



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DAS CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE INORGÂNICA

AGENTES DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E A OCORRÊNCIA DE MERCÚRIO NO GÁS NATURAL COMO TEMAS GERADORES NO ENSINO MÉDIO

Fabíola de Araújo Rodrigues Jerônimo

DRE: 101115003

Projeto de Final de Curso

Orientador:

Prof. Roberto de Barros Faria

Março de 2009

AGENTES DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E A OCORRÊNCIA DE MERCÚRIO NO GÁS NATURAL COMO TEMAS GERADORES NO ENSINO MÉDIO

Fabíola de Araújo Rodrigues Jerônimo

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente do Instituto de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Licenciada em Química.

Aprovado por:

Prof. João Massena Melo Filho.
Deptº de Química Inorgânica - UFRJ

Prof. Roberto Marchiori.
Deptº de Química Inorgânica - UFRJ

Prof. Sérgio de Paula Machado.
Deptº de Química Inorgânica - UFRJ

Orientado por:

Prof. Roberto de Barros Faria.
Deptº de Química Inorgânica - UFRJ

Rio de Janeiro, RJ – Brasil.

Março de 2009.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, meu irmão, familiares
e amigos que de alguma forma fazem parte da minha vida,
tornando-a mais completa e feliz.

CITAÇÃO

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. (Caput. Art. 225, Constituição da República Federativa do Brasil).

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e por colocar pessoas tão especiais no meu caminho;

Ao meu orientador e grande mestre, Roberto de Barros Faria, que com muita paciência e dedicação me auxiliou na construção deste trabalho, compreendendo meus sumiços e compartilhando comigo todo o seu vasto conhecimento;

Aos professores que aceitaram o convite para fazer parte da minha banca, Roberto Marchiori e Sérgio de Paula Machado. Em especial, ao professor João Massena que me recebeu no curso de Licenciatura em Química como aluna transferida e não poderia deixar de fazer parte da conclusão dessa jornada;

Aos meus pais, Manuel e Nizete, e irmão, Fabricio, pela dedicação e amor incondicional e por idealizarem comigo mais essa conquista. Sem vocês, eu nada seria;

Ao Carlos Miranda, pela amizade, companheirismo e incentivo durante minha trajetória acadêmica, que além de festejar comigo as pequenas vitórias, também me deu forças pra seguir em frente nos momentos de desânimo;

A todos os amigos e familiares, que de perto ou de longe torcem pelo meu sucesso;

Aos amigos da Microbiologia, onde foi o meu primeiro contato com o mundo universitário. Com vocês compartilhei grandes momentos que ficarão pra sempre em minha memória e coração;

Aos amigos da CEDAE, que vibraram comigo a cada página escrita deste trabalho e que participam da maior parte dos meus dias, contribuindo significativamente para o meu crescimento;

Aos amigos do Laboratório de Biomateriais, que por dois anos estiveram comigo todos os dias. Com vocês dividi momentos de alegria e grande aprendizado;

Ao professor Assis, que é o grande responsável pelo meu ingresso na UFRJ. Sem a participação dele, nada disso teria sido possível;

A todos vocês, o meu **MUITO OBRIGADA!**

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado ao Instituto de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Licenciada em Química.

AGENTES DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E A OCORRÊNCIA DE MERCÚRIO NO GÁS NATURAL COMO TEMAS GERADORES NO ENSINO MÉDIO

Fabíola de Araújo Rodrigues Jerônimo

Março, 2009.

Orientador: Prof. Roberto de Barros Faria, **AGENTES DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E A OCORRÊNCIA DE MERCÚRIO NO GÁS NATURAL COMO TEMAS GERADORES NO ENSINO MÉDIO**

Nos últimos anos, os agentes de poluição atmosférica tem recebido especial atenção, principalmente pelo fato de que muitos deles são gases de efeito estufa que estão diretamente relacionados com o aquecimento global, assunto maciçamente discutido atualmente. As atividades antropogênicas são as principais fontes de emissão desses poluentes para a atmosfera. No entanto, uma nova preocupação vem surgindo, a partir do momento em que se constatou a presença de mercúrio no gás natural. Alguns estudos estão sendo realizados para a descoberta de técnicas eficientes para a remoção do mercúrio, a fim de diminuir sua emissão para a atmosfera pela queima de combustíveis fósseis. Dessa forma, este trabalho se propõe a apresentar os agentes de poluição atmosférica e suas consequências para o meio ambiente, dando especial atenção ao elemento mercúrio e sua emissão para a atmosfera. Assim como, tentar mostrar que se pode trabalhar a química em sala de aula, utilizando-se dos temas do cotidiano, na tentativa de tornar a disciplina mais prazerosa para os alunos de ensino médio.

SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO.....	1
1. Dióxido de carbono (CO ₂).....	3
2. Metano (CH ₄).....	5
3. Monóxido de carbono (CO).....	6
4. Material particulado.....	8
5. Dióxido de enxofre (SO ₂).....	9
6. Óxidos de nitrogênio (NO _x).....	13
7. Ozônio (O ₃).....	14
8. Poluentes orgânicos persistentes.....	16
9. Metais pesados.....	17
II. SOBRE O MERCÚRIO	19
III. O MERCÚRIO COMO AGENTE CAUSADOR DE DOENÇAS.....	25
IV. AS FONTES DE POLUIÇÃO COM MERCÚRIO E ALGUNS CASOS DE CONTAMINAÇÃO.....	29
V. O MERCÚRIO NO GÁS NATURAL.....	34
VI. MEDIDAS PARA REDUZIR A POLUIÇÃO COM MERCÚRIO GASOSO.....	36
VII. CONTEXTUALIZANDO ALGUNS TEMAS DA QUÍMICA.....	38
1. Os agentes de poluição atmosférica.....	38
2. Perigos na manipulação do mercúrio.....	40
3. Tabela periódica dos elementos.....	41
VIII. CONCLUSÃO.....	43

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
REFERÊNCIAS DAS FIGURAS.....	48
ANEXOS.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Fumaça preta emitida por uma usina em Batangas província do sul de Manila, Filipinas.....	2
FIGURA 2. Média mensal de dióxido de carbono atmosférico no Observatório Mauna Loa, Hawaii.....	4
FIGURA 3. Aterro sanitário de Gramacho no Rio de Janeiro.....	6
FIGURA 4. Esquema resumido da formação do radical hidroxila.....	11
FIGURA 5. Gárgula da Basílica do Sagrado Coração (Sacré Coeur) em Paris deteriorada pela chuva ácida.....	12
FIGURA 6. Smog que envolve Pequim, na China.....	14
FIGURA 7. Perfil da camada de ozônio (a) e da temperatura (b) com a altura.....	15
FIGURA 8. a) Fórmula estrutural do núcleo dioxina, b) Fórmula estrutural do núcleo furano.....	16
FIGURA 9. Em Chicago, escultura inspirada no mercúrio líquido.....	21
FIGURA 10. Cinabre (mineral vermelho) da mina Las Cuevas em Almadén, Espanha.....	22
FIGURA 11. Ciclo do mercúrio em ambientes naturais.....	23
FIGURA 12. Restauração feita com amálgama em comparação com uma feita em resina.....	26
FIGURA 13. Efeito teratogênico da contaminação com mercúrio na Baía de Minamata, Japão.....	28
FIGURA 14. Garimpeiro no rio Juma, em Novo Aripuanã, município do Estado do Amazonas (AM).....	31

FIGURA 15. Baía de Minamata, Japão, nos dias atuais	32
FIGURA 16. Mapa do Gasoduto Bolívia-Brasil.....	35
FIGURA 17. Localização do mercúrio na tabela periódica.....	41

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1. Os efeitos e sintomas do CO de acordo com a concentração e o tempo de exposição.....	7
TABELA 2. Algumas informações básicas sobre o mercúrio.....	20
TABELA 3. Principais atividades relacionadas com a utilização do mercúrio em seus diferentes estados de oxidação.....	30
TABELA 4. Abundância natural aproximada de compostos de mercúrio em hidrocarbonetos.....	34
TABELA 5. Solubilidade e volatilidade dos compostos de mercúrio.....	37

I. INTRODUÇÃO

A atmosfera é constituída por uma mistura de gases, predominantemente nitrogênio (N_2), oxigênio (O_2) e argônio (Ar). No entanto, vários outros gases estão presentes em pequenas quantidades sendo que alguns desses constituem os chamados gases de efeito estufa, ou seja, gases que possuem a propriedade de reter o calor. Entre os exemplos mais conhecidos de gases de efeito estufa temos, além da água, o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e os clorofluorcarbonetos (CFCs). Além desses temos outros óxidos de nitrogênio, genericamente chamados de NO_x , monóxido de carbono (CO) e outros halocarbonetos de origem industrial como os hidrofluorcarbonetos (HFC) e os perfluorcarbonetos (PFC) que também são exemplos de gases de efeito estufa (C&T BRASIL, 1999; MENDONÇA *et al.*, 2000).

As atividades antropogênicas (realizadas pelo homem), principalmente as industriais, são as maiores responsáveis pela poluição atmosférica, embora atividades físicas naturais, como vulcões, também possam liberar diferentes poluentes para o meio ambiente (KAMPA *et al.*, 2007).

As atividades humanas vêm provocando mudanças climáticas em ritmos cada vez mais acelerados ao longo dos anos. A liberação desses gases aumenta a cada ano, visto que são produzidos pela queima de combustíveis fósseis e de florestas, pelo mau uso das técnicas agrícolas e por gases emitidos pelo processo industrial (SILVA *et al.*, 2008).

Os poluentes atmosféricos são produzidos em grandes quantidades e, ao se misturarem com o ar, são levados pelas correntes de ar, por longas distâncias, em um movimento incontrolável. Em muitos locais, é possível ver e sentir a presença de poluentes

atmosféricos como exemplificado na Figura 1 (MENDONÇA *et al.*, 2000)



Figura 1. Fumaça preta emitida por uma usina em Batangas província ao sul de Manila, Filipinas.

Portanto, intensificou-se, no mundo inteiro, a pesquisa por métodos alternativos de produção de energia que liberem menos gases nocivos à atmosfera, já que as atuais fontes de energia causam, quase sempre, um impacto negativo para o meio ambiente (SILVA *et al.*, 2008).

OBJETIVO

Este trabalho se propõe a apresentar os agentes de poluição atmosférica e suas

consequências para o meio ambiente, dando especial atenção ao elemento mercúrio e sua emissão para a atmosfera. Assim como, tentar mostrar que se pode trabalhar a química em sala de aula, utilizando-se dos temas do cotidiano, na tentativa de tornar a disciplina mais prazerosa para os alunos de ensino médio.

A seguir, serão descritos alguns poluentes atmosféricos e suas principais características:

1. Dióxido de carbono (CO₂):

O dióxido de carbono recebe atenção especial devido ao grande volume de suas emissões, as quais aumentam a cada ano, como pode ser visto na Figura 2.

Distribuído pela atmosfera, ele age como uma cobertura que permite a entrada da radiação solar, mas impede que a radiação infravermelha emitida pela Terra seja liberada. Dessa forma, a atmosfera se mantém mais aquecida, através de um efeito estufa natural, possibilitando a vida na Terra. Para manter o equilíbrio térmico do planeta, a Terra deveria emitir a mesma quantidade de energia que recebe do sol, na forma de radiações térmicas. Se o gás carbônico absorve parte dessa energia que deveria ser emitida o planeta tenderá a se aquecer (C&T BRASIL, 1999; CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003).

O aumento da temperatura global em decorrência do efeito estufa pode produzir efeitos catastróficos na natureza. Do ponto de vista biológico, a elevação da temperatura pode afetar diretamente a lavoura, encurtando o ciclo das culturas e antecipando as épocas de semeadura e de colheita (AGOSTINETTO *et al.*, 2003).

