



Monitoramento da qualidade e avaliação da contaminação por mercúrio na água e sedimentos do rio Botafogo, PE, Brasil (doi:10.4136/ambi-agua.95)

**Andréa da Cruz Gouveia de Lima¹; Maurício da Motta²; Valdinete Lins da Silva²;
Maria do Carmo Lourenço da Silva²; Joelma Moraes Ferreira²**

¹Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
E-mail: leaq2005@yahoo.com.br

²Universidade Federal de Pernambuco
E-mail: mottas@ufpe.br; vlins@ufpe.br; mcarmols@yahoo.com.br; joelma@ufpe.br

RESUMO

Desde meados da década de 80, a população ribeirinha do Rio Botafogo, no Canal de Santa Cruz, Itamaracá (PE), tem passado por situações críticas em relação ao meio ambiente, pelo crescimento desordenado e mal planejado, ocupação do solo indevida, e como consequência, o resultado é uma perda na qualidade ambiental. A partir de 1963 foi instalada no rio Botafogo, uma indústria de produção de cloro e soda utilizando no processo células eletrolíticas de mercúrio. Até meados de 1987, estima-se que houve uma descarga de mercúrio inorgânico entre 22 e 35 toneladas. Além desta indústria, outras, de diferentes tipologias foram se instalando ao longo dos últimos anos às margens deste rio. Baseando-se em estudos anteriores, buscou-se realizar uma nova avaliação dos locais contaminados, comparando as variações ao longo dos anos, referentes à qualidade da água e do sedimento no rio Botafogo, além de analisar a localização dos pontos de coleta, assim como da necessidade de aumento da rede de monitoramento da agência ambiental nesse corpo hídrico. Os parâmetros definidos para análise da água foram: pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), amônia, concentração de fósforo, cor, turbidez, coliformes fecais e o teor de mercúrio. Foi monitorada a concentração de mercúrio nos sedimentos. Os valores de pH, turbidez, OD, DBO e amônia, na maior parte dos resultados, apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA nº 357. Na determinação da cor, os valores apresentados mantiveram-se elevados constantemente; provavelmente, causado pela contínua retirada de areia nos trechos à montante dos pontos de coleta. O teor de fósforo apresentou-se elevado, até o início de 2005, e manteve-se dentro dos padrões exigidos pela legislação acima referida até o período final da pesquisa. No trecho delimitado para estudo, está instalada, desde 1963, uma indústria de produção de cloro e soda, que utiliza em seu processo fabril, células eletrolíticas de mercúrio. Neste levantamento, foi comprovada a incidência de mercúrio na área delimitada para estudo.

Palavras-chave: Rio Botafogo; Mercúrio; Contaminação; Metais Pesados; Canal de Santa Cruz.

Quality monitoring and assessment of mercury contamination in water and sediments of the Botafogo river, PE, Brazil

ABSTRACT

Since the mid 80's, the riverside population of Rio Botafogo, in the Santa Cruz channel, Itamaracá has undergone critical environmental situations due to poorly planned growth and inadequate soil occupation, and as a consequence, a loss in environmental quality resulted. In 1963, an industry for production of chlorine and caustic soda produced by electrolytic cell of

mercury was installed in the Botafogo river. By mid-1987, a discharge of inorganic mercury between 22 and 35 tones of mercury in this river was estimated. In addition to this industry, others of different types were installed in recent years along the sides of this river. Based on previous studies, we conducted a new assessment of contaminated sites, comparing the changes over the years concerning the quality of water and sediment of the Botafogo river, in which the locations of collection, the need to increase the network of environmental monitoring were investigated. The parameters defined for analysis of water were: pH, dissolved oxygen (OD), biochemical oxygen demand (BOD), ammonia and phosphorus concentration, color, turbidity and mercury content. It was monitored the concentration of mercury in the sediments. The values of pH, turbidity, DO, BOD and ammonia usually showed values within the limits established by CONAMA Resolution N° 357. Color parameters have remained consistently high, probably caused by continuous withdrawal of sand before the points of collection. The content of phosphorus was high, until the beginning of 2005, and remained within standards required by legislation until the end of this research. In the studied area, it has been installed, since 1963, an industry for chlorine and caustic soda production, which uses in its manufacturing process electrolytic cell of mercury. In this experiment, the impact of mercury has been observed.

Keywords: Botafogo River; Mercury; Contamination; Heavy Metals; Santa Cruz Channel.

1. INTRODUÇÃO

Desde meados da década de 80, a população ribeirinha do Rio Botafogo, no canal de Canal de Santa Cruz, em Itamaracá, tem passado por situações críticas em relação ao Meio Ambiente, tanto pelo crescimento desordenado e mal planejado, com também pela ocupação indevida do solo, e, em consequência, o resultado é a perda da qualidade ambiental. Na ocupação do solo, predominam a cultura de cana de açúcar e pequenas monoculturas. A pesca artesanal é praticada no seu estuário, como também o turismo, pela beleza natural desta região (Sant'anna Jr. et al., 2000).

A partir de 1963, foi instalada, no trecho superior do rio Botafogo, uma indústria de produção de cloro e soda que utiliza, no processo industrial, células eletrolíticas de mercúrio, até meados de 1987, estima-se uma descarga de mercúrio inorgânico, entre 22 a 35 toneladas nesse trecho. (Meyer, 1996) No estudo do autor, estima-se que cerca de 1,2 a 1,5 tonelada de mercúrio, em torno de 10% do valor total que foram descartados, estejam depositados nos sedimentos. Essa mesma indústria e associadas foram responsáveis pelo descarte de cloro, no rio Botafogo (Sant'Anna Jr. et al., 2000).

Os resíduos sólidos gerados pelo processo industrial da Indústria de Soda constitui uma lama, contendo mercúrio que é armazenada em tanques de concreto fechados e cobertos e, em seguida, encaminhados para serem incinerado.

A contaminação dos ambientes aquáticos, por metais, dá-se, principalmente, pelos despejos industriais e domésticos. Alguns desses metais podem se acumular na cadeia alimentar, em níveis de concentrações perigosas aos animais que, posteriormente, são consumidos pelo homem. Dentre os metais existentes na natureza, o mercúrio estabelece esses critérios acima mencionados.

Pfeiffer et al.(1993) ressaltam que todo mercúrio utilizado no Brasil é importado e 28% dele é utilizado pelas indústrias, nas células de mercúrio na produção de cloro e soda. As perdas de mercúrio para o meio ambiente, em 1989, foram da ordem de 210 toneladas, sendo que o garimpo contribuiu com 80% (cerca de 168 toneladas), seguido pela indústria de cloro e soda (Passavante e Koenig, 1984). Meyer (1996) relatou que, no ano de 1978, toda indústria

de cloro e soda utilizava mercúrio importado, algo em torno de 350 g.t^{-1} . Esse valor decresceu para 73 g.t^{-1} em 1985 (Hasse, 1994).

O sedimento atua como depósito de metal pesado, podendo ser deslocado, dependendo das correntes e condições do ambiente. Os metais pesados são acumulativos em lagos e rios, pelo sedimento. O metal mercúrio é absorvido pelo ambiente por meio de atividades antrópicas, por diversos segmentos. Quando incorporado pela cadeia trófica, causa interferência no ecossistema. O mercúrio, na forma metálica, torna-se estável, por meio de diferentes reações químicas, biológicas e fotoquímicas (Kaiser e Tölg, 1980).

