

# Efeitos Ambientais das Bifenilas Policloradas (PCB's)

IVANILDO HESPANHOL (\*)

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, centenas de novos produtos químicos são colocados no mercado em todo o mundo sem que haja uma avaliação prévia de seus efeitos potenciais sobre a saúde humana e sobre o meio ambiente.

Como conseqüência, o nosso planeta tem passado por verdadeiras catástrofes sociais, ecológicas e de saúde pública, as quais poderiam ter sido evitadas se houvesse um programa de identificação sistemática, análise e avaliação dos efeitos potenciais do desenvolvimento tecnológico sobre a humanidade. Diversas dessas catástrofes ecotoxicológicas podem ser enumeradas:

□ A substituição dos fosfatos dos detergentes sintéticos pelo ácido nitrilotriacético (NTA), visando eliminar os efeitos potenciais de eutrofização em corpos de água. Durante alguns anos, mais de 50 milhões de quilos de NTA foram colocados, anualmente, no mercado norte-americano antes que a Environmental Pro-

tection Agency percebesse que o NTA é um agente quelante enérgico que tem a propriedade de aumentar a solubilidade dos íons de metais pesados em solução e de impedir a formação de seus sais insolúveis. Essas propriedades impedem a remoção dos íons de metais pesados através dos sistemas convencionais de tratamento, tais como coagulação-floculação, sedimentação e filtração.

Este "avanço tecnológico" que visava apenas a proteção ecológica de lagos e reservatórios teve como resultado a redução da eficiência das barreiras de tratamento, permitindo que íons potencialmente tóxicos deixassem de ser removidos. Isso sem contar os possíveis efeitos do próprio NTA sobre a saúde pública<sup>(1)</sup>.

□ Resinas de cloreto de polivinil têm sido usadas por mais de 40 anos, sendo que sua produção mundial ultrapassa, atualmente, 12 milhões de toneladas por ano<sup>(2)</sup>.

Constatou-se, recentemente, em diversos países, que operários destas indústrias desenvolveram angiossarcoma do fígado.

Um estudo toxicológico dessas resinas poderia sugerir medidas para evitar a exposição dos operários ao cloreto de polivinil.

□ É bastante comum a citação de envenenamento de animais de criação por hexaclorobenzeno. Esses fatos seriam evitados se o uso desse composto fosse melhor dirigido e sua toxicidade melhor divulgada.

□ Na década de 60, fábricas operando em Minamata e Niigata, no Japão, estavam produzindo acetaldeído e cloreto de vinil. A produção de aldeído era feita através de  $\text{CH}=\text{CH}$  utilizando  $\text{HgO}$  e  $\text{HgSO}_4$  como catalisadores. Os efluentes que continham concentrações elevadas de  $(\text{CH}_3\text{Hg})_2\text{SO}_4$  eram lançados diretamente no mar.

O cloreto de vinil era sintetizado a partir de  $\text{CH}=\text{CH}$  e  $\text{HC}$  sendo  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  utilizado como catalisador. Nesse caso, os resíduos continham  $\text{CH}_3\text{HgCl}$  e eram também dispostos no mar. Em meio aquático, praticamente todas as formas de mercúrio são convertidas biologicamente a metil mercúrio. Essa é a forma mais perigosa do ponto de vista toxicológico. A porcentagem de metil mercúrio, acumulada em peixes, por exemplo, aumenta com o tempo, em relação às outras formas de mercúrio. No homem, atua diretamente sobre o sistema nervoso central cau-

(\*) M.Sc., Ph.D., Superintendente de Pesquisa da CETESB, Professor da Escola Politécnica e Escola de Engenharia de São Carlos, ambas da USP.

sando o que se convencionou chamar de "doença de Minamata".

Apenas nessa cidade, entre 1966 e 1969, ocorreram 134 casos dessa doença, causando um total de 48 mortes.

Um conhecimento prévio das possíveis reações de metilação poderia ter prevenido essa catástrofe.

□ Em março de 1968, nas províncias de Fukuoka e Nagasaki da ilha de Kyushu, Japão, foi detectado um novo tipo de doença que afetou 15.000 pessoas, das quais 1.080 oficialmente relacionadas.

Ela recebeu os nomes de doença de "yusho" (do "óleo") e de "kanemi yusho" ("óleo da kanemi") por ter sido causada pelo óleo de arroz produzido pela Kanemi Rice Oil Company<sup>(3)</sup>.

Verificou-se, mais tarde, que a doença foi provocada pela presença, no óleo de arroz, de Kanechlor 400, um PCB manufaturado no Japão, que estava adicionado ao óleo lubrificante utilizado em uma unidade de aquecimento que apresentou vazamentos.