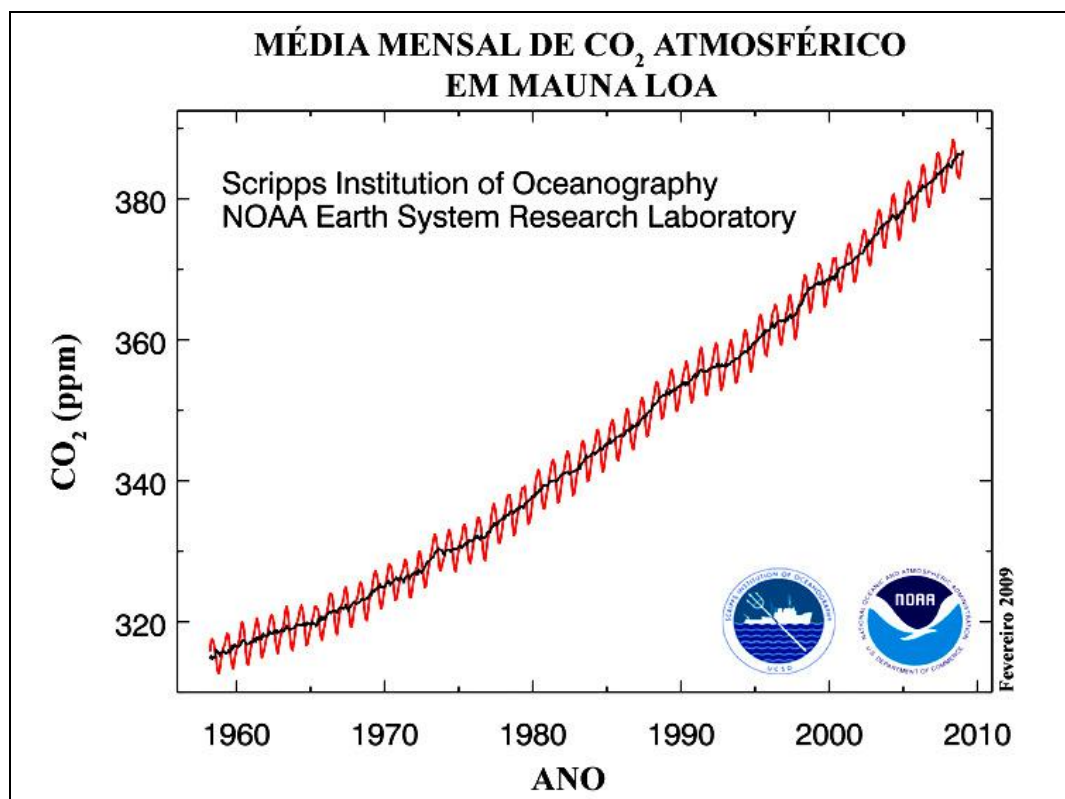


Figura 2. Média mensal de dióxido de carbono atmosférico no Observatório de Mauna Loa, Havaí.

Desde a industrialização das nações na década de 1950 que as atividades antropogênicas vêm aumentando as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, ampliando assim a capacidade, já existente, de absorção de energia. Este fato se deve, principalmente pelo incremento nas emissões do principal gás de efeito estufa, o CO₂, proveniente da queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural), em usinas termoeletricas e indústrias, veículos em circulação, fogões domésticos e sistemas domésticos de aquecimento. As queimadas e os desmatamentos também contribuem significativamente, já que isto afeta os reservatórios naturais e sumidouros que podem absorver o CO₂ do ar (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003).

2. Metano (CH₄):

Dentre os gases de efeito estufa, temos o metano, que recebe atenção particular devido à quantidade emitida e à capacidade de absorção de radiação.

É o segundo gás em volume de emissões, sendo superado apenas pelo CO₂. Além de ser um dos principais causadores do efeito estufa, com capacidade de absorção de calor de 15 a 40 vezes superior à do gás carbônico, reage com o oxigênio na presença de óxido nítrico produzindo ozônio na troposfera terrestre. Tem a capacidade também de minimizar o ataque dos átomos de cloro ao ozônio, uma vez que ao reagir com o cloro forma o ácido clorídrico, atuando como reservatório inerte de cloro. Ainda, segundo estudos, a reação-chave do metano na atmosfera inclui sua oxidação com radicais hidroxila, formando água (AGOSTINETTO *et al.*, 2003).

Suas principais fontes são: solos naturalmente inundados, lavouras de arroz, fermentação entérica, gás natural, queima da biomassa, flatulências do gado, aterros sanitários (Figura 3), minas de carvão e oceanos (AGOSTINETTO *et al.*, 2003; SILVA *et al.*, 2008).

O gás de aterros sanitários, um dos maiores emissores de metano, é produzido pela decomposição anaeróbica (sem a presença de oxigênio) de resíduos orgânicos. Este gás é composto por aproximadamente 50% de metano (CH₄), 40% de dióxido de carbono (CO₂), 9% de nitrogênio, concentrações residuais de compostos orgânicos voláteis (poluentes perigosos) e de outros elementos (SILVA *et al.*, 2008).

Uma opção atrativa para a redução na emissão desses gases é a captação e utilização do gás produzido em aterros sanitários, uma vez que o metano possui grande calor de

combustão, fazendo com que o gás possa ser usado para cozinhar e na produção de energia elétrica (SILVA *et al.*, 2008).



Figura 3. Aterro sanitário de Gramacho no Rio de Janeiro.

3. Monóxido de carbono (CO):

O CO, um asfixiante químico, é um gás perigoso, incolor, inodoro, sem sabor e não irritante. Tem a capacidade de deixar uma pessoa inconsciente ou mesmo matar em poucos minutos. Conhecido como assassino silencioso, o monóxido de carbono é produzido pela combustão incompleta de matéria orgânica, como carvão, madeira, papel, óleo combustível, gás natural e gasolina (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003; LACERDA *et al.*, 2005).

Tem afinidade com a hemoglobina, uma proteína contida nos glóbulos vermelhos do sangue que transporta oxigênio para os tecidos. A toxicidade do CO no homem é

explicada pela competição com o O₂ pela hemoglobina, promovendo a conversão da oxihemoglobina em carboxi-hemoglobina (COHb) (LACERDA *et al.*, 2005).

O monóxido de carbono, além de contribuir para a poluição atmosférica, representa perda de energia, já que é um dos produtos da combustão incompleta. É um gás venenoso que apresenta variados sintomas de acordo com a concentração, os quais serão descritos na Tabela 1. Os valores são aproximados e variam de indivíduo para indivíduo, dependendo do estado de saúde e do nível de atividade física (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003).

Tabela 1. Os efeitos e sintomas do CO de acordo com a concentração e o tempo de exposição:

Concentração em ppm	Efeitos e sintomas	Tempo em horas
35	Nível permissível de exposição	8
200	Dor de cabeça leve	3
400	Dor de cabeça	2
600	Dor de cabeça	1
1.000 – 2.000	Confusão, dor de cabeça e náusea	2
1.000 – 2.000	Tendência a cambalear	1,5
1.000 – 2.000	Palpitação	0,5
2.000 – 2.500	Perda da consciência	0,5
4.000	Fatal	<1

Fonte: CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003.

É sempre desejável a ausência do CO, devido à alta toxicidade. No entanto, a oxidação completa do CO a CO₂ não soluciona o problema, visto que o CO₂ na atmosfera é

um dos gases que mais contribuem para o aquecimento global (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003).

4. Material Particulado:

O material particulado está entre os poluentes que causam mais danos ao meio ambiente, pois ataca os pulmões, aumenta as taxas de reação na atmosfera, reduz a visibilidade e altera os níveis de radiação solar que atinge o solo, influenciando no crescimento das plantas. O tamanho da partícula, que varia de 0,001 a 500 μm , determina o seu comportamento na atmosfera. Partículas muito pequenas não se depositam no solo e se movem aleatoriamente pelo ar, podendo ficar na atmosfera por períodos indefinidos de tempo. Partículas maiores, a partir de 20 μm , permanecem por pouco tempo na atmosfera, pois logo se depositam (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003).

O craqueamento dos hidrocarbonetos gera partículas com tamanho inferior a 0,1 μm , denominadas fuligem, como produto de combustão. Além da fuligem, combustíveis líquidos podem formar material particulado, quando contêm hidrocarbonetos menos voláteis na sua composição, os quais, permanecendo muito tempo em elevada temperatura, podem sofrer decomposição térmica levando à formação de coque, uma estrutura porosa sólida de carbono. O coque formado pode ainda produzir CO e CO₂ através das reações:



A reação (4.2) é considerada a mais importante. No entanto, ela depende da quantidade de oxigênio disponível no ambiente da reação (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003).

Enfim, a qualidade do ar não depende somente da quantidade de poluentes lançados pelas fontes emissoras, mas também da forma como a atmosfera age no sentido de concentrar ou dispersar esses poluentes, sendo de fundamental importância para isso as condições regionais da atmosfera (estado, velocidade e direção dos ventos e precipitação), os aspectos locais do clima (ilhas de calor e circulação de ar) em consonância com as características da superfície urbana (topografia natural e edificada interferindo no campo de vento; ruas e prédios, usos do solo) (TORRES *et al.*, 2005).

Um aspecto recém descoberto com relação ao material particulado, é que ele contribui para reduzir o aquecimento global através do espalhamento da luz para fora da Terra. Isso se tornou evidente quando a China, nos anos mais recentes, aplicou normas para reduzir a poluição industrial. Com isso o ar ficou mais limpo e a luz pode penetrar mais, contribuindo para aumentar o aquecimento global. Com o ar poluído de partículas, a luz era espalhada e com isso os efeitos do aquecimento global, provenientes dos gases de efeito estufa, foram retardados (RAMANATHAN *et al.*, 2007).

5. Dióxido de enxofre (SO₂):

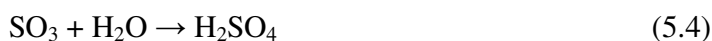
O dióxido de enxofre (SO₂) é inserido na atmosfera por vias naturais ou antropogênicas. A queima de combustíveis fósseis em processos industriais é a principal

fonte não-natural de SO₂ para a atmosfera. Durante a combustão, praticamente todo o enxofre contido no combustível se oxida a SO₂ (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003).

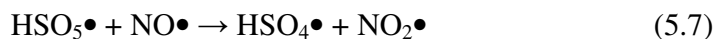
Os principais combustíveis fósseis que possuem enxofre em sua composição são: carvão (0,1% a 6%), óleo combustível (0,75% a 3%), gasolina (≈0,04%) e diesel (≈0,22%). O gás natural não possui enxofre em sua composição primária. No entanto, pequena porção do mesmo é adicionada ao gás para que ele deixe de ser inodoro, apenas por questões de segurança em caso de vazamento (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003).

O tempo de vida do SO₂ na atmosfera varia entre 2 e 6 dias, podendo atingir até 4.000 km de distância de sua fonte de emissão. Sua dispersão depende das condições climáticas, topografia e altura e projeto da chaminé, sendo, portanto, bastante complexa (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003).

O enxofre proveniente da queima de combustíveis fósseis pode reagir na atmosfera de maneiras diversas para formar, principalmente, os ácidos sulfuroso (5.1 e 5.2) e sulfúrico (5.1, 5.3 e 5.4) que farão parte da composição da chuva ácida. Um dos mecanismos se dá através da reação do enxofre com a água, como descrito a seguir (USP, 2009):



Através de um outro mecanismo de oxidação homogênea, ou seja, em fase exclusivamente gasosa, o SO₂ reage formando também o ácido sulfúrico (H₂SO₄), partindo da reação com o radical hidroxila (HO•), na sequência a seguir (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003):



O radical livre hidroxila, um dos radicais altamente reativos presentes no mecanismo, é formado por reações que envolvem a decomposição do ozônio pela luz, num processo chamado de fotólise. Neste processo, a radiação solar rompe as ligações covalentes do O_3 . A Figura 4 exemplifica resumidamente este processo (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003).