A forma com que o mercúrio é incorporado ao ambiente aquático, varia de acordo com o sistema. Em meio ácido, pode ocorrer formação de metilmercúrio, forma de fácil aderência às membranas das células e como consequência é absorvido pela cadeia trófica (Hypolito et al., 2004). O processo de metilação ocorre quando o mercúrio metálico (Hgo) é incorporado ao sistema aquático na forma inorgânica, dando origem ao metilmercúrio (Jensen e Jernelöv, 1969). Esse composto tem propriedades tóxicas, com elevado potencial de acúmulo e, por conseguinte, de magnificação ao longo nas cadeias alimentares. Através dos sedimentos, as comunidades bentônicas se alimentam de detritos contaminados, transportando-os para os peixes e, estes, ao homem (Becker e Mills, 1972).

A partir do momento em que foi verificada, no sedimento, a capacidade de metilação do mercúrio da forma inorgânica para orgânica (metilmercúrio) o mesmo passou a ser uma ameaça ao ambiente aquático (Jensen e Jernelöv, 1969). O nível de Hg total no sedimento de rios ganhou relevância após a demonstração de que a maior proporção de Hg em tecido muscular de peixes pode estar na forma de metilmercúrio (Westoo, 1972; Henderson et al., 1972; Bishop e Neary, 1974).

Considerando que a fonte de emissão pare de emitir o mercúrio para o ambiente, o sedimento é capaz de mantê-lo absorvido, transferindo-o e incorporando-o à biota dependendo das condições físicas, químicas e biológicas do ambiente aquático. O sedimento contaminado é uma fonte potencial de mercúrio para a água e para a biota aquática, de 10 a 100 anos (Braile e Cavalcanti, 1979).

Estudo realizado por Marins et al. (2004) mostrou que a contaminação do estuário do rio Botafogo é a maior de toda a zona leste do litoral brasileiro, com concentrações na ordem de duas vezes a do segundo colocado (também de Pernambuco).

Estudos preliminares, realizados pela Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (CPRH) junto com a Agência de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (CETESB), indicaram a incidência de mercúrio na região avaliada. Tal estudo indicou que ao água do Rio Botafogo apresentou valores de concentração de mercúrio na ordem de 180 a 370 vezes acima de $10,0 \mu\text{g.L}^{-1}$, limite máximo admitido pela legislação do estado de São Paulo.

Dessa forma, buscou-se avaliar a atual situação do rio, monitorando-se a qualidade da água e avaliando-se a contaminação de mercúrio, tanto na água como nos sedimentos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Delimitação dos pontos de coleta

Nestes dois anos de trabalhos de campo, foram realizadas coletas ao longo do rio Botafogo em dois dias alternados. No primeiro dia, realizou-se as coletas no trecho de influência das indústrias químicas, agroindústria e influências de povoados. Estes pontos de coleta estão situados no trecho intermediário do rio Botafogo, dos pontos BF-15 ao BF-31. As coletas de água e sedimento para os pontos BF-35, BF-37, EBF-01 e EBF-02 foram realizadas de barco, pela impossibilidade de acesso de carro. As mesmas foram coletadas no sentido da

nascente do Rio Botafogo para a sua foz, com maré vazante, com finalidade de avaliar a influência que o rio Botafogo exerce sobre o Canal de Santa Cruz (Itapissuma - PE). O diagrama do Rio Botafogo, classe 2 pelo CONAMA 357/2005, apresentado na Figura 1, mostra os seus contribuintes e os pontos de monitoramento para este trabalho.

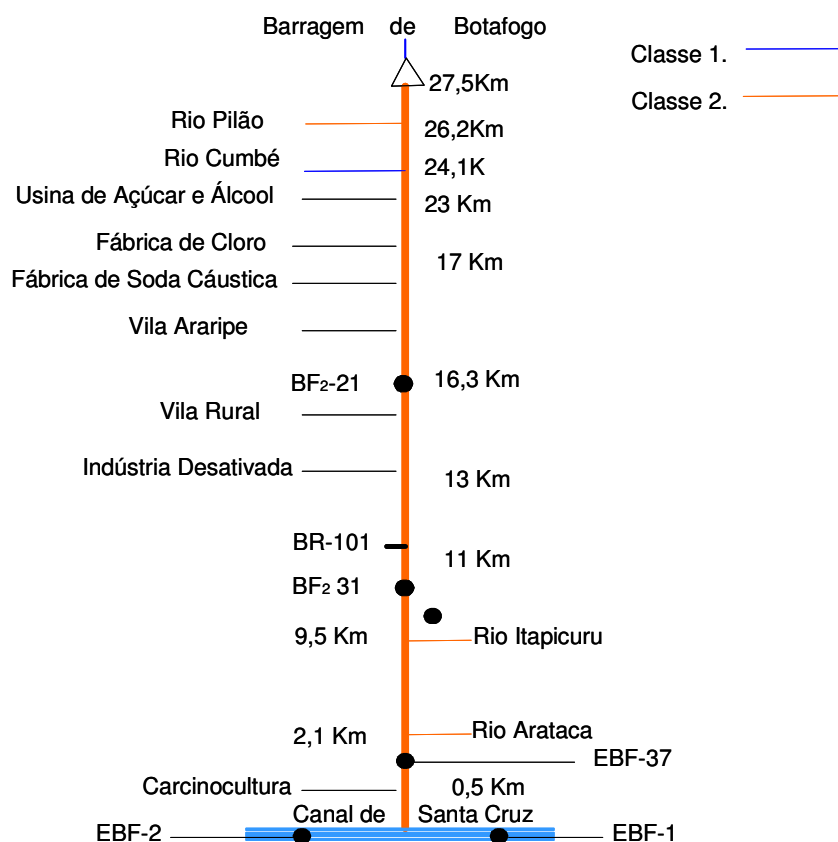


Figura 1. Diagrama unifilar do rio Botafogo. Adaptado de CPRH (2004).

As coletas de amostras de mercúrio e dos parâmetros de qualidade de água foram realizadas no trecho acima descrito, dos quais os pontos BF-21 e BF-31 coincidem com as estações de amostragem da rede de monitoramento das bacias hidrográficas da Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – CPRH. A localização detalhada (com indicação física e em GPS) das estações de amostragem pode ser obtida em Lima (2006). A Figura 2 apresenta um mapa com a localização dos pontos de coleta.

Na definição da forma de coleta, foram levadas em consideração as condições de acesso aos locais e a presença de cachoeiras e pontes. No caso de falta das condições favoráveis de acesso, foram realizadas coletas de barco. As campanhas de amostragem foram realizadas no período de maio de 2004 a janeiro de 2006, considerando-se os períodos de chuvas mais intensos (inverno) e os períodos mais quentes (verão).

Nestes dois anos de trabalhos de campo, foram realizadas coletas ao longo do rio Botafogo em dois dias alternados. No primeiro dia, realizaram -se as coletas no trecho de influência das indústrias químicas, agroindústria e influências de povoados, esses pontos de coleta estão situados no trecho intermediário do rio Botafogo, dos pontos BF-15 ao BF-31. As coletas foram realizadas pontuais em água e sedimento e nos demais pontos, representados por BF-35 ao BF-37 e EBF-01 e 02, as coletas foram realizadas de barco, pela impossibilidade de acesso de carro e coletou-se no sentido da nascente do Rio Botafogo para a sua foz, maré vazante, com finalidade de avaliar a influência que o rio Botafogo exerceu sobre o Canal de Santa Cruz (Itapissuma).