Um estudo toxicológico prévio, antes da introdução desse óleo lubrificante na indústria alimentícia, teria também evitado essas ocorrências.

O mal de "yusho", por estar vinculado especificamente a PCB's, voltará a ser considerado neste trabalho.

Estes, são apenas alguns das dezenas de problemas potenciais cujas ocorrências puderam ser identificadas e convenientemente caracterizadas.

Muitos outros, ainda em estado latente, vêm se desenvolvendo parale-

lamente ao desenvolvimento tecnológico.

Com a experiência do passado, entretanto, os toxicólogos, ambientalistas e engenheiros sanitaristas têm agora melhores condições para prevenir o que poderá acontecer, a médio e longo prazo, com uma grande parte de produtos químicos que, direta ou indiretamente, adentram o meio ambiente. Apenas para citar alguns exemplos, podemos mencionar<sup>(2)</sup>:

□ Éter biscloroisopropílico tem sido identificado em correntes a jusante de indústrias que fabricam óxido de propileno em diversos rios do mundo, inclusive no rio Ohio, nos Estados Unidos e no rio Reno, na Europa.

Embora não haja nada, até o presente, que o classifique como altamente tóxico, esse é um dos poluentes que deverá ser mantido sob observação no que concerne à proteção de recursos hídricos naturais que servem como mananciais de abastecimento de água.

□ Os compostos de fósforo e o trióxido de antimônio utilizados como retardantes de fogo em tecidos e as parafinas cloradas, esteres fosfatos de cloro ou bromo, sulfato de cálcio, bifenilas polibrominadas etc., usados como retardantes de fogo em plásticos e seus produtos de combustão ou de degradação devem ser considerados como potencialmente tóxicos.

□ Compostos fotossensíveis têm sido utilizados para acelerar a degradação de pesticidas não degradáveis. Exemplos desses são a rotenona, an-

traceno, diclorobenzofenona, trifetilamina etc.

A rotenona, por exemplo, estimula a decomposição de dieldrin em fotodieldrin. Este, entretanto, aumenta a persistência dos resíduos tóxicos resultantes dessa decomposição.

Alguns compostos fotossensíveis são também utilizados em plásticos visando a sua rápida decomposição quando expostos à luz solar. Para poliestireno, por exemplo, são utilizados 1,4-naftoquinona, 1,2-benzo-antraquinona, antraquinona etc.

Embora a literatura mencione que esses plásticos possam ser totalmente biodegradáveis, não se sabe, ainda, o que acontece com os produtos de degradação deixados no meio ambiente.

□ Uma série grande de metais nobres vêm sendo ultimamente utilizados como catalisadores na indústria química e em conversores catalíticos nos sistemas de exaustão de automóveis, sendo os mais importantes: platina, paládio e rutênio.

Não se conhecem, até o presente, os efeitos interativos entre esses elementos e a saúde humana.

Outros elementos de transição, tais como vanádio, titânio, níquel, cobalto, molibdênio e manganês que são utilizados como catalisadores e na produção de polímeros, apresentam derivados orgânicos e inorgânicos altamente tóxicos. Devem, portanto, ser também considerados em conjunto com os demais mencionados que merecem uma investigação mais detalhada, do ponto de vista ambiental e toxicológico.

As próprias entidades responsáveis por sistemas de abastecimento de água começam a verificar que o levantamento dos parâmetros tradicionais tais como cor, turbidez, pH, coliformes não são mais suficientes para medir os níveis de segurança da água distribuída para consumo humano.

Em 1966, o "Denver Board of Water Commissioners" efetuou um estudo para determinar a composição química de suas águas de abastecimento, principalmente com relação aos elementos que ocorrem em quantidades maiores. Dos 25 elementos testados, os treze seguintes foram detectados: alumínio, bário, boro, cromo, cobre, ferro, lítio, manganês, molibdênio, rubídio, estrôncio, titânio e zinco<sup>(1)</sup>.

A Tabela n.º 1 mostra alguns compostos orgânicos refratários que possivelmente estão sendo lançados nos mananciais utilizados para abasteci-

TABELA N.º 1

COMPOSTOS ORGÂNICOS REFRAATÓRIOS PRESENTES EM RESÍDUOS INDUSTRIAIS<sup>(4)</sup>

Acetona	Éter dicloroetil
Benzeno	Dinitrotolueno
2-Benzotiozol	Etilbenzeno
Borneol	Dicloreto de etileno
Bromobenzeno	2-Etil hexanol
Bromoclorobenzeno	Guaiaacol
Éter bromofenilfenil	Isoborneol
Butilbenzeno	Ácido isocianico
Cânfora	Isopropilbenzeno
Clorobenzeno	Metilbifenil
Éter Cloroetilico	Metilcloroeto
Clorofórmio	Nitrobenzeno
Éter clorometil etil	Estireno
Cloronitrobenzeno	Tetracloroetileno
Cloropiridina	Tricloroetano
Dibromobenzeno	Tolueno
Diclorobenzeno	Veratrole

mento público. Muitos desses compostos já foram, inclusive, encontrados em água potável, nos Estados Unidos<sup>(4)</sup>.

