 247-256.
- CROMPTON, P.; VENTURA, A.M.; DE SOUZA, J.M.; SANTOS, E.; STRICKLAND, G.T.; SILBERGELD, E. (2002) Assessment of mercury exposure and malaria in a Brazilian Amazon riverine community. *Environmental Research*, **90**: 69-75.
- DE JESUS, I.; SANTOS, E.C.D.; BRABO, E.D.; LOUREIRO, E.C.B.; CAMARA, V.D.; MASCARENHAS, A.F.S. (2001) Exposure to elemental mercury in urban workers and gold miners from the Tapajós region, Para, Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology*, **67**: 317-323.
- DOREA, J.G.; BARBOSA, A.C.; FERRARI, I.; DE SOUZA, J.R. (2003) Mercury in hair and in fish consumed by Riparian women of the Rio Negro, Amazon, Brazil. *International Journal of Environmental Health Research*, **13**: 239-248.
- DOREA, J.G. & BARBOSA, A.C. (2004) Fruits, fish and mercury: further considerations. *Environmental Research*, **96**: 102-103.
- DOREA, J.G.; DE SOUZA, J.R.; RODRIGUES, P.; FERRARI, I.; BARBOSA, A.C. (2005) Hair mercury (signature of fish consumption) and cardiovascular risk in Mundurucu and Kayabi Indians of Amazonia. *Environmental Research*, **97**: 209-219.
- EBINGHAUS, R.; HINTELMANN, H.; WILKEN, R.D. (1994) Mercury-cycling in surface waters and in the atmosphere species analysis for the investigation of transformation and transport properties of mercury. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, **350**: 21-29.
- FADINI, P.S. & JARDIM, W.F. (2001) Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury? *The Science of the Total Environment*, **275**: 71-82.
- FEARNSIDE, P.M. (2003) Deforestation control in Mato Grosso: a new model for slowing the loss of Brazil's Amazon Forest. *Ambio*, **32**: 343-345.
- GRANDJEAN, P.; WHITE, R.F.; NIELSEN, A. (1999) MeHg neurotoxicity in Amazonian children downstream from gold mining. *Environmental Health Perspectives*, **107**: 587-591.
- GUIMARAES, J.R.D.; MEILI, M.; HYLANDER, L.D.; SILVA, E.D.E.; ROULET, M.; MAURO, J.B.N. (2000) Mercury net methylation in five tropical flood plain regions of Brazil: high in the root zone of floating macrophyte mats but low in surface sediments and flooded soils. *The Science of the Total Environment*, **261**: 99-107.
- GUIMARÃES, R.; LOURENÇO, R.; COSAC, S. (2001) A pesquisa em epidemiologia no Brasil. *Revista de Saúde Pública*, **35**: 321-340.
- HACON, S.; ARTAXO, P.; GERAB, F.; YAMASOE, M.A.; CAMPOS, R.C.; CONTI, L.F.; LACERDA, L.D. (1995) Atmospheric mercury and trace elements in the region of

- Alta Floresta in the Amazon basin. *Water, Air, Soil Pollution*, **80**: 273-283.
- HACON, S.; ROCHEDO, E.R.; CAMPOS, R.C.; ROSALES, G.; LACERDA, L.D. (1997) Risk assessment of mercury in Alta Floresta, Amazon Basin-Brazil. *Water, Air, Soil Pollution*, **97**: 91-105.
- HACON, S.; FARIAS, R.A.; CAMPOS, R.C.; ARGENTO, R.R.; ROSSI, A.P.; CAIRES, S.M. (2003) Current scenarios of human exposure to mercury in the northern region of Mato Grosso, Amazon Basin. *Environmental Sciences*, **10**:121-34.
- HARADA, M.; NAKANISHI, J.; YASODA, E.; PINHEIRO, M.D.N.; OIKAWA, T.; GUIMARAES, G.D. (2001) Mercury pollution in the Tapajós river basin, Amazon. Mercury level of head hair and health effects. *Environmental International*, **27**: 285-290.