O H_2SO_4 formado é, então, depositado no solo, nas águas e nas plantas com a chuva, formando a chuva ácida. Geralmente, essa chuva ácida também possui ácido nítrico (HNO_3). Os danos causados pela chuva ácida ao meio ambiente são incalculáveis (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003).

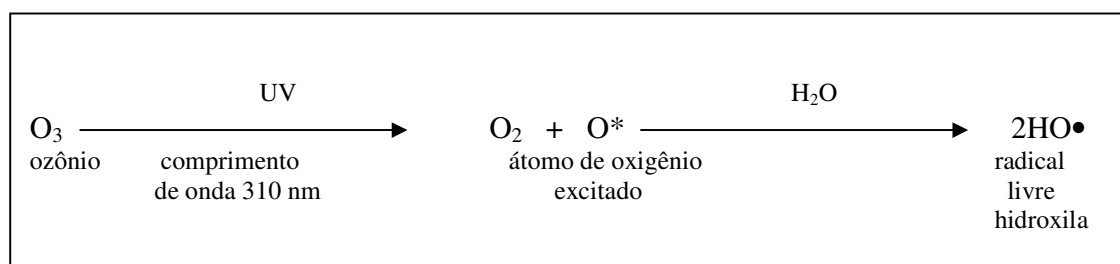


Figura 4. Esquema resumido da formação do radical hidroxila.

A acidificação dos lagos e correntes de água, danos às árvores e ao solo e deterioração de materiais (Figura 5) e pinturas de edifícios são alguns dos prejuízos causados pela chuva ácida. Além disso, os gases e as partículas derivados do SO_2 e do NO_x ,

incluindo sulfatos e nitratos, contribuem para diminuir a visibilidade e prejudicar a saúde pública, antes de se depositarem no solo (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003).

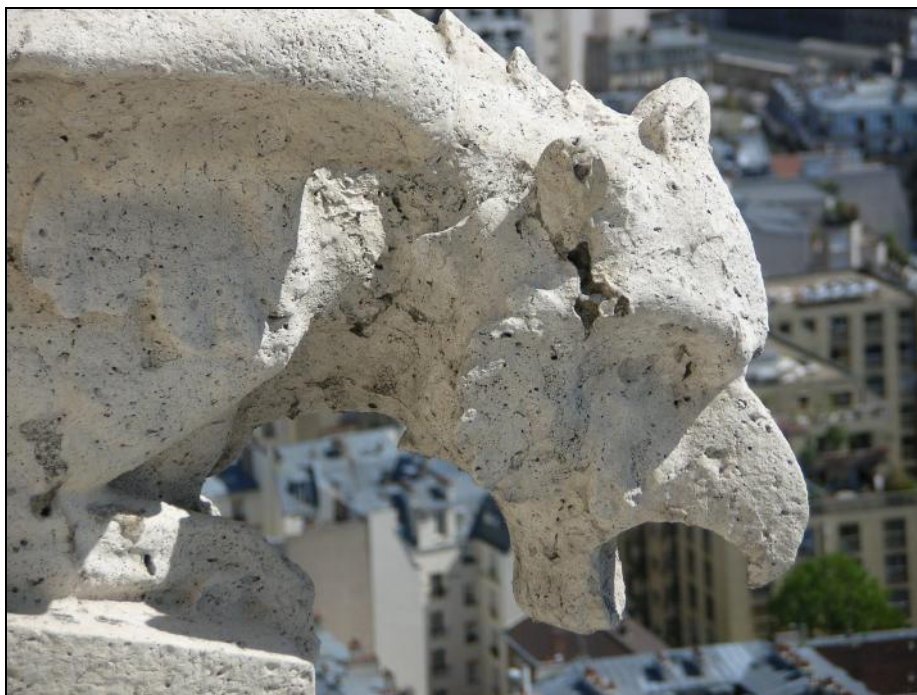


Figura 5. Gárgula da Basílica do Sagrado Coração (Sacré Coeur) em Paris deteriorada pela chuva ácida.

O pH da água pura está em torno de 7,0 e o da água da chuva é ligeiramente ácido pela influência do CO_2 presente no ar. Portanto, quando o pH atinge valores menores que 5,6, a chuva é considerada ácida (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003).

A quantidade de ácido depositado, a habilidade das rochas, do solo e da água em neutralizar o ácido e a resistência dos organismos vivos às conseqüentes mudanças são fatores que determinam a sensibilidade de um ecossistema à chuva ácida (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003).

O SO_2 não só afeta o meio ambiente como também pode causar sérios danos à saúde, mesmo em baixas concentrações, tendo efeito, sobretudo, no sistema respiratório.

Devido à sua solubilidade em água, é absorvido nas passagens úmidas do trato respiratório, causando irritações, especialmente em pessoas com alguma debilidade respiratória ou asma, além de estimular o surgimento de secreções da mucosa (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003).

6. Óxidos de nitrogênio (NO_x):

O termo geral NO_x é usado para representar o conjunto dos compostos nitrogenados, monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂), que são os dois componentes de nitrogênio mais emitidos em processos de combustão. Normalmente, as quantidades de NO formadas são muito maiores do que as de NO₂. Contudo, uma vez lançado na atmosfera, o NO rapidamente se transforma em NO₂ (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003).

Os NO_x estão presentes na formação da chuva ácida, juntamente com o SO₂, na sequência de reações descritas abaixo (UENF, 2009):



Além disso, são responsáveis pela formação do Smog (Figura 6), funcionando como precursores principais das reações fotoquímicas envolvidas no processo (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003).

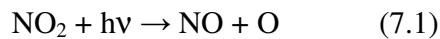


Figura 6. Smog que envolve Pequim, na China.

O Smog é caracterizado por uma névoa marrom-amarelada que aparece sobre áreas urbanas em dias ensolarados, tendo como componentes o ozônio, NO_x , componentes orgânicos voláteis (Volatile Organic Compounds, VOC), SO_2 , aerossóis e material particulado. Ocorre principalmente no verão, quando a luz do Sol é abundante e as temperaturas são mais elevadas. Em quantidade excessiva, ameaça as pessoas, os animais e as plantas (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003).

7. Ozônio (O_3):

O poluente atmosférico predominante no smog encontrado em áreas urbanas é o ozônio (O_3). Quando os raios ultravioleta (UV) de origem solar incidem sobre o NO_2 liberado no meio ambiente, transformações fotoquímicas ocorrem que levam à formação do ozônio (O_3) através das reações (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003):



O ozônio presente no nível do solo se apresenta como um risco para a saúde humana, provocando problemas pulmonares. Na estratosfera, de 15 a 40 km acima do solo, a camada de ozônio tem a função de absorver os raios ultravioleta (UV), evitando que eles causem danos aos animais, plantas e seres humanos. Como apenas uma pequena fração do ozônio da estratosfera atinge a superfície terrestre, a maior fonte de ozônio dissolvido na troposfera decorre das reações (7.1) e (7.2) descritas acima (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003).

O ozônio quebra as ligações C=C existentes nos compostos orgânicos. Em altas concentrações, os tecidos humanos, vegetais e animais são totalmente destruídos. Nas plantas, seu efeito pode ser detectado pela coloração prateada, enquanto as borrachas e plásticos se tornam ressecados e quebradiços (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2003).

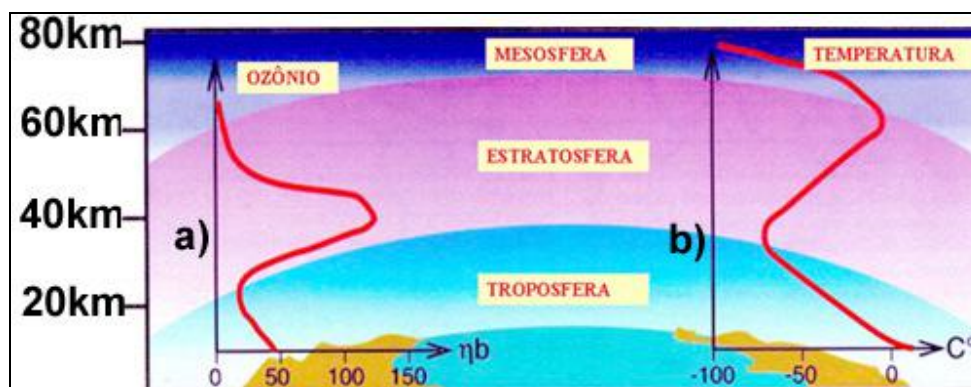


Figura 7. Perfil da camada de ozônio (a) e da temperatura (b) com a altura.

8. Poluentes orgânicos persistentes (POPs):

São compostos químicos que persistem no ambiente por longos períodos de tempo e seus efeitos são agravados à medida que se movem através da cadeia alimentar (biomagnificação). Entre eles estão as pesticidas (DDT, Clordano, Toxafeno, Dieldrin, Aldrin, Endrin, Heptacloro e Mirex) que são agrotóxicos organoclorados de uso proibido ou severamente restrito na maioria dos países; as dioxinas (Figura 8a) e os furanos (Figura 8b) que são subprodutos da combustão e de processos envolvendo produção, uso e disposição de organoclorados, tais como a incineração de lixo e a produção do plástico PVC (Policloreto de vinila); e as Bifenilas Policloradas (PCBs) que devido às suas propriedades isolantes foram usados como fluidos refrigerantes e isolantes nos transformadores e capacitores (KAMPA *et al.*, 2007; BUENO *et al.*, 2007).

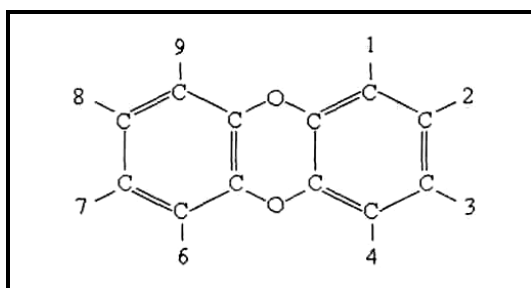
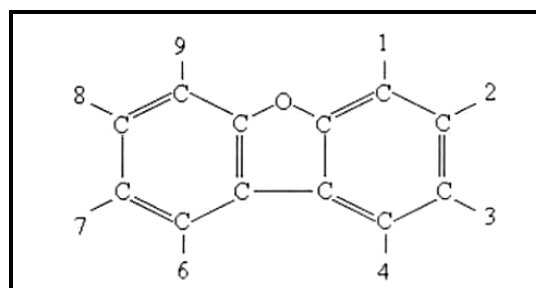


Figura 8. a) Fórmula estrutural do núcleo dioxina



b) Fórmula estrutural do núcleo furano

Há evidências crescentes sobre os efeitos dos POPs na saúde humana. Dentre eles estão: câncer, distúrbios no aprendizado, infertilidade, alterações no sistema imunológico, entre outros. Para resolver este problema é preciso eliminar internacionalmente a produção

e o uso de todos os POPs, e dos processos que levam à sua geração não intencional, como subprodutos, implementando tecnologias de produção limpa (BUENO *et al.*, 2007).

9. Metais pesados:

A maioria dos metais pesados é perigosa por causa da bioacumulação, ou seja, o aumento da sua concentração em um organismo biológico ao longo do tempo, em comparação com a concentração no ambiente. A acumulação se dá a partir do momento em que os compostos são assimilados e armazenados mais rapidamente do que metabolizados ou excretados (KAMPA *et al.*, 2007).