Todos esses aspectos aqui abordados não representam, evidentemente, a totalidade dos problemas ecotoxicológicos reais e potenciais que o homem enfrenta continuamente. Muitos outros, com características ainda não concebidas pelas mentes do cientista moderno, podem estar urdindo no meio ambiente. Muitas outras Sevesos e Minamatas acontecerão ainda, antes que o homem se imbuja de que a busca ferrenha de progresso material pode representar também o caminho para uma catástrofe em larga escala e provavelmente irreversível.

Não há dúvida de que um outro tipo de "previsão de catástrofes" deve acompanhar o desenvolvimento industrial procurando determinar "a priori" o inter-relacionamento entre as novas tecnologias e os seus efeitos indesejáveis sobre o meio ambiente e a saúde pública.

Caso contrário, os dramáticos e pessimistas vaticínios expressos na Carta de Roma (Figura 1) deverão ser considerados com maior probabilidade de virem a ser efetivamente concretizados.

## 2. SINTESE, CARACTERÍSTICAS E USOS DAS BIFENILAS POLICLORADAS

De acordo com o Federal Register da EPA, publicado em 24 de maio de 1977<sup>(5)</sup>, PCB's são definidos como "substâncias químicas limitadas às moléculas de bifenila que foram cloradas a graus variáveis".

As PCB's foram sintetizadas pela primeira vez na Alemanha no ano de 1881, mas foram colocadas no comércio apenas em 1929<sup>(6)</sup>.

Desde esse ano, pouco mais de 1,1 bilhão de quilos de PCB foram introduzidos no mercado em todo o mundo. Metade desse total, ou seja, aproximadamente 600.000 quilos, foi comercializada nos Estados Unidos, estimando-se que seja a seguinte a sua distribuição atual<sup>(5)</sup>:

- 25 milhões de quilos destruídos por incineração.
- 131 milhões de quilos estão sobre diferentes níveis de controle em aterros sanitários ou comuns.
- 68 milhões de quilos se encontram dispersos livremente no meio ambiente.
- 345 milhões de quilos se encontram em serviço, dos quais 340 mi-

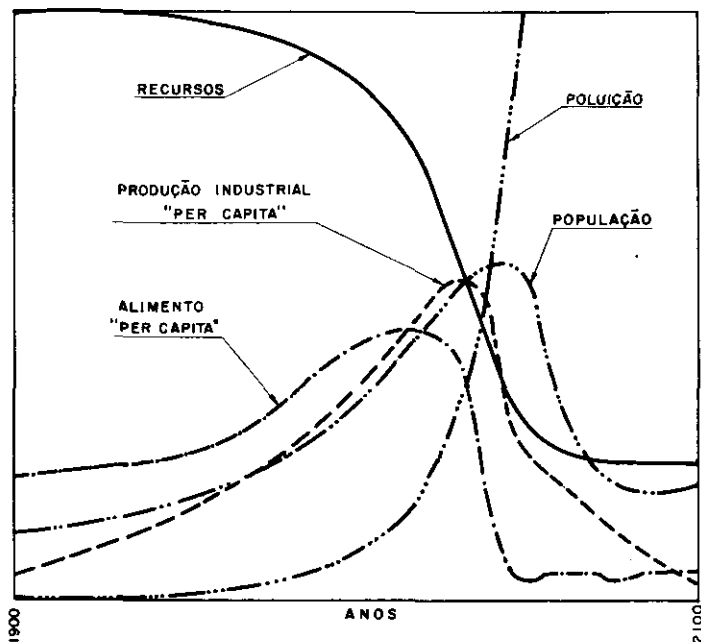


FIGURA-1 POLUIÇÃO AMBIENTAL COMO FATOR LIMITANTE DA POPULAÇÃO MUNDIAL (CLUBE DE ROMA-1972)