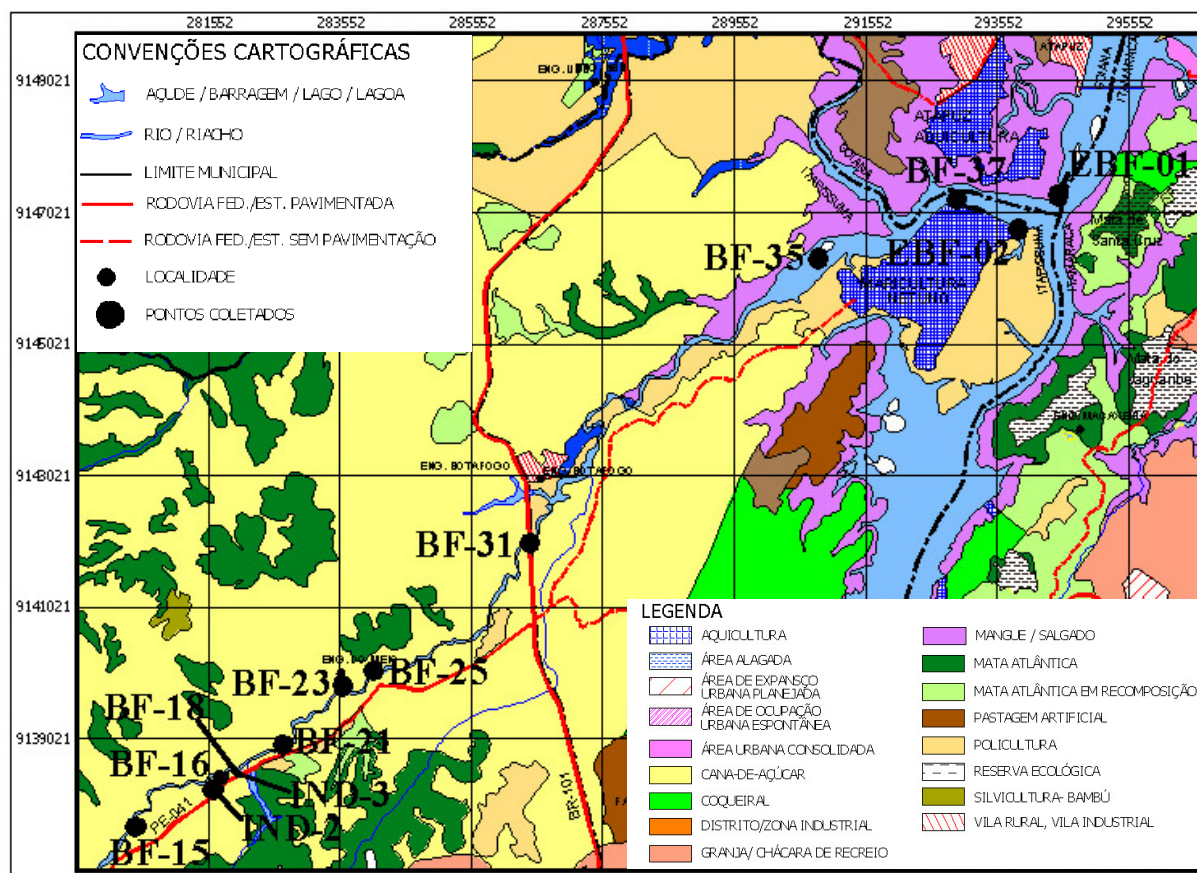


Figura 2. Mapa com localização dos pontos coletados (Lima, 2006).

Coleta e Parâmetros em Água

As amostras para estudos de qualidade de água foram coletadas pelas garrafas Van Dorn, na superfície, transferidas para recipientes de vidro e realizadas as determinações de salinidade (condutividade elétrica), oxigênio dissolvido (método de Winkler), pH (potenciométrico) no local por meio de equipamentos portáteis específicos para coleta de campo.

Os demais parâmetros tais como: cor (colorimetria), turbidez (nefelométrico), DBO (teste 5 dias - titulométrico), mercúrio (método espectrofotometria de absorção atômica – técnica de gerador de hidretos) e Nitrogênio Amoniacal (coluna de cádmio). Após a coleta, foram transferidos para recipientes de polietileno, preservados e acondicionados em caixas térmicas contendo gelo, até o laboratório, onde foram armazenados à temperatura de - 20°C, para posterior análise.

Nas amostras de água coletada foram realizados os seguintes parâmetros de qualidade: pH, turbidez, amônia, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Foram preservadas de acordo com a referência do Standart Methods (APHA,1998).

Para coleta de mercúrio foi utilizado o procedimento descrito por Vieira e Passarelli (1996). Para a sua análise, foi utilizado um espectrofotômetro de absorção atômica Varian, modelo 250 plus, com lâmpada de cátodo oco de mercúrio, com gerador de hidretos. O procedimento para abertura da amostra e análise seguiu o método Absorção Atômica por Vapor Frio - 3112B do Standart Methods (APHA, 1998).

Coleta e Parâmetros em Sedimentos

As amostras de sedimento ao longo do rio foram representadas pelos pontos de coleta BF-15 a BF-37 e no estuário do Canal de Santa Cruz representados por EBF-1 e EBF-2. As amostras foram coletadas na superfície do solo, ou seja, a uma profundidade 0 cm.

As amostras de sedimento foram, então, acondicionadas individualmente em sacos plásticos de polietileno etiquetados e transportadas ao laboratório, condicionadas em caixas térmicas com gelo. No laboratório, as amostras foram armazenadas e conservadas no congelado a -20°C . Esta preservação tem validade por 6 meses (NBR 10.007:2004) (ABNT, 2004b).

Para realização das análises de mercúrio em sedimento, as amostras foram descongeladas à temperatura ambiente, pulverizadas em almofariz de porcelana e secadas em estufa a 50°C por 24h, após passar na peneira de granulometria de 200 mesh, separando-se as partículas maiores. Em seguida, foi realizado o procedimento descrito na norma CETESB L10.102.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente é apresentada uma avaliação temporal na zona mais crítica deste corpo hídrico, segundo informação da CPRH e, em seguida, uma avaliação ao longo do rio Botafogo. Por fim, serão apresentados os resultados das análises dos sedimentos em cada ponto de monitoramento de água e em dois pontos do estuário (no Canal de Santa Cruz) e um perfil da concentração de mercúrio para os dois pontos do estuário.

Avaliação dos Parâmetros Físicos e Químicos de Qualidade da Água

A Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (CPRH) possui uma rede de monitoramento de qualidade da água no rio Botafogo composta por 2 estações, BF-21 e BF-31, que são monitoradas a cada 2 meses no ano, esses pontos estão situados à jusante das principais indústrias instaladas no rio Botafogo.

Nessa avaliação temporal foram utilizados os dados do monitoramento entre janeiro de 2004 e janeiro 2006. As datas das coletas, para monitoramento do conjunto mínimo de qualidade da CPRH (pH, cor, turbidez, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, amônia e fósforo) e da concentração de mercúrio, nas estações BF-21 e BF-31, foram as seguintes: 20/01/2004, 9/03/2004, 13/05/2004, 14/07/2004, 23/08/2004, 16/09/2004, 10/11/2004, 20/01/2005, 9/03/2005, 18/04/2005, 18/05/2005, 18/05/2005, 18/08/2005, 21/09/2005, 24/11/2005 e 11/01/2006.