Neste grupo, estão incluídos basicamente o chumbo, mercúrio, cádmio, prata, níquel, vanádio e cromo. Em pequenas quantidades no corpo humano, na forma de oligoelementos, são essenciais na manutenção de reações metabólicas normais. No entanto, em concentrações maiores eles podem se tornar tóxicos. Estes metais estão presentes naturalmente na crosta terrestre. Não podem ser degradados ou destruídos, sendo transportados pelo ar e podendo contaminar a água de consumo humano. Além disso, podem vir de variadas fontes antropogênicas, incluindo a queima de combustíveis fósseis e biomassa (KAMPA *et al.*, 2007).

Dentre os combustíveis fósseis, encontramos o gás natural que vem sofrendo um aumento na sua utilização devido ao baixo custo, à abundância e ao reduzido impacto ambiental associado à sua utilização quando comparado a outros combustíveis fósseis, tal como o petróleo. No entanto, há estudos acerca da importância do gás natural como fonte potencial de mercúrio para o meio ambiente, visto que mesmo apresentando concentrações

baixas desse metal, pelo seu uso em grandes volumes pode representar uma emissão significativa de mercúrio (LACERDA *et al.*, 2007).

Assim, este trabalho se propõe a apresentar um panorama sobre a possível contaminação de mercúrio oriunda da queima do gás natural, bem como a destacar este tema como fonte de discussão e conscientização dos problemas ambientais em sala de aula para alunos do ensino médio.

II. SOBRE O MERCÚRIO

O mercúrio é um metal perigoso em situações ocupacionais e ambientais, que por ser quimicamente muito macio, liga-se aos grupos tióis das proteínas. Portanto, é um dos metais pesados de maior preocupação ambiental.

Ele é o único metal que existe na forma líquida à temperatura ambiente e pressão atmosférica. Possui um baixo ponto de fusão, sendo um elemento bastante volátil o qual libera um gás monoatômico e muito tóxico chamado de vapor de mercúrio. Este é quimicamente estável, podendo permanecer na atmosfera por um longo período de tempo, tornando-se, assim, de fundamental importância para o ciclo do mercúrio (BRANCO *et al.*, 2002; FFUP, 2009; WIKIPEDIA, 2009). A Tabela 2 mostra as principais características do elemento mercúrio.

O símbolo Hg vem do latim *hydrargyrum* (*hydor* significa "água" e *argyros*, "prata"), significando prata líquida. Os romanos latinizaram o nome para *hydrargirium*. Assim, tomando-se a inicial maiúscula do nome em latim, seguida por uma segunda letra em minúsculo para diferenciação, seu símbolo ficou sendo Hg, para não confundir com o H, símbolo do hidrogênio (WIKIPEDIA, 2009).

Tabela 2. Algumas informações básicas sobre o mercúrio:

Propriedades físico-químicas do mercúrio	
Nome / símbolo	Mercúrio / Hg
Número atômico / Massa atômica	80 (80 prótons e 80 elétrons) / 200,59 u.m.a.
Estado padrão	Líquido à temperatura ambiente, nas condições padrão de temperatura e pressão
Grupo (ou família) na tabela periódica	12 ou família do zinco (anteriormente chamado 2B)
Período na tabela periódica	6
Classe / Série química	Metal / Metal de transição
Cor / odor	Branco prateado / Inodoro
Ponto de fusão / ponto de ebulição	-38,87 °C / 356,58 °C
Configuração eletrônica	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²
Estados de oxidação	0, +1, +2 (em geral, facilmente interconvertíveis na natureza)
Estrutura cristalina	Romboédrica (quando congelado e submetido a baixas pressões) e tetragonal (se submetido a altas pressões)
Solubilidade	Insolúvel em água e solúvel em ácido nítrico ao ser oxidado.

Fonte: FFUP, 2009; WIKIPEDIA, 2009; AREASEG, 2009; WEBELEMENTS, 2009.

Este metal líquido prateado (Figura 9) é muito denso, e possui uma tensão superficial alta que permite formar pequenas esferas perfeitas nas rochas e minerais onde é encontrado. Estabelece liga metálica facilmente com muitos outros metais, produzindo amálgama, que é uma liga relativamente consistente formada quando o ouro, a prata, o chumbo ou metais alcalinos são dissolvidos pelo mercúrio (WIKIPEDIA, 2009; AREASEG, 2009).



Figura 9. Em Chicago, escultura inspirada no mercúrio líquido.

Nos diferentes compartimentos ambientais, o mercúrio pode ser encontrado como inorgânico e/ou orgânico. Na forma inorgânica, pode se apresentar sob três diferentes estados de oxidação: o Hg elementar, Hg^0 , o qual é predominante na atmosfera e está principalmente na forma gasosa, o íon mercurioso, Hg_2^{2+} , sendo pouco estável em sistemas naturais, e o íon mercúrico, Hg^{2+} , que se forma predominante em águas naturais. Na forma

orgânica, o íon mercúrico está ligado covalentemente a um radical orgânico, sendo o dimetilmercúrio, $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$, a forma mais comum e de maior importância ambiental devido à elevada toxidez a organismos superiores, além do fenilmercúrio (LACERDA *et al.*, 2007; MICARONI *et al.*, 2000).

Presente naturalmente na crosta terrestre, na água, na biota e na atmosfera, o mercúrio pode ocorrer no meio ambiente associado ao enxofre, formando com este o minério cinabre, HgS , que é um composto de cor vermelha ou preta (Figura 10). O cinabre foi inicialmente usado como pigmento vermelho há mais de três mil anos. A partir do cinabre, obtém-se o mercúrio metálico, através do aquecimento do minério seguido de condensação (LACERDA *et al.*, 2007; MICARONI *et al.*, 2000).



Figura 10. Cinabre (mineral vermelho) da mina Las Cuevas em Almadén, Espanha.

Quando combinado a elementos como o cloro, enxofre ou oxigênio, o mercúrio forma compostos inorgânicos chamados de sais de mercúrio (sais mercuriosos e mercúricos). Os principais sais formados são: cloreto de mercúrio (veneno poderoso), cloreto mercurioso (calomelano, usado antigamente em medicina e em eletrodos de referência na eletroquímica), fulminato de mercúrio (explosivo usado em detonadores) e o

sulfato de mercúrio (vermelhão, pigmento vermelho empregado em tintas) (FFUP, 2009; MSPC, 2009).

Para as diferentes formas de apresentação do mercúrio no meio ambiente, há um ciclo biogeoquímico genérico (Figura 11) que descreve a interconversão entre os compostos de mercúrio nos diferentes estados de oxidação nos sistemas atmosférico, aquático e terrestre. Este ciclo é caracterizado pelas diversas rotas para este composto no ambiente (MICARONI *et al.*, 2000).

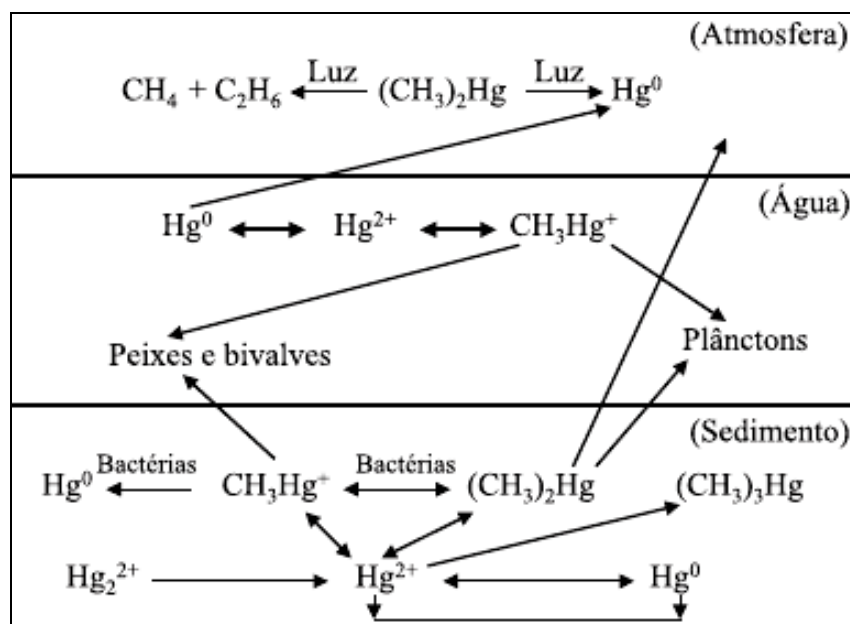


Figura 11. Ciclo do mercúrio em ambientes naturais.

O vapor de mercúrio e os compostos organomercuriais voláteis podem viajar grandes distâncias na atmosfera. O mercúrio elementar é oxidado e os organomercuriais são decompostos, ambos a Hg^{2+} , por reações com o ozônio, radicais hidroxila ou halogênios da atmosfera. Os íons formados são solvatados pelas moléculas de água e depositados pela

chuva. Grande parte do mercúrio depositado volta a circular em consequência dos processos que produzem compostos voláteis ou vapor de mercúrio.

O mercúrio oxidado na forma de Hg^{2+} pode reagir com o cloreto presente na atmosfera formando o cloreto de mercúrio, HgCl_2 . O sal formado se depositará na água e no solo, podendo levar ao CH_3Hg^+ ou se volatilizar na forma de Hg^0 , CH_3Hg^+ ou $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$, retornando, assim, para a atmosfera (BISINOTI *et al.*, 2004).

Bactérias redutoras de sulfato, através da atividade de biometilação, produzem metilmercúrio que é liberado para a atmosfera. Outras bactérias se livram do mercúrio liberando Hg^0 volátil; estas bactérias possuem uma enzima chamada de metilmercúrio liase que quebra a ligação metil-mercúrio do CH_3Hg^+ e uma outra enzima que reduz o Hg^{2+} produzido a Hg^0 , a metilmercúrio redutase (BISINOTI *et al.*, 2004).

Solos e sedimentos podem funcionar como fonte ou sumidouro de mercúrio. Portanto, é de extrema importância entender a distribuição do metal nesses compartimentos (BISINOTI *et al.*, 2004).

III. O MERCÚRIO COMO AGENTE CAUSADOR DE DOENÇAS

O perigo que alguns elementos representam está intimamente ligado com a capacidade de se apresentarem em estados de oxidação alternativos. Muitos metais se encontram imobilizados na forma de sulfetos insolúveis na crosta terrestre. No entanto, podem se tornar móveis no ambiente, quando oxidados em contato com o ar. Como é o caso do sulfeto de mercúrio(II), um mineral imóvel que, ao ser oxidado pelo ar, passa a sulfato de mercúrio(II) que é móvel.

O mercúrio é regulado pela US EPA (United States Environmental Protection Agency) por ser considerado um poluente de alto risco, devido aos efeitos à saúde decorrentes da exposição ao metilmercúrio encontrado na água e em alimentos aquáticos (CARDOSO *et al.*, 2001).

Para alguns metais, a toxicidade é determinada pela conjunção do transporte através da membrana e a ligação intracelular com determinado estado de oxidação. As membranas possuem uma barreira de hidrocarbonetos às espécies iônicas, que são impermeáveis ao Hg^{2+} , tornando os sais de mercúrio relativamente inofensivos. Da mesma forma, o mercúrio sob forma líquida não é absorvido pelo intestino, de forma que ele não é tóxico quando ingerido. Já o vapor de mercúrio é altamente tóxico, pois os átomos neutros têm facilidades para atravessar as membranas dos pulmões, bem como para transpor a barreira sangue-cérebro. Por isso, todo o derramamento de mercúrio deve ser cuidadosa e rigorosamente sanado (CARDOSO *et al.*, 2001).