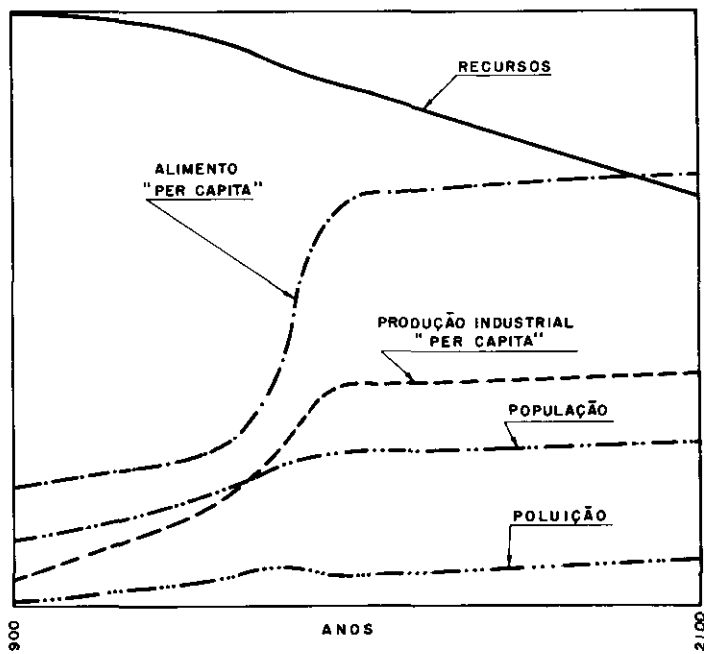


FIGURA-2 MODELO ESTABILIZADO ATRAVÉS DO CONTROLE DA POLUIÇÃO (CLUBE DE ROMA-1972)

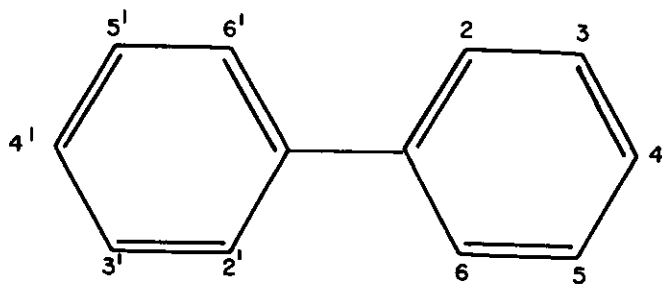


FIGURA 3-A: POSIÇÕES POSSÍVEIS DE SEREM OCUPADAS POR ÁTOMOS DE CLORO

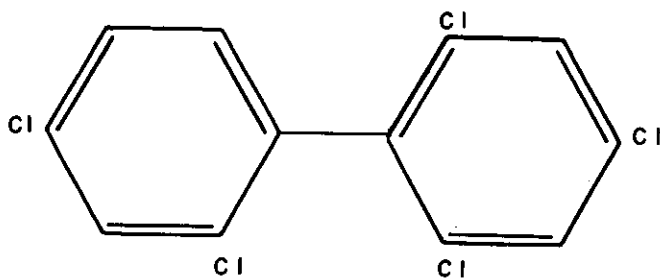


FIGURA 3-B: 2,4,6,2',4'-PENTACLOROBIFENIL

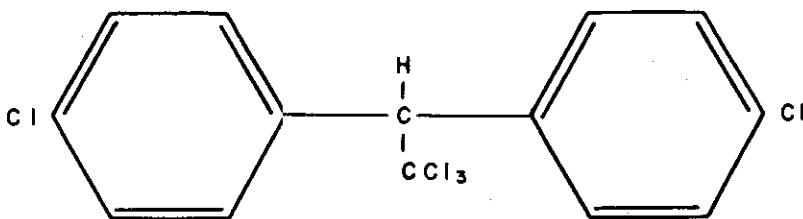


FIGURA 3-C: DDT

lhões em transformadores e capacitores elétricos.

## 2.1 — Síntese

As PCB's são sintetizadas comercialmente através de cloração controlada de bifenila com cloro anidro na presença de limalha de ferro ou cloreto férrico utilizado como catalisador. A reação fornece uma mistura de diversas PCB's e ácido clorídrico<sup>(7)</sup>.

Os átomos de cloro que substituem os de hidrogênio na molécula de bifenila podem ocupar as posições indicadas na Figura 3-A.

Podem ser formados, por exemplo, três isômeros de monoclorobifenil, doze de diclorobifenil, 21 de triclorobifenil etc.

Teoricamente, 210 compostos podem ser preparados desta maneira, embora apenas 102 sejam prováveis. Um exemplo típico de bifenila é o 2,4,6,2',4' pentaclorobifenil mostrado na Figura 3-B.

Note-se (Figura 3-C) a semelhança estrutural entre as bifenilas e o DDT, o que justifica algumas propriedades semelhantes que esses dois compostos possuem em comum (tais como ponto de ebulição e tensão de vapor).