- HERPIN, U.; CERRI, C.C.; CARVALHO, M.C.S.; MARKET, B.; ENZWEILER, J.; FRIESE, K. (2002) Biogeochemical dynamics following land use change from forest to pasture in a humid tropical area (Rondonia, Brazil): a multi-element approach by means of XRF-spectroscopy. *The Science of the Total Environment*, **286**: 97-109.
- HYLANDER, L.D.; SILVA, E.C.; OLIVEIRA, L.J.; SILVA, S. KUNTZE, E.K.; SILVA, D.X. (1994) Mercury levels in Alto-Pantanal: a screening study. *Ambio*, **23**: 478-484.
- IBGE (2006) Geocities. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <www.ibge.gov.br>. Acessado em 03/03/2006.
- JENSEN, S. & JERNELOV, A. (1969) Biological methylation of mercury in aquatic organisms. *Nature*, **223**: 753-754.
- KEHRIG, H.A.; MALM, O.; AKAGI, H. (1997) Methylmercury in hair samples from different riverine groups, Amazon, Brazil. *Water, Air, Soil Pollution*, **97**: 17-29.
- KEHRIG, H.A.; PALERMO, E.F.A.; MALM, O. (2004) Inorganic and methyl mercury in food chain from a Brazilian reservoir. *RMZ-Materials and Geoenvironment*, **51**: 1103-1106.
- LACERDA, L.D.; PFEIFFER, W.C.; OTT, A.T.; SILVEIRA, E.G. (1989) Mercury contamination in the Madeira River, Amazon Hg inputs to the environment. *Biotropica*, **21**: 91-93.
- LACERDA, L.D. & SOLOMONS, W. (1992) Mercúrio na Amazônia: Uma bomba relógio química? Rio de Janeiro, CETEM / CNPq, 78 p.
- LACERDA, L.D. (1995) Amazon mercury emissions. *Nature*, **374**: 20-21.
- LATTES CNPQ. (2005) Disponível em <<http://lattes.cnpq.br/>>. Acessado em 10/11/2005.
- LEBEL, J.; MERGLER, D.; BRANCHES, F.; LUCOTTE, M.; AMORIM, M.; LARRIBE, F. (1998) Neurotoxic effects of low-level MeHg contamination in the Amazonian Basin. *Environmental Research*, **79**: 20-32.
- LECHLER, P.J.; MILLER, J.R.; LACERDA, L.D.; VINSON, D., BONZONGO, J.C.; LYONS, W.B. (2000) Elevated mercury concentrations in soils, sediments, water, and fish of the Madeira River Basin, Brazilian Amazon: a function of natural enrichments? *The Science of the Total Environment*, **260**: 87-96.
- LEINO, T. & LODENIUS, M. (1995) Human hair mercury levels in the Tucuui area, state of Pará, Brazil. *The Science of the Total Environment*, **175**: 119-125.
- LILACS (2006) Latin America and Caribbean Health Sciences. Disponível em <<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxis-lind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.is&base=LILACS&lang=p>>. Acessado em 27/01/2006.
- MALM, O.; PFEIFFER, W.C.; SOUZA, C.M.M.; REUTHER, R. (1990) Mercury pollution due to gold mining in the Madeira River Basin, Brazil. *Ambio*, **19**: 11-15.
- MALM, O.; PALERMO, E.F.A.; SANTOS, H.S.B.; REBELO, M.F.; KEHRIG, H.A.; GUIMARÃES, J.R.D.; TORRES, J.P.M.; FONSECA, M.F.; PFEIFFER, W.C.; MEIRE, R.O. (2004) Transport and cycling of mercury in Tucuui reservoir, Amazon, Brazil: 20 years after fulfillment. *RMZ-Materials and Geoenvironment*, **51**: 1195-1198.

- MAPLANDIA (2006) Disponível em <www.maplandia.com>. Acessado em 15/02/2006.