No cérebro, as mitocôndrias das células oxidam o Hg^0 a Hg^{2+} , o qual se liga a importantes grupos tiolatos das proteínas neuronais. O mercúrio é uma neurotoxina

poderosa quando chega ao interior das células nervosas.

Os organomercuriais, particularmente o metilmercúrio, são ainda mais perigosos do que o vapor de mercúrio. No estômago, o metilmercúrio é complexado pelo cloreto, formando o CH_3HgCl que é absorvido pelo intestino, já que é um composto eletricamente neutro e pode atravessar as membranas. Dentro das células, o metilmercúrio se liga aos grupos tiolato das proteínas e se acumula.

O mercúrio é oxidado à forma divalente (mercúrio iônico) pelo complexo chamado hidrogênio peróxido catalase presente no sangue, fígado e rins. Os amálgamas dentários (Figura 12) preparados com mercúrio também podem gerar uma intoxicação com esta forma química, devido à evaporação na boca dos pacientes (CARDOSO *et al.*, 2001).



Figura 12. Restauração feita com amálgama em comparação com uma feita em resina.

Quando o metilmercúrio é assimilado, cerca de 95% da dose oral é absorvida pelo intestino para a corrente sanguínea. Neste caso, são necessários aproximadamente 70 dias para que 50% da dose ingerida sejam excretadas. Desta forma, ocorre uma acumulação de mercúrio no organismo ao longo do tempo, mesmo com exposição relativamente baixa (LACERDA *et al.*, 2007).

A espécie mais tóxica do mercúrio é o metilmercúrio, pois assim o elemento pode ser bioacumulado devido à capacidade de se fixar a corpos superficiais e através da ingestão de peixes, sua principal via de exposição. No corpo humano, o metilmercúrio é relativamente estável, sendo distribuído para todos os tecidos, depois de absorvido. Seu tempo de meia-vida biológico é de 44 a 80 dias, podendo ser excretado via fezes, leite materno e urina (BISINOTI *et al.*, 2004).

Os organismos aquáticos têm alta capacidade de absorver compostos de mercúrio tanto de origem orgânica quanto inorgânica, acumulando o metal em seus tecidos principalmente na forma de metilmercúrio. Mesmo quando expostos ao Hg^{2+} , o acúmulo se dá pelo metilmercúrio, apontando para o fato de que em algum momento do processo, após a absorção, ocorre a metilação. Para os peixes, o tempo de meia-vida varia de acordo com a espécie (BISINOTI *et al.*, 2004).

Áreas específicas do cérebro, como cerebelo e lobos temporais, são alvos principais do metilmercúrio no sistema nervoso central. Alguns dos principais sintomas da intoxicação por metilmercúrio são:

- ❖ Ataxia - perda da coordenação dos movimentos voluntários;
- ❖ Disartria - problemas nas articulações das palavras;
- ❖ Parestesia - perda da sensibilidade nas extremidades das mãos e pés e em torno da boca;

- ❖ Visão de túnel - constrição do campo visual;
- ❖ Perda da audição.

O mercúrio é reconhecidamente um agente teratogênico (Figura 13), ou seja, é capaz de produzir dano ao embrião ou feto durante a gravidez. O metilmercúrio da mãe é transportado para o feto via placenta, no entanto, o mercúrio inorgânico é encontrado em maior concentração no líquido amniótico, devido à menor capacidade de atravessar a barreira placentária. O leite materno também é uma via de transporte de mercúrio inorgânico. Portanto, estes compostos de mercúrio, principalmente os orgânicos, causam sérios danos ao feto em desenvolvimento, principalmente a nível neurológico (CARDOSO *et al.*, 2001).



Figura 13. Efeito teratogênico da contaminação com mercúrio na Baía de Minamata, Japão.

IV. AS FONTES DE POLUIÇÃO COM MERCÚRIO E ALGUNS CASOS DE CONTAMINAÇÃO

As principais fontes naturais de mercúrio são: erupções vulcânicas, evaporação natural e minas de mercúrio (MICARONI *et al.*, 2000).

As contribuições antropogênicas do mercúrio vêm da queima de combustíveis fósseis, da produção eletrolítica do cloro e soda cáustica, da produção de acetaldeído, de incineradores de lixo, da produção de tintas, da agricultura (bactericidas, fungicidas, herbicidas, inseticidas e praguicidas), das lâmpadas de vapor de mercúrio, do uso em detonadores, dos produtos odontológicos (amálgama) e do garimpo de ouro, entre outras (Tabela 3) (MICARONI *et al.*, 2000; BRANCO *et al.*, 2002).

A principal via de exposição humana ao metilmercúrio se dá através da ingestão de peixes, principalmente os carnívoros (LACERDA *et al.*, 2007).

O mercúrio se apresenta como o único metal que comprovadamente causou óbitos em humanos, através da contaminação ambiental, particularmente via ingestão de organismos aquáticos contaminados (LACERDA *et al.*, 2008).

Fatores como dificuldades socioeconômicas dos países em desenvolvimento e o aumento internacional no valor agregado ao ouro, ocasionaram uma verdadeira corrida do ouro em quase todos os países da Bacia Amazônica. O processo de pré-concentração e extração do ouro era realizado através da amalgamação com mercúrio metálico. Com isso, grandes quantidades de mercúrio foram lançadas nos principais rios e na atmosfera do ecossistema amazônico (LACERDA *et al.*, 2008).

Tabela 3. Principais atividades relacionadas com a utilização do mercúrio em seus diferentes estados de oxidação:

Estado de oxidação do mercúrio	Elementar	Inorgânico	Orgânico
Atividades relacionadas	<ul style="list-style-type: none"> * Produção de cloro e soda; * Instrumentos de medição (termômetros, barômetros...); * Amálgama odontológico; * Lâmpadas fluorescentes; * Extração e purificação de ouro e prata; * Indústria de eletroeletrônicos; * Produção de polpa de papel; * Indústria de jóias. 	<ul style="list-style-type: none"> * Agentes anti-sifilíticos; * Produção de acetaldeídos; * Laboratório químico/fotográfico; * Indústria de cosméticos/ perfumes; * Produção de explosivos; * Desinfetantes; * Produtos conservantes de madeira; * Prateação de espelhos; * Manufatura de tintas. 	<ul style="list-style-type: none"> * Agente anti-séptico (Merthiolate); * Conservação de madeira; * Conservação de peles animais; * Inseticidas, fungicidas e produtos usados na agricultura; * Produtos para conservação de sementes; * Herbicidas; * Catalisador.

Fonte: JUNG, 2004.

Embora as atividades garimpeiras (Figura 14) tenham quase desaparecido após 1998, concentrações elevadas de mercúrio continuam sendo medidas em peixes e na população humana consumidora, sugerindo uma extensa remobilização do mercúrio depositado nos ecossistemas da região (LACERDA *et al.*, 2008).



Figura 14. Garimpeiro no rio Juma, em Novo Aripuanã, município do Estado do Amazonas (AM).

Um caso trágico envolvendo contaminação com mercúrio que ficou conhecido mundialmente foi o acidente ocorrido em 1953, na Baía de Minamata (Figura 15), sudoeste do Japão. Uma planta química da empresa Chisso Chemical Corporation (uma das maiores indústrias do Japão, que produzia fertilizantes químicos, resinas sintéticas, plásticos e compostos químicos) utilizava o sulfato de mercúrio para a produção de ácido acético e seus derivados, bem como o cloreto de mercúrio para catalisar a produção de cloreto de vinila. No entanto, o metilmercúrio, um subproduto da síntese do acetaldeído, era despejado

nas águas da Baía. Assim, a biota marinha e as águas da vizinhança foram contaminadas, chegando até a população que se alimentava dos peixes da Baía (BISINOTI *et al.*, 2004; BRANCO *et al.*, 2002; MICARONI *et al.*, 2000).



Figura 15. Baía de Minamata, Japão, nos dias atuais.

Apenas em 1956, a “Doença de Minamata” foi oficialmente descoberta após vários casos de desordens nervosas, chegando a atingir níveis epidêmicos. Por volta de 1960, mais de 100 pacientes já haviam sido diagnosticados com a doença. Cerca de 20% dos casos resultaram em óbito e os sobreviventes ficaram permanentemente incapacitados. Apesar da incerteza na proporção exata do incidente, estima-se que a Chisso tenha descartado em torno de 600 toneladas de mercúrio no efluente. Até 1997, as vítimas fatais passavam de 800, sendo registrados mais de 2.200 casos da doença. Somente em setembro de 1997, as redes que dividiam a Baía, separando peixes contaminados (com teores de mercúrio acima de $0,04 \text{ mg.kg}^{-1}$) dos livres do metal, foi retirada (MICARONI *et al.*, 2000).

As restaurações de amálgama dentário estão entre as fontes potenciais de contaminação pelo mercúrio, segundo pesquisas realizadas, ocorrendo através dos vapores do metal liberados por elas, ou por meio da absorção pela mucosa bucal. Portanto, deve-se adotar rigoroso cuidado na manipulação desse metal quando utilizado na odontologia, além de armazenagem adequada dos resíduos, buscando, sempre que possível, a substituição por material mais limpo, visando à proteção de profissionais, de estudantes, dos pacientes e do meio ambiente (CLARO, 2003).

Mais um grave caso de contaminação ocupacional com mercúrio ocorreu em uma indústria de fabricação de cloro e soda, na Baixada Santista. Um trabalhador que operava células de mercúrio metálico foi contaminado com o mercúrio e carrega consigo as sequelas adquiridas no local de trabalho.

Essas células são como uma cuba metálica onde são depositadas grandes quantidades de mercúrio metálico, o qual funciona como catodo no processo de eletrólise. Cada célula é abastecida continuamente com salmoura ($\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$) que pela ação de corrente elétrica (eletrólise), produz toneladas diárias de soda (NaOH) e cloro (Cl_2). O uso de mercúrio torna o processo mais barato, no entanto, provoca uma perda muito grande do metal para o meio ambiente, provocando sérios problemas ambientais e de saúde pública.

Segundo relatos, até os anos 80, os resíduos de mercúrio da área de tratamento eram despejados diretamente no solo e no rio Cubatão, sendo impossível calcular a quantidade exata, dado o número de vezes que o procedimento se repetiu (ACPO, 2009).

V. O MERCÚRIO NO GÁS NATURAL

Mercúrio elementar e compostos de mercúrio ocorrem naturalmente em hidrocarbonetos geológicos, tais como o carvão, o gás natural e o petróleo bruto. A abundância relativa das espécies de mercúrio encontradas nos hidrocarbonetos está expressa na Tabela 4. A incerteza em alguns dados é devida à ausência de técnicas analíticas de determinação para todas as matrizes, principalmente o carvão (WILHELM, 2001).

Tabela 4. Abundância natural aproximada de compostos de mercúrio em hidrocarbonetos:

Compostos de mercúrio	Carvão	Gás natural	Petróleo bruto
Hg ⁰	T	D	D
(CH ₃) ₂ Hg	?	T	T
HgCl ₂	A	N	A
HgS	D	N	-
HgO	T	N	N
CH ₃ HgCl	?	N	T

Abundância: D (dominante) = acima de 50% do total; A (alguns) = entre 10 e 50%; T (traços) = menos de 1%; N (nenhum) = raramente detectado; ? = resultado inconclusivo. Fonte: WILHELM, 2001.

Grande parte das emissões atuais de mercúrio é proveniente da queima de combustíveis fósseis. As tecnologias existentes para controle das emissões ainda são ineficientes na remoção de baixas concentrações de compostos de mercúrio, como é o caso do gás natural que apresenta o mercúrio basicamente na forma elementar e em

concentração muito abaixo da saturação. Mas, mesmo em pequenas quantidades, os efeitos do mercúrio e seus compostos são extremamente prejudiciais à saúde humana. (FERREIRA, 2006; WILHELM, 2001).