Verifica-se, pela Figura 3, que o valor do pH esteve dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357, de 2005, para um rio Classe II (pH entre 6 e 8), durante o ano de 2004. Esses resultados estão um pouco abaixo dos observados por Melo (2007) que obteve para o período chuvoso e seco, pH de 8,02 e 8,34 respectivamente.

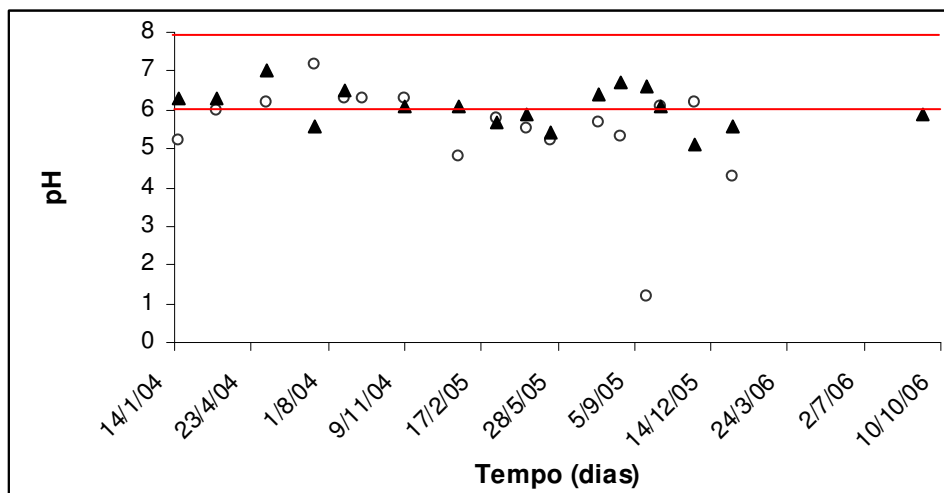


Figura 3. Variação do pH em função do tempo nas estações BF-21 (▲) e BF-31 (○).

Contudo, a partir do ano de 2005, registra-se uma diminuição nos valores do pH, chegando, em vários, trechos a atingir valores abaixo de 6, e até próximo a 1, caracterizando, assim, um despejo industrial.

O parâmetro Cor passou a ser monitorado a partir do final do ano de 2004, para compor o cálculo do índice de qualidade de água. Devido a esse fato, tem-se apenas resultados de 13 estações de coleta, observados na Figura 4. Nota-se que, em vários dias, ocorreram valores acima do permitido (75 PtCo).

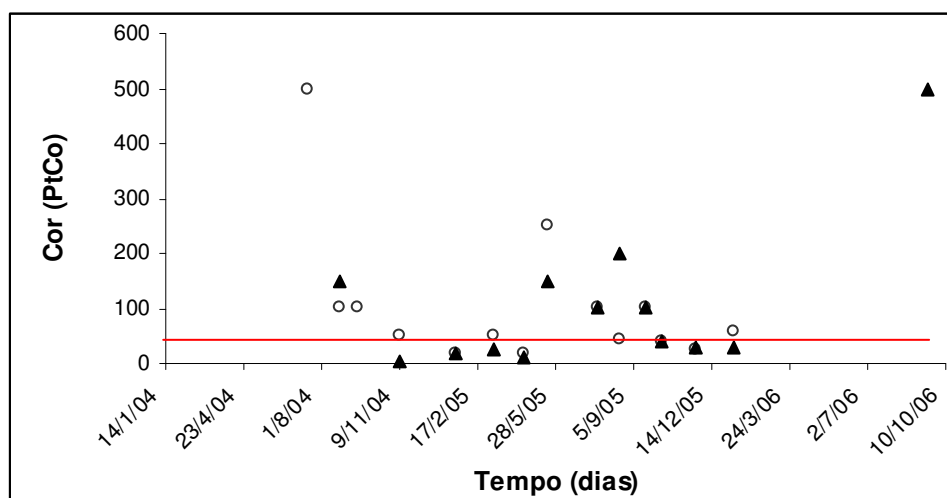


Figura 4. Variação da cor em função do tempo nas estações BF-21 (▲) e BF-31 (○).

Para que o rio tenha uma boa oxigenação é necessário, dentre outros fatores químicos e biológicos, que a água apresente uma baixa turbidez, permitindo assim que as plantas que se encontram em seu leito possam produzir oxigênio (Jordão e Pessoa, 2005).

Pela Figura 4, foi observado que os valores de turbidez da estação BF-31 são mais elevados que o BF-21. O fato é que houve um espalhamento das partículas em suspensão, após a passagem sob a ponte da BR-101, onde a água do rio torna-se mais turva.

O valor da turbidez foi demonstrado na estação BF-31, que no dia 18/08/2005 apresentou o mais elevado da campanha em torno de 200 UNT. Relacionando com os valores de pluviometria (Figura 5) do dia 18/08/2005, observa-se que no mesmo houve uma precipitação

de 3,2 mm, ou seja, choveu bastante o que ocasionou a abertura de valas e o carreamento de material para dentro do rio Botafogo.

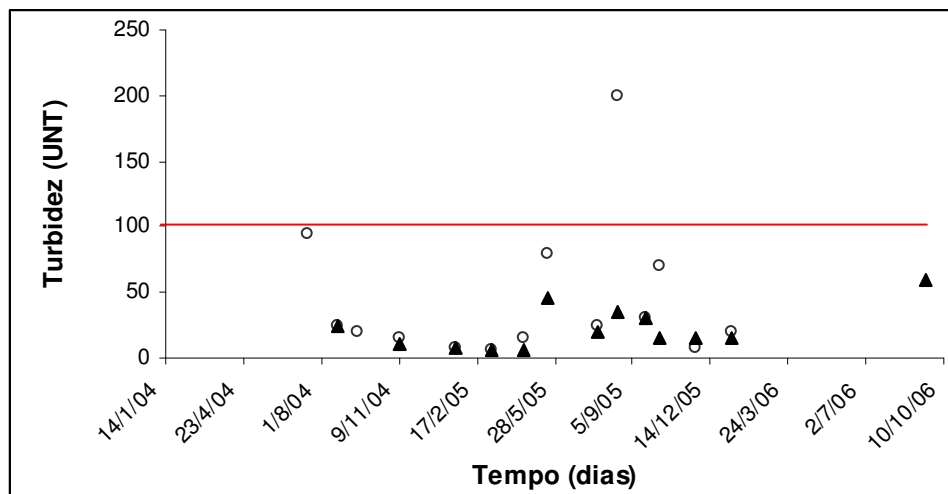


Figura 4. Variação da Turbidez em função do tempo nas estações BF-21 (▲) e BF-31 (○).

A Figura 5 apresenta os dados de pluviometria do período de janeiro 2004 a janeiro 2006 do posto N° 520, localizado em Itapissuma, estação mais próxima ao local estudado. Esses dados foram fornecidos pelo Laboratório de Meteorologia do Instituto Tecnológico de Pernambuco (ITEP).

Esses dados pluviométricos foram de grande importância para avaliação da qualidade da água no rio Botafogo, pois eles foram correlacionados com os valores de concentração dos parâmetros analisado. Desta forma, verificou-se a influência desse elemento nos parâmetros de qualidade e nas mudanças geográficas, ocasionadas pelos diferentes efeitos causados nesse corpo hídrico.