- MARTINELLI, L.A.; FERREIRA, J.R.; FORSBERG, B.R.; VICTORIA, R.L. (1988) Mercury contamination in the Amazon – a gold rush consequence. *Ambio*, **17**: 252-254.
- MAURICE-BOURGOIN, L.; QUIROGA, J.L.; GUYOT, J.L.; MALM, O. (1999) Mercury pollution in the upper Beni River, Amazonian Basin: Bolivia. *Ambio*, **28**: 302-306
- MEDLINE (2006) Disponível em <<http://medlineplus.gov/>>. Acessado em 25/01/2006.
- MERGLER, D. (2002) Review of neurobehavioral deficits and river fish consumption from the Tapajó's (Brazil) and St. Lawrence (Canada). *Environmental Toxicology & Pharmacology*, **12**: 93-99.
- MOREL, F.M.M.; KRAPIEL, A.M.; AMYOT, M. (1998) The chemical cycle and bioaccumulation of mercury. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **29**: 543-566.
- MULTIMAP (2006) Disponível em <www.multimap.com>. Acessado em 03/03/2006.
- MYERS, G.J.; DAVIDSON, P.W.; SHAMLAYE, C. (1998) A review of MeHg and child development. *Neurotoxicology* 1998, **19**: 313-328.
- NIAGRU, J.O. (1992) Mercury pollution in Brazil. *Nature*, 356: 389.
- NRC (2000) Toxicological effects of methylmercury. National Academy Press National Research Council, Washington, DC.
- PALERMO, E.F.A.; KEHRIG, H.A., BRANCO, C.W.C.; MALM, O. (2004) Mercury and methylmercury in suspended particulate matter and sediments of a slightly impacted reservoir of Brazil. *RMZ-Materials and Geoenvironment*, **51**: 1289-1291.
- PFEIFFER, W.C. & LACERDA, L.D. (1988) Mercury inputs into the Amazon Region, Brazil. *Environmental Technology Letters*, **9**: 325-330.
- PFEIFFER, W.C.; LACERDA, L.D.; MALM, O.; SOUZA, C.M.M.; SILVEIRA, E.G.; BASTOS, W.R. (1989) Mercury concentrations inland waters of gold mining áreas in Rondônia, Brazil. *The Science of the Total Environment*, **87-8**: 223-229.
- PROSSIGA (2005) Disponível em <<http://prossiga.ibict.br/>>. Acessado em 10/11/2005.
- PUBMED (2006) Disponível em <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi>>. Acessado em 31/01/2006.
- RICHARD, S.; ARNOUX, A.; CERDAN, P.; REYNOUARD, C.; HOREAU, V. (2000) Mercury levels of soils, sediments and fish in French Guiana, South America. *Water, Air & Soil Pollution*, **124**: 221-244.
- ROULET, M. & LUCOTTE, M. (1995) Geochemistry of mercury in pristine and flooded ferrallitic soils of a tropical rain forest in French Guiana, South America. *Water, Air & Soil Pollution*, **80**: 1079-1085.
- ROULET, M.; LUCOTTE, M.; RHEAULT, I. ; TRAN, S. ; FARELLA, N.; CANUEL, R. (1996) Mercury in Amazonian soils: accumulation and release. *Proceedings of the IV International Conference on the Geochemistry of the Earth's Surface*, p: 453-457.
- ROULET, M.; LUCOTTE, M.; MERGLER, D. ; GUIMARÃES, J.R.D. (1998) The geochemistry of mercury in the central Amazonian soils developed on the Alter do Chao formation of the lower Tapajós River Valley, Pará State, Brazil. *The Science of the Total Environment*, **223**: 1-24.
- ROULET, M.; LUCOTTE, M.; GUIMARÃES, J.R.D.; RHEAULT, I. (2000) Methylmercury in water, seston, and epiphyton of an Amazonian River and its floodplain, Tapajós River, Brazil. *The Science of the Total Environment*, **261**: 43-59.