É comprovada a existência de mercúrio no gás que vem da Bolívia para o Brasil. Em 2003, a PETROBRAS divulgou dados do teor de mercúrio no gás natural transportado pelo Gasoduto Bolívia-Brasil, GASBOL (Figura 16). De acordo com o documento, as concentrações variaram entre 0,12 e 0,60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dessa forma, foi criada uma cláusula, pela PETROBRAS, no contrato de fornecimento, limitando a concentração de mercúrio adquirido da Bolívia em 0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (FERREIRA, 2006).



Figura 16. Mapa do Gasoduto Bolívia-Brasil.

VI. MEDIDAS PARA REDUZIR A POLUIÇÃO COM MERCÚRIO GASOSO

Os dados de solubilidade seletiva e volatilidade do mercúrio elementar e de alguns compostos em água estão expressos na Tabela 5. É importante notar que sulfetos de mercúrio são muito insolúveis em água e óleo e, portanto, são menos poluentes. Já a afinidade do mercúrio pelo ouro é importante em processos analíticos que usam o ouro como coletor de mercúrio em fase gasosa (WILHELM, 2001).

A composição do gás quanto à concentração variável de vapor de mercúrio, a presença de hidrocarbonetos mais pesados, de água e de outras impurezas, a temperatura e as características do sistema filtrante utilizado são alguns dos fatores que influenciam na remoção do mercúrio do gás natural. Algumas técnicas são estudadas para remoção de mercúrio de amostras gasosas, tais como:

- ❖ Adsorção gás/sólido, utilizando suportes à base de sílica, carvão impregnado com ouro ou dopado com enxofre. Nesse caso, o processo é dispendioso e de difícil implementação em escala industrial;
- ❖ Espumas de poliuretano como suporte para remoção de mercúrio II de soluções aquosas. Este mecanismo necessita de condições controladas de temperatura e pH. Porém, já se estuda o uso da mesma espuma modificada quimicamente para uso em processos gás/sólido que promovem a purificação do gás natural de forma econômica, simples e prática (FERREIRA, 2006).

Tabela 5. Solubilidade e volatilidade dos compostos de mercúrio:

Fórmula	Estado	Volatilidade	Solubilidade em água, a 25 °C	Nome
Hg ⁰	Líquido	Ponto de ebulição a 357 °C; pressão de vapor 25 mg/m ³ (25 °C)	50 ppb	Elementar
HgCl ₂	Sólido	Ponto de ebulição a 302 °C	70 g/L	Cloreto de mercúrio (II)
HgSO ₄	Sólido	Decompõe a 300 °C	0,03 g/L	Sulfato de mercúrio
HgO	Sólido	Decompõe a 500 °C	0,05 g/L	Óxido de mercúrio
HgS	Sólido	Sublima a vácuo; decompõe a 560 °C	- log K _{sp} = 52	Sulfeto de mercúrio (II)
HgSe	Sólido	Sublima a vácuo; decompõe a 800 °C	- log K _{sp} ~ 100	Seleneto de mercúrio (II)
(CH ₃) ₂ Hg	Líquido	Ponto de ebulição a 96 °C	< 1 ppm	Dimetilmercúrio
(C ₂ H ₅) ₂ Hg	Líquido	Ponto de ebulição a 170 °C	< 1 ppm	Dietilmercúrio

Fonte: WILHELM, 2001.

VII. CONTEXTUALIZANDO ALGUNS TEMAS DA QUÍMICA

A área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias tem grande importância no desenvolvimento intelectual do estudante do ensino médio, principalmente pela variedade de conceitos que se busca dar significado nas quatro disciplinas envolvidas: Física, Química, Biologia e Matemática. Cada componente curricular tem seu valor, mas no conjunto, as áreas buscam a compreensão da natureza e suas transformações, bem como do próprio ser humano e de suas ações. Embora a especificidade de cada uma das disciplinas deva ser preservada, deve-se promover o diálogo interdisciplinar no espaço e no tempo escolar focando o contexto real como objeto de estudo (BRASÍLIA, 2006).

É nesse contexto que o presente trabalho pretende apontar os agentes de poluição atmosférica e a ocorrência de mercúrio no gás natural como temas geradores no ensino, visto que são objetos de preocupação mundial nos dias atuais.

Diante da gravidade do tema e da sua relação com as disciplinas da área, há infinitas maneiras de debater a questão, principalmente pela contemporaneidade do problema que é assunto nos principais meios de comunicação. Seguem abaixo algumas sugestões de abordagem em sala de aula com o intuito de tornar a química uma disciplina mais atrativa aos olhos do aluno de ensino médio:

1. Os agentes de poluição atmosférica:

Como tratado no primeiro capítulo, é grande o número de poluentes atmosféricos que estão provocando mudanças climáticas drásticas em decorrência, principalmente, das

atividades humanas.

Pode-se, a partir desta problemática, conscientizar os alunos a respeito do papel de cada indivíduo dentro da sociedade, a fim de tentar minimizar o problema e retardar os estragos que são esperados num cenário futuro. Através de notícias veiculadas nos principais meios de comunicação (Anexos), tais como jornais e revistas, trazer o tema para debates em sala de aula.

Meio Ambiente - O Brasil
Volvo contaminado com mercúrio
 16/03/03

LAUDO CONFIRMA PRESEÇA DE MERCÚRIO EM GÁS NATURAL BOLEVIANO

O laudo realizado em 16 de outubro, pela CTQ Químicos S/C Ltda de Santo André (SP), atesta que o gás boliviano possui contaminações de metais pesados e, dentre eles, ocorre a presença de mercúrio, um contaminante altamente tóxico. O gás natural boliviano, transportado pelo Gasoduto Brasil-Bolívia, está utilizado na produção de energia nas usinas termelétricas de Candiária (Brasil, Corumbá e Três Lagoas).

O mercúrio pode provocar sérios danos ao sistema nervoso central, provocando alterações, perda de memória, instabilidade, insônia e tremores no corpo. Apesar de pesquisadores da UFRS - Universidade Federal do Rio de Janeiro e do EIA (Estado de Ingestão) da Bolívia afirmarem que o mercúrio não é absorvido pelo corpo humano, o laudo foi realizado em outubro de 2002 e divulgou neste ano. Os laudos foram enviados ao Ministério Público do Rio de Janeiro, pelo Procurador, comprovando que o gás natural boliviano é contaminado com mercúrio.

Quando foi realizado o Estado e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), para a construção do gasoduto, não foi considerado a presença do mercúrio. Mas no laudo o Estado para implementação da termelétrica de Três Lagoas foi constatado a contaminação do gás.

A Petrobras se amedeia a informação que o gás natural da Bolívia contém mercúrio descobriu-se na reunião EIA/RIMA e 1923/07 do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

De acordo com o professor e doutor em Planejamento de Sistema Energético, Carlos Roberto Lima da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Paraíba, há uma descontinuidade profissional, durante aspectos, a implementação. "Temáticos não estão: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708

Anexos. Notícias veiculadas nos principais meios de comunicação.

A necessidade de redução na emissão de poluentes e os danos que os mesmos causam ao meio ambiente são assuntos pertinentes ao ensino da química e que trazem o cotidiano para o ambiente escolar.

Efeito estufa, chuva ácida, destruição da camada de ozônio e aquecimento global são objetos de constante discussão nos dias atuais e que fazem parte do conteúdo da disciplina em questão. Assim, torna-se mais fácil trabalhar o tema de forma mais criativa e menos tedioso para os adolescentes, mostrando as novas fontes alternativas de energia e a importância de seu uso na tentativa de redução dos efeitos da emissão de poluentes para a atmosfera.

Como um tema mais recente e pouco conhecido, a contaminação por mercúrio proveniente da queima de gás natural que deve ser divulgado, visto que é um assunto pouco discutido devido aos impactos econômicos que pode acarretar, já que essa fonte de energia vem se tornando cada vez mais comum. Porém, os danos causados à saúde humana pelo uso indiscriminado são incalculáveis e devem ser de conhecimento público.

2. Perigos na manipulação do mercúrio:

São várias as atividades relacionadas com a utilização do mercúrio, mas pouco se fala sobre os riscos deste elemento, em suas diferentes formas de apresentação, para a saúde humana.

Termômetros, lâmpadas fluorescentes e ligas dentárias são objetos bastante conhecidos, mas que trazem consigo um perigo embutido e requerem cuidados quanto à manipulação. Realizar tarefas em sala de aula sobre o tema, buscando na Internet, por exemplo, trabalhos que mostrem os cuidados que se deve tomar quando a lâmpada ou o termômetro se quebra.

Contextualizar os perigos da manipulação do mercúrio com as atividades já desenvolvidas, utilizando o garimpo do ouro, as fábricas de cloro e soda e o acidente de

Minamata, como exemplos de fontes de emissão de mercúrio bem como seus efeitos sobre a saúde humana.

3. Tabela periódica dos elementos:

No capítulo II, foram apresentadas as principais características físico-químicas do elemento mercúrio, bem como sua localização na tabela periódica (Figura 17).

A tabela periódica é um dos temas curriculares da química do ensino médio, de conteúdo exclusivamente teórico e pouco atrativo para os alunos.

Assim, utilizando tudo o que foi apresentado sobre o elemento mercúrio, suas características e curiosidades, tentar tornar o aprendizado do tema mais prazeroso para o aluno.

TABELA PERIÓDICA

() = ESTIMATIVA

FAMÍLIA

- 1 Metal Alcalino
- 2 Metal Alcalino Terroso
- 3-10 Metal de Transição
- 17 Halogênios
- 18 Gases Nobres

Elementos destacados:

- Lantanídeos:** 57 La, 58 Ce, 59 Pr, 60 Nd, 61 Pm, 62 Sm, 63 Eu, 64 Gd, 65 Tb, 66 Dy, 67 Ho, 68 Er, 69 Tm, 70 Yb, 71 Lu.
- Actinídeos:** 89 Ac, 90 Th, 91 Pa, 92 U, 93 Np, 94 Pu, 95 Am, 96 Cm, 97 Bk, 98 Cf, 99 Es, 100 Fm, 101 Md, 102 No, 103 Lr.

Elemento destacado na tabela:

80 Hg (200.59)

Figura 17. Localização do mercúrio na tabela periódica.

Esses são apenas alguns dos muitos pontos que podem ser abordados dentro de sala de aula, de forma mais dinâmica e divertida, na tentativa de promover um aprendizado concreto, evitando a fugacidade do conhecimento, tão comum entre os alunos do ensino médio.

Dessa forma, podemos tentar construir nos alunos o interesse pelo conhecimento, bem como ajudar na formação dos mesmos como cidadãos, tentando fugir do treinamento exclusivo para aprovação nos testes.

VIII. CONCLUSÃO

Com base no que foi exposto, percebe-se que a poluição atmosférica é um problema que deve ser levado a sério, devido aos males irreparáveis que pode causar aos seres vivos e ao meio ambiente.

Contribuindo com o agravamento da situação, estão as emissões de mercúrio pela queima de combustíveis fósseis, em especial, à do gás natural, o qual tem se tornado um dos principais componentes de geração de energia nos dias atuais.

Deve-se, portanto, monitorar e controlar rigorosamente as fontes emissoras. A emissão de mercúrio para a atmosfera, pela queima de gás natural, ainda é pequena em relação às demais fontes. No entanto, com a contínua substituição das tecnologias atuais pelo gás natural como fonte de energia, espera-se um aumento significativo nessas emissões.

Seriam necessários programas mais efetivos de conscientização e educação ambiental, para que cada um saiba do seu papel na luta contra o aquecimento global. Além de maior eficácia nos projetos de despoluição realizados e/ou idealizados por instituições ambientais públicas ou privadas.