Observa-se que o período das chuvas, de junho a agosto, foi bem evidenciado no ano de 2005, todavia para 2004 as precipitações foram mais distribuídas ao longo do primeiro semestre.

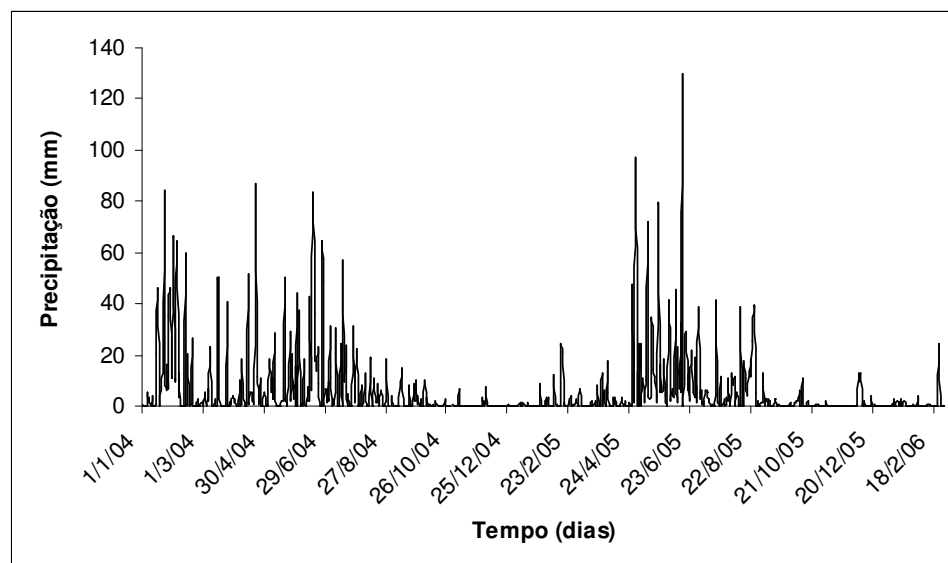


Figura 5. Dados de precipitação da estação 520 posto Itapissuma – estação mais próxima à área de estudo (dados fornecidos pelo Laboratório de Meteorologia do ITEP – PE).

Segundo Passavante et al. (2003), os valores de pluviometria na região estudada ficaram entre 11,5 e 401,8 mm, respectivamente nos meses de dezembro e junho de 1993, apresentando uma média de 139,63 mm \pm 101,44 mm.

A concentração de oxigênio dissolvido na água, mostrada na Figura 6 indica que para um rio Classe II, o valor mínimo de OD é de 5,0 mg.L⁻¹. No dia 21/09/2005, foi identificado que a concentração de OD decresceu para valores próximos a 1,0 mg.L⁻¹.

Foi apresentado na Figura 6, das 17 coletas realizadas nesse período, o ponto BF-21 apresentou 76% dos valores de OD acima do limite permitido de 5,0 mg.L⁻¹ e o BF-31, 100% dos valores analisados. A Figura 1 mostra que o BF-21 está situado próximo a jusante das indústrias químicas e os valores menores foram decorrentes de lançamento de efluentes industriais.

Teores de oxigênio dissolvido na água entre 2,60 e 5,53 mL.L⁻¹, foram observados para o estuário do rio Botafogo por Passavante et al. (2003) na década de 90.

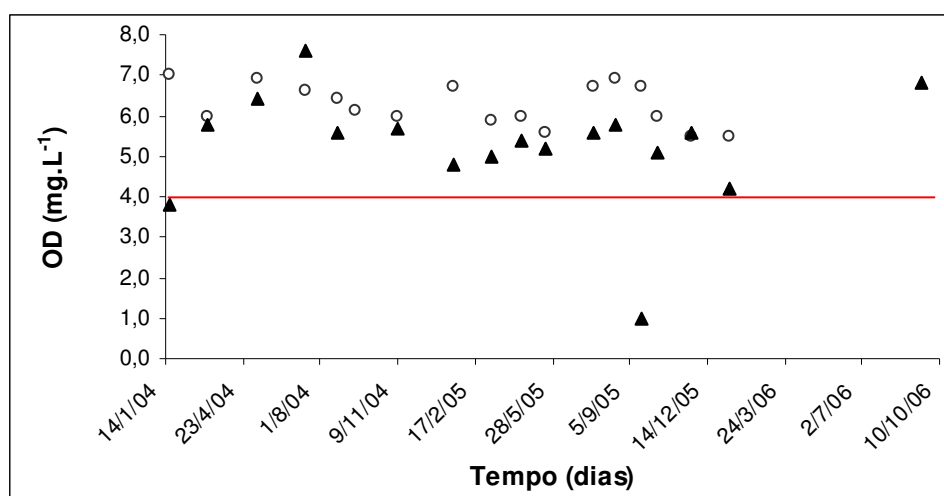


Figura 6. Variação do OD em função do tempo nas estações BF-21 (▲) e BF-31 (○).

Em relação à matéria orgânica biodegradável (DBO₅), ressalta-se, inicialmente, que a técnica empregada possui um limite de detecção de 2,0 mg.L⁻¹ O₂. Dessa forma, os autores decidiram considerar valores abaixo deste como zero

Como pode ser observado pela Figura 7, apenas no dia 21/09/05 esse valor ultrapassou o limite de 5,0 mg.L⁻¹ O₂. Mesmo estando acima do permitido, esse valor não está muito alto a ponto de acarretar uma redução tão significativa na concentração de oxigênio dissolvido e, dessa forma, indicar uma contaminação. Esses valores estão na mesma faixa dos observados por Melo (2007).

Na Figura 8, constata-se que no 13/05/2004 o ponto BF-31 apresentou uma concentração de mercúrio de 0,020 mg.L⁻¹, a qual está 100 vezes acima do valor estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357. Os demais valores de 2004 mantiveram-se dentro do limite.

A partir do ano de 2005, todos os valores da estação BF-31 apresentaram-se fora do limite e no ponto BF-21 apenas 30% dos valores mantiveram-se acima. Os valores abaixo de 0,002 ppm foram tomados como zero, devido ao limite de detecção do aparelho.

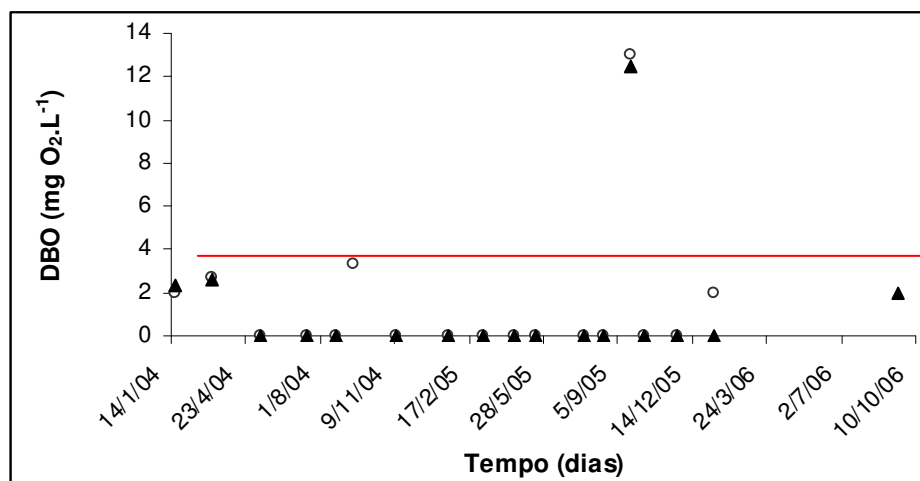


Figura 7. Variação da DBO em função do tempo nas estações BF-21(▲) e BF-31(○).