- SANTOS, E.C.D.; DE JESUS, I.M.; CAMARA, V.; BRABO, E.; LOUREIRO, E.C.B.; MASCARENHAS, A. (2002) Mercury exposure in Munduruku Indians from the community of Sai Cinza, State of Pará, Brazil. *Environmental Research*, **90**: 98-103.
- SANTOS, E.O.; LOUREIRO, E.C.B.; DE JESUS, I.M.; BRABO, E.; SILVA, R.S.U.; SOARES, M.C.P. (1992) Diagnóstico das condições de saúde de uma comunidade

- garimpeira na região do Tapajás, Itaituba, Pará-Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, **11**: 212-225.
- SANTOS, E.O. (1993) Garimpagem e saúde. In: *Conseqüências da Garimpagem no Âmbito Social e Ambiental da Amazônia*. Mathis, A. & Rehaag, R. (eds.), Editora Cepuj; Belém.
- SANTOS, G.M.; CORDEIRO, R.; SILVA, E.V.; TURCQ, B.; LACERDA, L.D.; FIFIELD, L.K. (2001) Chronology of the atmospheric mercury in Lagoa da Pata Basin, Upper Rio Negro region of Brazilian Amazon. *Radiocarbon*, **43**: 801-808.
- SANTOS, E.C.D.; CAMARA, V.; DE JESUS, I.M.; BRABO, E.; LOUREIRO, E.C.B.; MASCARENHAS, A. (2002) A contribution to the establishment of reference values for total mercury levels in hair and fish in Amazonia. *Environmental Research*, **90**: 6-11.
- SILBERGELD, E. & NYLAND, J. (2004) Mercury exposures and autoimmune disease. *Toxicology & Applied Pharmacology*, **197**: 147-147.
- UNEP (2002) *Global Mercury Assessment*. United Nations Environment Program, Chemicals Geneva.
- US NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE GATEWAY (2006) Disponível em <<http://gateway.nlm.nih.gov/gw/Cmd>>. Acessado em 10/01/2006.
- VASCONCELLOS, M.B.A.; SAIKI, M.; PALETTI, G.; PINHEIRO, R.M.M.; BARUZZI, R.G.; SPINDEL, R. (1994) Determination of mercury in the head hair of Brazilian populational groups by neutron-activation analysis. *Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry*, **179**: 369-374.
- VASCONCELLOS, M.B.A.; BODE, P.; PALETTI, G.; CATHARINO, M.G.M.; AMMERLAAN, A.K.; SAIKI, M. (2000) Determination of mercury and selenium in hair samples of Brazilian Indian populations living in the Amazon region by NAA. *Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry*, **244**: 81-85.
- VEIGA, M.M.; MEECH, J.A.; ONATE, N. (1994) Mercury pollution from deforestation. *Nature*, **368**: 816-817
- VILLAS BÔAS, R.C. (1997) The mercury problem in the Amazon due to gold extraction. *Journal of Geochemical Exploration*, **58**: 217-222.
- VILLAS BÔAS, R.C.; BEINHOF, C.; SILVA, R.C. (2001). *Mercury in the Tapajós Basin*. CETEM/CNPq/CYTED-XIII/IMAAC-UNIDO. 198 p.
- WASSERMAN, J.C.; HACON, S. WASSERMAN, M.A. (2003) Biogeochemistry of mercury in the Amazonian environment. *Ambio*, **32**: 336-342.
- WASSERMAN, J.C. & QUEIROZ, E.L. (2004) The attenuation of concentrations model: a new method for assessing mercury mobility in sediments. *Química Nova*, **27**: 17-21.
- WEB OF SCIENCE (2006) The ISI Web of Knowledge. Disponível em <<http://go5.isiknowledge.com/portal.cgi/>>. Acessado em 26/01/2006.
- WHO (1990) *Environmental health criteria 101 methyl mercury*. World Health Organization, International Program in Chemical Safety (IPCS), World Health Organization Geneva.
- YALLOUZ, A.V.; CAMPOS, R.C.; PACIORNIK, S. (2000) A low-cost non-instrumental method for semiquantitative determination of mercury in fish. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, **366**: 461-465.