Diante disso, o professor passa a ter um papel fundamental, já que pode tratar do tema em sala de aula, trazendo as questões ambientais para discussão com os alunos, tornando-os parte integrante do processo de reconstrução de um meio ambiente saudável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACPO, 2009; <http://www.acpo.org.br/campanhas/mercurio/baixada.htm>, acessada em março de 2009.
- AGOSTINETTO, D.; Fleck, N. G.; Rizzardi, M. A.; Balbinot Jr, A. A., 2002; Potencial de emissão de metano em lavouras de arroz irrigado, *Ciência Rural*, Santa Maria, v.32, n.6, p.1073-1081.
- AREASEG, 2009; www.areaseg.com/toxicos/mercurio.html, acessada em janeiro de 2009.
- BISINOTI, M. C.; Jardim, W. F., 2004; *Quim. Nova*, 27, 593.
- BRANCO, J. C.; Pedroso, M., 2002; Workshop Avaliação Global do Mercúrio - A Influência da Indústria de Cloro-Soda na Baixada Santista, Visão do Trabalhador; SP.
- BRASÍLIA, 2006; Orientações curriculares para o ensino médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias; Ministério da Educação, Secretaria de educação básica.
- BUENO, P. G.; Camargo, M. C. R.; Catarino, T. T. M., 2007; Os Efeitos dos Poluentes Orgânicos Persistentes na Saúde Humana e no Meio Ambiente; Trabalho Técnico, II Simpósio Internacional em Gestão Ambiental e Saúde, SENAC, SP.
- C&T BRASIL, 1999; Efeito estufa e a convenção sobre mudança do clima.
- CARDOSO, P. C. dos S.; Lima, P. L.; Bahia, M. O.; Amorim, M. I. M.; Burbano, R. R.; Farias, R. A. F., 2001; Efeitos biológicos do mercúrio e seus derivados em seres humanos – uma revisão bibliográfica; *Revista paraense de medicina*, 15(4):51-58.

- CARVALHO JÚNIOR, J. A. de; Laçava, P. T., 2003; Emissões em processos de combustão - São Paulo: Editora UNESP. ISBN 85-7139-484-9.
- CLARO, F. A.; Ito, F. R.; Bastos, F. M.; Ribeiro, M. E., 2003 - Especialistas em Saúde Pública pela Universidade de Taubaté; Mercúrio no amálgama odontológico: riscos da exposição, toxicidade e métodos de controle - revisão da literatura; *Revistas biociências*, 9(1).
- FERREIRA, R. S., 2006; Desenvolvimento de materiais poliméricos uretânicos para purificação de gás natural: remoção de mercúrio e compostos à base de enxofre; Dissertação de mestrado; UFPR, Curitiba.
- FFUP, 2009; www.ff.up.pt/toxicologia/monografias/ano0708/g1_mercurio/element.html, acessada em janeiro de 2009.
- JUNG, A., 2004; Avaliação do risco de exposição ao mercúrio elementar em uma unidade de terapia intensiva, Porto Alegre.
- KAMPA, M.; Castanas, E., 2007; Human health effects of air pollution; *Environ. Pollut.*
- LACERDA, A.; Leroux, T.; Morata, T., 2005; Efeitos ototóxicos da exposição ao monóxido de carbono: uma revisão. *Pró-Fono Revista de Atualização Científica*, Barueri (SP), v. 17, n. 3, p. 403-412.
- LACERDA, L. D.; dos Santos, A. F.; Marins, R. V., 2007; *Quim. Nova*, 30, 366.
- LACERDA, L. D.; Malm, O., 2008; Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: uma análise das áreas críticas; *Estudos Avançados* 22 (63).

- MENDONÇA, M. J. C.; Gutierrez, M. B. S., 2000; O efeito estufa e o setor energético brasileiro; ISSN 1415-4765; IPEA.
- MICARONI, R. C. C. M.; Bueno, M. I. M. S.; Jardim, W. F., 2000; *Quim. Nova*, 23.
- MSPC, 2009; http://www.mspc.eng.br/quim1/quim1_080.asp, acessada em fevereiro de 2009.
- RAMANATHAN, V.; Ramana, M. V.; Roberts, G.; Kim, D.; Corrigan, C.; Chung, C.; Winker, D., 2007; Warming trends in Asia amplified by brown cloud solar absorption; *nature* 448, 575-579.
- SILVA, T. N.; Campos, L. M. S., 2008; Avaliação da produção e qualidade do gás de aterro para energia no aterro sanitário dos Bandeirantes – SP, *Eng. Sanit. Ambient.*, vol.13 - nº 1, 88-96.
- TORRES, F. T. P.; Martins, L. A., 2005; Fatores que influenciam na concentração do material particulado inalável na cidade de Juiz de Fora (MG); *Caminhos de geografia* 4 (16) 23 - 39.
- UENF, 2009; www.uenf.br/uenf/centros/cct/qambiental/ar_chuvacida.html, acessada em fevereiro de 2009.
- USP, 2009; www.usp.br/qambiental/chuva_acidafront.html, acessada em fevereiro de 2009.
- WEBELEMENTS, 2009; <http://www.webelements.com/mercury>, acessada em janeiro de 2009.

WIKIPEDIA, 2009; [www.pt.wikipedia.org/wiki/Mercúrio_\(elemento_químico\)](http://www.pt.wikipedia.org/wiki/Mercúrio_(elemento_químico)), acessada em janeiro de 2009.

WILHELM, S. M., 2001; Mercury in Petroleum and Natural Gas: Estimation of Emissions from Production, Processing, and Combustion; Environmental Protection Agency; EPA/600/R-01/066, setembro de 2001.

REFERÊNCIAS DAS FIGURAS

Figura 1.:

http://www.boston.com/bigpicture/2008/06/world_environment_day_2008.html, acessada em fevereiro de 2009.

Figura 2.:

Dr. Pieter Tans, NOAA/ESRL (www.esrl.noaa.gov/gmd/cgg/trends), acessada em fevereiro de 2009.

Figura 3.:

<http://www.ecodebate.com.br/2008/12/02/creditos-de-carbono-e-dignidade-humana-artigo-jose-vicente-pimenta>, acessada em fevereiro de 2009.

Figura 4.:

CARVALHO JÚNIOR, J. A. de; Laçava, P. T., 2003; Emissões em processos de combustão - São Paulo: Editora UNESP. ISBN 85-7139-484-9.

Figura 5.:

http://sitem.herts.ac.uk/sustainable/image_earth_2006_photos.htm, acessada em fevereiro de 2009.

Figura 6.:

http://www.boston.com/bigpicture/2008/06/world_environment_day_2008.html, acessada em fevereiro de 2009.

Figura 7.:

<http://www.dge.inpe.br/ozonio/homologacao/ozonioInfo.php>, acessada em fevereiro de 2009.

Figura 8.:

CARVALHO JÚNIOR, J. A. de; Laçava, P. T., 2003; Emissões em processos de combustão - São Paulo: Editora UNESP. ISBN 85-7139-484-9.

Figura 9.:

http://www.ff.up.pt/toxicologia/monografias/ano0708/g1_mercurio/index.html, acessada em janeiro de 2009.

Figura 10.:

<http://usuarios.lycos.es/arrminerales/CinabrioAlmadenCReal.JPG>, acessada em janeiro de 2009.

Figura 11.:

BISINOTI, M. C.; Jardim, W. F., 2004; *Quim. Nova*, 27, 593.

Figura 12.:

<http://www.atribunamt.com.br/medicina-e-saude/evolucao-da-odontologia-estetica>,
acessada em fevereiro de 2009.

Figura 13.:

http://www.supridados.com.br/assinantes/geraldoguimaraes/slides/galeria_fotos_1.htm,
acessada em fevereiro de 2009.

Figura 14.:

LACERDA, L. D.; Malm, O., 2008; Contaminação por mercúrio em ecossistemas
aquáticos: uma análise das áreas críticas; Estudos Avançados 22 (63).

Figura 15.:

<http://www.csa.com/discoveryguides/mercury/review5.php>, acessada em março de 2009.

Figura 16.:

<http://downlogo.wordpress.com/2008/11/26/geografia-mapas-gasoduto-brasil-bolivia/>,
acessada em março de 2009.

Figura 17.:

http://www.ff.up.pt/toxicologia/monografias/ano0708/g1_mercurio/propfq.html, acessada
em janeiro de 2009.

ANEXOS

nº 30 857
O Estado de São Paulo
Data 25/05/99

Termoelétricas dos EUA são acusadas de provocar poluição do ar por mercúrio

Usinas despejam na atmosfera cerca de 4,5 mil toneladas da substância por ano

ELIANE AZEVEDO

RIO – O grande vilão na contaminação do meio ambiente por mercúrio não está escondido nos garimpos da Amazônia ou nas indústrias sem fiscalização do Terceiro Mundo, mas à vista de todos na mais importante economia do mundo. Para pesquisadores brasileiros reunidos no Rio na 5.ª Conferência Internacional do Mercúrio como Poluente Global, a liberação de mercúrio na atmosfera pelas termoelétricas dos Estados Unidos é o principal fator mundial de risco de poluição por uma das substâncias mais tóxicas do planeta.

"As termoelétricas americanas lançam no ar cerca de 4,5 mil toneladas de mercúrio por ano", afirmou um dos coordenadores da conferência, Juliano Peres Barbosa, do Centro de Tecnologia Mineral (Cetem) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Segundo ele, o carvão mineral usado por essas indústrias libera resíduos do metal, que são espalhados pelo vento por quilômetros de distância. "Os grupos americanos preferem estudar o problema da contaminação na Amazônia a

discutir o assunto com as indústrias elétricas dos Estados Unidos", apontou o professor Olaf Malm, do Instituto de Biofísica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). "É preciso uma pressão internacional sobre as termoelétricas."

Malm coordena um grupo que há 13 anos estuda os efeitos da contaminação por mercúrio de rios e peixes da Amazônia. Embora regiões como o Alto Tapajós apresentem contaminação de peixes carnívoros (como tucunaré e surubim) em até dez vezes acima do nível aceitável pela legislação brasileira, ele garantiu não haver nenhum caso conhecido, na região, do mal de Minamata – a grave doença neurológica provocada por altos níveis de mercúrio no organismo.

No ano passado, o pesquisador japonês Masazumi Harada, um dos principais especialistas na doença, afirmou ter encontrado docentes no povoado ribeirinho de São Luís do Tapajós (PA). "É muito difícil diagnosticar o mal de Minamata, ainda mais na Amazônia, onde as doenças virais e mesmo o tratamento contra a malária, altamente tóxico, podem provocar sequelas neurológicas."

A coordenadora de meio ambiente do Instituto Evandro Chagas, Eli-

zabeth de Oliveira Santos, que lidera outro grupo de estudos, contou que, no mês passado, uma equipe de sua instituição esteve no povoado e avaliou cerca de 300 pessoas, cerca de 65% da população. Embora haja crianças com problemas dermatológicos não diagnosticados, os pesquisadores afastaram a hipótese de que seja o mal de Minamata. "O que podemos dizer com certeza é que foram encontrados altos teores de mercúrio no sangue das populações ribeirinhas", afirmou. "Não há sinais

clínicos da doença, mas os efeitos do mercúrio podem permanecer por mais de 50 anos."

EFEITOS DO METAL PODEM PERMANECER POR MAIS DE 50 ANOS

Poluição – Segundo Malm, são as condições ambientais, mais do que os fatores externos, que determinam os

níveis de poluição. "No Rio Negro, por exemplo, não há garimpo, mas foram constatados altos índices de contaminação do pescado", disse. "O rio tem águas ácidas, que facilitam o acúmulo do mercúrio que existe na natureza normalmente." Por isso, ele defende o conhecimento da biodiversidade da Amazônia e dos hábitos culturais e alimentares das populações da região como indispensáveis para qualquer estratégia de combate à poluição por mercúrio.