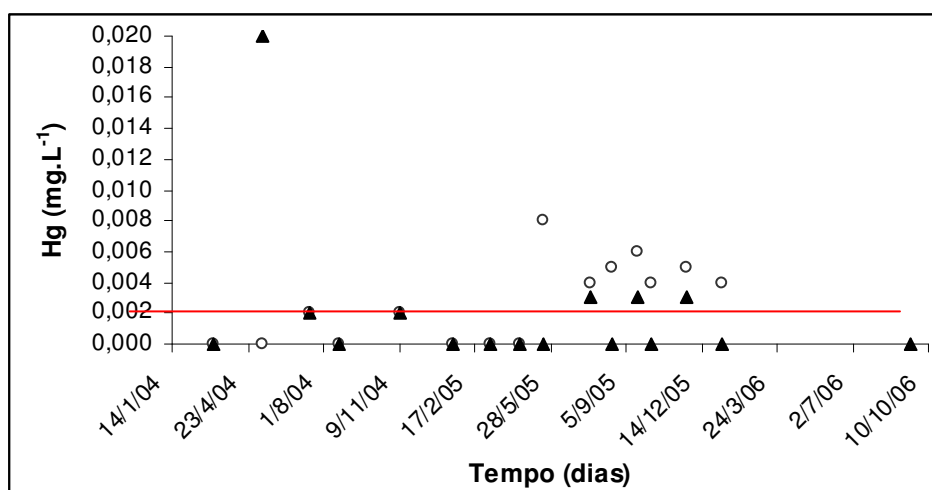


Figura 8. Variação da concentração de Mercúrio em função do tempo nas estações BF-21 (▲) e BF-31 (○).

Avaliação dos Sedimentos

Na Figura 9, estão representados os valores de concentração de mercúrio em sedimentos obtidos nos pontos de coleta, durante o período da campanha. Esses valores apresentaram-se mais elevados no período de abril e novembro de 2005.

Foi observado que os valores de mercúrio permaneceram estáveis nos pontos de coleta. Não foram identificadas quaisquer variações nos períodos de chuva e de estiagem. No ponto BF-18, os resultados apresentaram-se acima do limite máximo, permitido pela National Oceanic and Atmospheric Organization (NOAA, 1999), em todas as campanhas, pois ele representa o local de descarte de uma indústria de soda cáustica.

As concentrações de Mercúrio estão abaixo das encontradas por CETESB (1981), porque nos sedimentos de fundo, foram encontrados valores da ordem de $0,37 \mu\text{g.g}^{-1}$ no trecho do rio e $3,7 \mu\text{g.g}^{-1}$ no estuário. Esses novos resultados indicam assim uma atenuação natural, ou arraste para o mar, da contaminação.

Nos pontos de coletas BF-25 e BF-31, os valores também se mantiveram elevados ao longo das coletas, provavelmente devido à linha de correnteza do rio, ter arrastado o mercúrio para as suas margens. As variações de mercúrio não foram altas, em relação aos valores encontrados em estudos anteriores, nos pontos coletas a montante da indústria de soda (BF-15

e BF-16). O ponto BF-21 (situado a, aproximadamente, 100 metros do descarte da Indústria de Soda), não apresentou valores elevados, localizados mais próximos do descarte, quando comparados aos pontos BF-23 e BF-31. Provavelmente, o local da coleta das amostras realizadas no BF-21, não está adequado para avaliação da contaminação de sedimento, possivelmente devido à hidrodinâmica do corpo hídrico que acumula o sedimento em uma zona mais profunda (meio do rio) ou do lado oposto ao ponto de coleta. Dessa forma, esse ponto deve ser reavaliado para futuros monitoramentos.

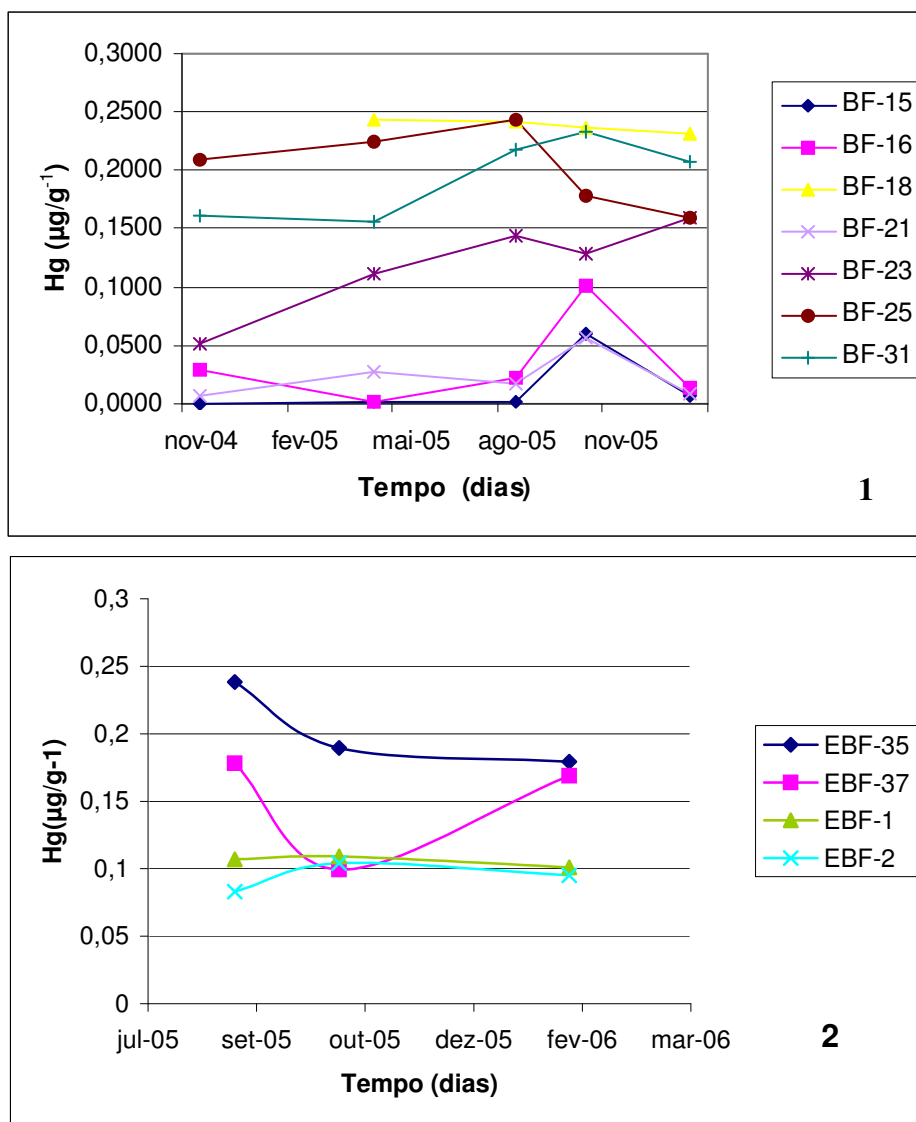


Figura 9. Variação da concentração de mercúrio nos sedimentos ao longo do rio e em função do tempo. Em 1, pontos de coleta BF-15 a BF-31. Em 2, EBF-35, 37, 1 e 2.