O GLOBO

ONLINE

SÃO PAULO

Notícias

Web

powered

CAPA

PLANTÃO

MEU GLOBO ONLINE

BLOGS

GLOBOONLINERS

EU-REPÓRTER

OPINIÃO

MULTIMÍDI

PAÍS

RIO

SÃO PAULO

ECONOMIA

MUNDO

CIÊNCIA

ESPORTES

CULTURA

EDUCAÇÃO

VIVER

Plantão

| Publicada em 16/05/2007 às 11h43m

Olá, Fabíola

Motoristas.com

O Globo Online na campanha pela segurança no trânsito

Serviços

- Com Todo o Gás
- Dr. Automóvel

Segurança

- BO Furto de veículos
- Furto de placas de veículos
- Furto / perda de documentos

Seu Carro

- IPVA Online
- Multas no Detran

Carro continua a ser o vilão da poluição em SP

O Globo Online, SPTV

SÃO PAULO - A falta ou desregulagem do catalisador, equipamento obrigatório em qualquer carro desde 1998, é responsável por boa parte da poluição do ar em São Paulo. De acordo com um levantamento da Cetesb, 24% dos carros que circulam em São Paulo não têm o dispositivo, o que representa 2,6 milhões de veículos ([saiba mais sobre o relatório da Cetesb](#)).

O catalisador é responsável por reter 90% dos poluentes liberados pelo motor. Como o estado de São Paulo não implantou a inspeção obrigatória de veículos para licenciamento, em alguns casos o motorista nem sabe do problema. Há casos de mecânicos que retiram a peça ou instalam uma falsificada, que não funciona direito. Um catalisador novo custa pelo menos R\$ 300.

- Mas também tem aqueles que simplesmente pedem para tirar a peça. Não a trocam porque ela custa caro - diz um mecânico.

- A sorte do paulista é o carro a álcool. Sem ele, os índices de poluição seriam piores - afirma o secretário de Meio Ambiente, Francisco Graziano.

De acordo com o relatório, os 6,5 milhões de veículos que circulam na Região Metropolitana de São Paulo são a fonte mais significativa de poluição do ar, sendo responsáveis por 97% das emissões de monóxido de carbono (CO) e 40% de material particulado (MP). Além disso, eles colaboram para o aumento do ozônio, que é resultante da reação de gases emitidos pelos escapamentos.

Nos últimos três anos, houve um aumento do número de vezes em que esse poluente ultrapassou o índice aceitável, que é de 160 microgramas/m3. Durante todo o ano passado, o ozônio esteve acima dos parâmetros por 46 vezes, contra 51 vezes em 2005, e 63 vezes em 2004.

VOLTAR

TOPO

COMPARTILHE:

RECOMENDE!



Terça, 3 de março de 2009

05 / 03 / 2003 PROJETO BANE MERCÚRIO E AMIANTO DAS INDÚSTRIAS BRASILEIRAS DE CLORO-SODA

A deputada federal Iara Bernardi (PT-SP) apresentou à Mesa da Câmara Federal projeto de lei (PL 10/03) que proíbe a utilização de células de mercúrio e diafragmas de amianto nas indústrias brasileiras de cloro-soda. A proposta determina que essas indústrias terão o prazo de dois anos para mudarem seus processos produtivos; do contrário, serão enquadradas nas penas previstas para atividades lesivas ao meio ambiente.

CONTAMINAÇÃO POR MERCÚRIO

A autora adverte que boa parte das indústrias brasileiras que produzem cloro-soda utilizam tecnologias baseadas em células de mercúrio, nas quais o metal funciona como catalisador para reações químicas. "Nesse processo, uma parte considerável do metal acaba sendo descartada para o meio ambiente, contaminando o solo, a água e o ar de regiões altamente industrializadas, entre as quais Cubatão, no litoral paulista", lembra Bernardi.

O mercúrio acumula-se nos tecidos dos organismos vivos e, em altas concentrações, provoca problemas de saúde às vezes irreversíveis, afetando especialmente o sistema nervoso central. Em áreas ribeirinhas, contamina peixes, crustáceos e outros frutos do mar importantes para a subsistência de comunidades costeiras e para a pesca comercial.

CONTAMINAÇÃO POR AMIANTO

A extração, o beneficiamento e a utilização do amianto na indústria submetem os trabalhadores que o manuseiam a riscos elevados de infecções pulmonares, estomacais e de câncer. "É necessário, portanto, impedir que as células de mercúrio sejam trocadas por outra tecnologia também danosa à saúde pública - os diafragmas de amianto -, pois já existem alternativas amplamente empregadas em outros países, como células de membranas poliméricas, que dispensam totalmente o emprego de materiais nocivos", afirma a autora.

A proposta será agora encaminhada às comissões técnicas da Câmara que tratam do assunto. (Agência Câmara)

Publicada em 12/09/2007 às 17h46m

[Olé, Fábula](#)

[RÚSSIA À FRENTE](#)

Estudo lista os lugares mais poluídos do mundo

Reuters

NOVA YORK, EUA - Quatro dos lugares mais poluídos do mundo ficam na Rússia e em duas antigas repúblicas soviéticas, disse na quarta-feira o Instituto Blacksmith, um grupo ambiental independente com sede em Nova York.

Os dez lugares mais poluídos, que ficam em sete países, podem prejudicar a saúde de 12 milhões de pessoas, provocando desde asma e outras doenças respiratórias até defeitos congênitos e a morte prematura, afirmou a entidade.

China e Índia têm dois lugares cada um na lista. A Rússia também tem dois, e os outros quatro estão no Peru, na Ucrânia, no Azerbaijão e na Zâmbia.

- Esses lugares estão sugando a força das populações que os cercam, e não é preciso ciência muito avançada para resolver o problema - disse Richard Fuller, fundador e diretor do grupo.

Segundo ele, projetos simples de engenharia podem tornar muitos dos lugares seguros para a saúde, mas que frequentemente faltam vontade política, dinheiro e capacidade técnica.

O relatório lista também os 30 lugares mais poluídos. Na América Latina, são citados a Cidade do México, pela poluição atmosférica, duas minas no Peru e a bacia Matanza-Riachuelo, na Argentina. A cidade paulista de Cubatão, que constava da lista dos 30 mais poluídos em 2006, não aparece este ano.

A bacia do rio Matanza-Riachuelo sai do oeste de Buenos Aires e deságua no estuário do rio da Prata. O relatório cita a contaminação de crianças por chumbo e por cloro, além de problemas dermatológicos e respiratórios. A poluição é causada por lixo industrial, pelo esgoto e por lixões à beira do rio.

Da lista dos dez mais poluídos, os que pertencem à ex-União Soviética são Dzerzhinsk, um dos principais centros de armas químicas do fim da Guerra Fria, na Rússia; Chernobyl, local do pior acidente nuclear da história, em 1986, na Ucrânia; Norilsk, um centro de mineração e fundição na Rússia; e a cidade de Sumgaiyt, no Azerbaijão, onde a contaminação é por lixo industrial.

Linfen, na China, fica no coração da indústria de carvão do país, que está em expansão. Tianying, por sua vez, é uma das maiores bases de produção de chumbo da China.

Em La Oroya, no Peru, a mineração também provocou contaminação por metais pesados, que afeta 99 por cento das crianças, segundo o levantamento. Em Kabwe, na Zâmbia, o problema é semelhante. Na Índia, os locais poluídos são Sukinda, por causa da mineração, e Vapi, por lixo industrial.

O instituto, que elaborou o relatório em conjunto com a Cruz Verde da Suíça, não classificou os dez locais entre si por causa de variações nas informações de cada país.

A ex-União Soviética responde por dez locais da lista dos 30 mais poluídos; a China tem seis.

A lista anual foi compilada com a ajuda de especialistas da Universidade Harvard, da Universidade Johns Hopkins, do Hunter College em Nova York, do ITT, da Índia, da Universidade de Idaho, do Hospital Mount Sinai em Nova York, entre outros.

Meio Ambiente - Gas Boliviano contaminado com mercúrio

05/10/03

LAUDO COMPROVARIA PRESENÇA DE MERCÚRIO EM GÁS NATURAL BOLIVIANO

O laudo realizado em 16 de outubro, pela CTQ Química S/C LTDA de Santo André (SP), atesta que o gás boliviano possui contaminações de metais pesados e, dentre estes se encontra o mercúrio, um produto químico altamente tóxico. O gás natural boliviano, transportado pelo Gasoduto Bolívia-Brasil, será utilizado na produção de energia nas usinas termelétricas de Campo Grande, Corumbá e Três Lagoas.

O mercúrio pode provocar sérios danos ao sistema renal e sistema nervoso central, provocando ansiedade, perda de memória, irritabilidade, insônia e tremores nas mãos. Apesar de pesquisadores da UFMS - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul afirmarem que o gás natural da Bolívia está contaminado com o mercúrio há 18 meses, o laudo só foi realizado em outubro de 2002 e divulgado neste ano. Os laudos foram enviados ao Ministério Público do MS, pela Petrobras, comprovando que o gás natural boliviano contém mercúrio.

Quando foi realizado o Estudo e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), para a construção do gasoduto, não foi comprovada a presença do mercúrio. Mas ao realizar o Estudo para implantação da termelétrica de Três Lagoas foi constatada a contaminação do gás.

A Petrobras ao omitir a informação que o gás natural da Bolívia contém mercúrio desobedeceu às resoluções Nº001/86 e Nº237/97 do Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente).

De acordo com o professor e doutorando em Planejamento de Sistemas Energéticos, Carlos Roberto de Lima da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, esta desobediência intencional, em diversos aspectos, é inquestionável. "Remete-nos aos incisos: I; II e III, do Art. 19º, da Resolução Nº237/97 do Conama, que estabelece a cassação da licença expedida", explica Lima.

Outro agravante no uso do gás é o contrato assinado entre Brasil e Bolívia. O Brasil compra o gás boliviano pelo sistema "Take or Pay", em que, de acordo com o contrato assinado pela Petrobras em 1996, a empresa paga todo mês por uma quantidade fixa do produto.

Mato Grosso do Sul, por exemplo, paga por 8 milhões de metros cúbicos e consome pouco menos de 600 mil metros cúbicos do gás natural, sendo seu maior e praticamente único consumidor no Estado a Usina Termelétrica William Arjona, instalada em Campo Grande.

Considerando os efeitos nefastos que este metal causa à saúde humana e ao ambiente, e ainda que a sua presença no gás natural boliviano não foi reportada no EIA/RIMA (Estudo de Impactos Ambientais e Relatório de Impactos ao Meio Ambiente) do Gasoduto Brasil-Bolívia (Gasbol), é possível suspender a licença de operação do gasoduto, de acordo com o estabelecido na Resolução CONAMA Nº 001/86.

O gás boliviano também representa uma ameaça para o Pantanal, pois as usinas de Campo Grande, Três Lagoas e Corumbá estão situadas no leste e sudeste do Estado. Como os ventos sopram de sudeste para o noroeste, o óxido nítrico e o mercúrio lançado no ambiente pela queima das turbinas, serão levados para o Pantanal.

Outro Lado

O presidente da MS Gás Luis Landes da Silva Pereira, que também responde pela Petrobras, contesta as informações. Ele argumenta que a quantidade de mercúrio presente no gás natural da Bolívia é pelo menos cem vezes inferior aos limites máximos aceitos pelas autoridades de saúde internacionais.

O laudo da Petrobras datado de 19 de dezembro de 2002, apresenta apenas 0,24 microgramas por metro cúbico. Landes ainda diz, que essa quantidade de mercúrio não é relevante para ser considerada em EIA/Rimas.

Fonte: Ambiente Brasil