Na Figura 9 (2), os pontos EBF-35 e 37 apresentaram as mesmas oscilações nos dias de coleta, no ponto BF-37, os valores apresentaram-se mais baixo, situado à jusante do rio Arataca, contribuindo com uma vazão considerável e favorecendo a dispersão do mercúrio no sentido do Canal de Santa Cruz. Na mesma figura, verifica-se que as concentrações de mercúrio no sedimento de superfície no EBF-1 está um pouco acima do ponto EBF-2. Desta forma pode-se verificar uma tendência na transferência do mercúrio para o sentido da Barra Norte, uma vez que o ponto EBF-1 está situado na confluência à margem norte no Canal de

santa Cruz em direção a Atapuz. Este fato deve ter sido favorecido pela corrente marinha, que é predominante no sentido sul para norte na maior parte do ano.

Conforme apresentado no estudo de Meyer em 1996, as maiores concentrações de mercúrio foram encontradas no Rio Botafogo, diminuindo em direção ao Canal de Santa Cruz e são fortemente reduzidas em direção à Barra de Catuama, onde a influência do rio Botafogo não é registrada. Ao contrário da Barra Norte, as concentrações são mais elevadas, traduzindo a influência do rio Botafogo e o padrão de circulação das águas (CPRH, 2002).

Na Figura 10, estão representados os resultados de mercúrio em sedimento marinho, nos pontos de coletas, na confluência do rio Botafogo com o Canal de Santa Cruz. Foram demonstrados que os valores mais elevados de mercúrio estavam na camada mais profunda e decrescendo à medida que se aproximam da superfície. Verificou-se, também, que os valores de concentração de mercúrio, referentes aos meses de outubro de 2005 e janeiro de 2006 foram maiores que os de agosto de 2005, nesse dia, chovia e ventava, portanto as velocidades das correntezas influenciaram no arraste do sedimento para o sentido do Canal de Santa Cruz.

Segundo o trabalho desenvolvido pela CETESB (Tabela 1), os valores de sedimento que se apresentaram mais elevados de mercúrio foram devido à ausência de cloro e os valores mais elevados de pH, o que propicia melhores condições de precipitação desse elemento no sedimento. Como, neste trabalho, não foi avaliada a concentração de cloro no período de 2005-2006, e os índices de pH se mantiveram estáveis, considera-se que não houve descarga de cloro, aumentando a precipitação de mercúrio, no sedimento, em alguns pontos de coletas.

Os valores de concentração de mercúrio no sedimento, neste trabalho, apresentaram-se mais elevados nos pontos BF-18, BF-25 e BF-31, que no da CETESB (1981). O ponto BF-18 está situado no descarte do lançamento da Indústria de Soda. A partir destes valores obtidos (média dos valores de cinco campanhas) conclui-se que há uma contaminação pontual de mercúrio, neste local.

Tabela 1. Valores comparativos de mercúrio em sedimentos reportados pela CETESB (1981) e obtidos no presente trabalho.

Localização das amostras	CETESB (1981)	Estudo atual
Sedimento de superfície	Mercúrio ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Mercúrio (s) ($\mu\text{g.g}^{-1}$) Média dos valores das campanhas
BF-16	ND	NDs
BF-18	0,11	0,24
BF-21	ND	NDs
BF-23	0,37	0,13
BF-25	ND	0,20
BF-31	ND	0,19
BF-35	3,70	0,20
BF-37	3,70	0,15

NDs - Não detectável em sedimento. Limite de detecção do mercúrio em sedimento ($-0,1 \mu\text{g.g}^{-1}$).

Nos pontos BF-25 e BF-31, pode estar ocorrendo uma dispersão do mercúrio, causada pelas forças da correnteza do rio, conduzindo-o para as margens. No ponto BF-21, não foram detectados dados de mercúrio nas duas campanhas. Esse fato contradiz a distribuição ao longo do rio, pois se tem uma elevada concentração no ponto de descarte (BF-18), assim como nos pontos BF-23 e BF-25 havia uma suspeita que houvesse valores elevados de concentração, devido o mesmo está situado à 100 metros do descarte da indústria produtora de cloro.

Analisando-se a Tabela 1, pode-se observar que os valores de concentração do mercúrio em sedimento apresentaram-se em torno de duas vezes e meia (ponto BF-23) e, aproximadamente, vinte e quatro vezes (pontos BF35 e BF-36) mais elevados, no estudo realizado pela CETESB (1981).

O trabalho de Meyer (1996) fez referência à exportação do mercúrio do rio Botafogo para o Canal de Santa Cruz pelos seguintes fatores:

- Pelo efeito oxidante do cloro e, em consequência, elevação do pH, que fixa o mercúrio no sedimento, o que não está ocorrendo, devido à redução das descargas de cloro.
- Perda da matéria particulada no canal, pelas existências fortes correntes.
- Através da re-mobilização do mercúrio entre as marés.

Esses fatos explicam a brusca diminuição na concentração do mercúrio dos pontos próximos ao estuário BF-35, BF-36 e de estuário EBF-1 e EBF-2.

Comparando-se esses valores apresentados na Tabela 1, pode-se concluir que os valores encontrados no sedimento merecem uma atenção especial, pois, provavelmente, o metal venha se acumulando nas margens do rio, no trecho de água doce, em razão da baixa velocidade da correnteza das águas. Nos pontos do estuário, foi demonstrado que uma quantidade significativa de mercúrio, possivelmente, esteja sendo exportada para outros ambientes.

Os valores obtidos na água, Tabela 2, apresentaram-se bem próximos dos valores encontrados no levantamento da CETESB (1981).

Tabela 2. Valores comparativo de mercúrio em água (Cetesb (1981) e o presente estudo.

Localização das amostras	CETESB (1981)	Estudo atual
Água	Mercúrio ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Mercúrio (a) ($\mu\text{g.L}^{-1}$) Valores mínimos e máximos por ponto de coleta
BF-18	ND	NDa
BF-21	0,3	0,5-1,8
BF-23	2,0	0,3
BF-25	17,8	NDa
BF-31	6,4	NDa-0,3
BF-35	5,9	NDa-0,8
BF-37	Amostra perdida	NDa-0,5
	0,59	NDa-0,4

NDa - Não detectável em água. Limite de detecção do mercúrio em água $-0,2 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Para efeito deste trabalho, foram considerados os valores mínimos e máximos de cada ponto de coleta no período de 2004 a 2006, e comparados com o levantamento de 1981 da CETESB. Na maioria das vezes, esses valores não extrapolaram os permitidos pela legislação vigente, a CONAMA N° 357/2005. A concentração de mercúrio para um corpo hídrico manancial de classe 2, é de $0,2 \mu\text{g.L}^{-1}$. Os valores de água não foram conclusivos, visto que se mantiveram dentro dos limites exigidos pela portaria e não foram consideradas as variações em função da vazão do rio.

Marins et al. (2004) citam que o uso do Hg como indicador da qualidade ambiental da costa brasileira confirma que, uma vez controladas as contaminações de Hg oriundo das indústrias de cloro-soda que utilizavam Hg em células eletrolíticas, as fontes difusas,

principalmente, os lixões e o esgotamento doméstico e urbano, são as atividades antrópicas que mais necessitam de controle e adequação ao desenvolvimento sustentável da região costeira brasileira.

4. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a atual rede de monitoramento da CPRH, com apenas dois pontos de coleta (BF-21 e BF-31), e os parâmetros analisados em água, não está representando uma gestão adequada do corpo hídrico Botafogo.

A expansão da rede de monitoramento em número de pontos de amostragem faz-se necessária. Para redução dos custos uma diminuição dos parâmetros investigados seria realizada, com monitoramento de parâmetros relacionados à tipologia da indústria à montante. Faz-se também necessária a inclusão de parâmetros de mercúrio em água e sedimento, em profundidades diferentes, no sistema de monitoramento deste rio.

Foi a partir dos pontos implementados na campanha deste trabalho, BF-18, BF-25, que foram detectadas as maiores concentrações de mercúrio em água.

Os valores da concentração de mercúrio encontrados no trecho do rio Botafogo em água doce estiveram bem próximos dos valores encontrados no levantamento realizado há vinte e quatro anos, com relação ao trecho do rio Botafogo que sofre influência da maré - pontos BF-35, BF-37 e EBF-1, EBF-2. As concentrações de mercúrio analisadas no sedimento apresentaram valores elevados em relação ao levantamento realizado em 1981, indicando uma tendência para onde o mercúrio remanescente está sendo transferido, da nascente para sua foz, no sentido do Canal de Santa Cruz.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a FACEPE pelo apoio financeiro, assim como a CPRH pela infraestrutura e apoio, para a pesquisa e ao Laboratório de Meteorologia do ITEP pelos dados de precipitação.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10004**: Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a. 68p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b. 68p. AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - CPRH. **Cadastro das indústrias de Pernambuco**. Disponível no sistema de arquivo da CPRH. Acesso em setembro de 2006.

AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - CPRH. **Estudo de avaliação ambiental – EAA do projeto de dragagem náutico da Litoral Norte**. Recife: CPRH, 2002.

AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - CPRH. **Estudo para controle ambiental nas áreas estuarinas de Pernambuco - Canal de Santa Cruz**. Recife: CPRH, 1982. 65p.

LIMA, A. C. G.; MOTTA, M.; SILVA, V. L.; SILVA, M. C. L.; FERREIRA, J. M. Monitoramento da qualidade e avaliação contaminação por mercúrio na água e sedimentos do rio Botafogo, PE, Brasil. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 156-171, 2009. (doi:10.4136/ambi-agua.95)

AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - CPRH. **Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do estado de Pernambuco**. Recife: CPRH, 2004. 74p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standart methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCF, 1998.

BECKER, B. C.; MILLS, T. R. **Guidelines for erosion and sediment control planning and implementation**. Washington: EPA (EPA-R2-72-015), 1972. 245 p.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1979. 764 p.

BISHOP, J. N.; NEARY, B. P. The form of mercury in freshwater fish. In: INTERNATIONAL CONFERENCE TRANSPORT PERSISTENT CHEMICALS IN AQUATIC ECOSYSTEMS, 1974, Ottawa. **Proceedings...** Ottawa: National Research Council, 1974. p. 25-29.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Estudo de mercúrio nas águas e estuário do rio Botafogo**: estudo preliminar. São Paulo: CETESB, 1981. 39p.

HASSE, R. F.. Der Quecksilberhandel in Brasilien. IN: MATHIS, A.; REHAAG, R. (Eds.) **Gold und die Folgen**: Auswirkungen des gold und die Folgen. Auswirkungen des goldberbaus auf das sozialgefüge und die umwel im Amazonasraum. Köln: Volksblatt-Verlag-Verlag, 1994.

HENDERSON, C. A.; INGLIS, A.; JOHNSON, W. L. Mercury residuous in fish, 1969-1970: national pesticide monitoring program. **Pesticide Monitoring Journal**, v. 6, n. 3, p. 144-150, 1972.

HYPOLITO, R.; FERRER, L. M.; NASCIMENTO, S. C. Comportamento de espécies de mercúrio no sistema sedimento-água do Mangue no Município de Cubatão. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 15-24, 2004.

JENSEN, S; JERNELOV, A. Biological methylation of mercury in aquatic organisms. **Nature**, n. 223, p. 773 – 754, 1969.

JORDAO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4. ed. Belo Horizonte: Segrac, 2005. 906p. Vol. 1.

KAISER, R.; TÖLG, G. **Handbook of enviromental chemistry**. Parte A. New York: Springer Verlag, 1980. Vol. 3.

LIMA, A. C. G. **Monitoramento da qualidade das águas na bacia do rio Botafogo, em Pernambuco, com ênfase para a concentração de mercúrio total em água e sedimentos**. 2006. 96f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

MARINS, R. V.; PAULA FILHO, F. J.; MAIA, S. R. R.; LACERDA, L. D.; MARQUES, W. S. Distribuição de mercúrio total como indicador de poluição urbana e industrial na costa brasileira. **Quím. Nova**, v. 27, n. 5, p. 763-770, 2004.

LIMA, A. C. G.; MOTTA, M.; SILVA, V. L.; SILVA, M. C. L.; FERREIRA, J. M. Monitoramento da qualidade e avaliação contaminação por mercúrio na água e sedimentos do rio Botafogo, PE, Brasil. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 156-171, 2009. (doi:10.4136/ambi-agua.95)

- MELO, A. A. S. **Nutrientes dissolvidos e biomassa primária nos estuários dos rios Botafogo e Carrapicho – PE**. 2007. 91f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.
- MEYER, U. **On the fate of mercury in the Northeastern Brazilian: mangrove system, Canal de Santa Cruz, Pernambuco**. 1996. 105f. Thesis (PhD) - Zentrum für Marine Tropenökologie (ZMT), Bremen University, Germany, 1996.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA. **Screening quick reference tables**. Seattle:, 1999. 12p.
- PASSAVANTE, J. Z. O.; FEITOSA, F. A. N.; MACÊDO, S. J.; ARAGÃO, J. O.; R.; LEITÃO, I. N.; LINS, I. C. Produção, biomassa fitoplanctônica, climatologia e hidrologia do estuário do rio Botafogo, Itapissuma, Pernambuco. **Boletim Técnico e Científico do CEPENE/IBAMA**, Tamandaré, v. 11, 2003.
- PFEIFFER, W. C.; LACERDA, L. D.; SALOMONS, W.; MALM, O. Environmental fate of mercury from gold mining in the Brazilian Amazon. **Environ. Rev.**, v. 1. p. 26-37, 1993.
- SANT'ANNA JR.; N.; COSTA, M.; AKAGI, H. Níveis de mercúrio total e metilmercúrio no cabelo de uma população costeira e peixes do nordeste do Brasil. In: ESPÍNDOLA, E. L. G. et al. (Eds.) **Ecotoxicologia: perspectivas para o século XXI**. São Carlos: Rima, 2000.
- VIEIRA, J. L. F.; PASSARELLI, M. M. Determinação de mercúrio total em amostras de água, sedimento e sólidos em suspensão de corpos aquáticos por espectrofotometria de absorção atômica com gerador de vapor a frio. **Rev. Saúde Pública**, v. 30, n. 3, 1996.
- WESTOO, G. Methylmercury as percentage of total mercury in flesh and viscera of salmon and sea trout of various ages. **Science**, v. 181, n. 4099, p. 567 568, 1972.