PCB's são fabricadas principalmente nos Estados Unidos, Inglaterra, França, Checoslováquia, Alemanha Ocidental, Itália, Espanha, União Soviética e Brasil<sup>(8)</sup>.

Nos Estados Unidos o único fabricante é a Monsanto Company, que utiliza o nome comercial de Aroclor para esses produtos. Outras companhias operando na Europa e Japão utilizam outros nomes, tais como Kanechlor, Phenochlor e Clophen etc.

A série de Aroclors da Monsanto aparece acompanhada de 04 dígitos, sendo que os dois primeiros indicam o tipo molecular e os dois últimos a concentração percentual de cloro em termos de peso. Por exemplo, o nome comercial Aroclor 1242 expressa as seguintes características:

□ 12 — bifenilas cloradas

□ 42 — 42% de cloro em peso

Outros significados dos dois primeiros dígitos são, por exemplo:

□ 25 — molécula constituída de 75% de bifenila e 25% de terfenila

□ 44 — molécula constituída de 60% de bifenila e 40% de terfenila

## 2.2 — Características

As propriedades das PCB's variam com o grau de cloração das moléculas como mostra a Tabela n.º 2<sup>(9)</sup>.

TABELA N.º 2

ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DAS PCB's (9)

CARACTERÍSTICAS	% DE CLORAÇÃO		
	21	42	54
Densidade (g/ml)	1,19	1,39	1,50
Taxa de vaporização a 100°C (mg/cm <sup>2</sup> . h)	1,74	0,34	0,05
Solubilidade em água (mg/l)	> 0,2	0,2	0,04
Biodegradabilidade (% de degradação/48 horas em lodo ativado semicontínuo)	81	26	15

Os Aroclors com concentrações de cloro relativamente baixas são líquidos e apresentam uma viscosidade crescente com as porcentagens de cloro presente. Os de alta concentração são geralmente sólidos cristalinos brancos ou transparentes.

As propriedades mais marcantes das PCB's são as seguintes<sup>(10)</sup>:

Elevada resistência a ácidos e álcalis.

Elevada resistência à corrosão.

Elevada estabilidade térmica.

Virtualmente incombustíveis.

Resistem a aquecimento prolongado a 150°C e só se decompõem em torno de 950°C.

Alta temperatura de ebulição (278 a 415°C).

Tensão de vapor bastante baixa.

Insolúveis em água e em álcool etílico.

Solúveis em lipídios.

Elevada constante dielétrica.

Resistência elevada à oxidação.

Num de seus boletins técnicos a Monsanto Company relata que elas podem ser aquecidas a 240°C numa atmosfera de oxigênio a 260 psi sem mostrarem evidências de oxidação.

### 2.3 — Usos

Devido à sua estabilidade química, resistência a temperaturas elevadas e alta constante dielétrica as PCB's têm sido grandemente utilizadas como fluidos isolantes em transformadores e capacitores, sistemas de transferência de calor e como fluidos hidráulicos onde a resistência a altas temperaturas seja necessária.

Além disso, têm sido empregadas como<sup>(11)</sup>:

Plastificantes em resinas sintéticas, tintas, borrachas naturais e sintéticas, resinas celulósicas, vernizes, ceras, asfalto e amidos alquílicos.

Ingredientes em alguns tipos de papéis, papelão, papéis de cópia sem carbono, óleo de corte, tintas impressoras, "starters" de lâmpadas fluorescentes, adesivos, selantes, lacas protetivas, fita isolante etc.

Retardante de chama, em combinação com cloreto de polivinila.

Aditivos de óleos lubrificantes utilizados em máquinas agrícolas e de preparação de alimentos.

A Tabela n.º 3 mostra a utilização de algumas PCB's (Aroclors) em combinação com outros materiais em proporções diversas.

Um outro importante uso de PCB's é na condição de agente sinérgico

**TABELA N.º 3**  
USOS COMBINADOS DE PCB's (7)

MATERIAL COMBINADO COM AROCLOR	TIPO DE AROCLOR E % EM PESO UTILIZADA	USOS
Cloreto de Polivinil	1248, 1254, 1260 (7,8%)	Plastificante secundário para melhorar resistência química e melhorar retardância de fogo.
Lacas nitro celulósicas	1262 (7%)	Co-plastificante para melhorar a resistência.
Acetato de Polivinila	1221, 1232, 1242 (11%)	Melhorar a tecitura das fibras.
Acetato de Vinil etileno	1254 (41%)	Adesivos de pressão.
Resinas Epoxy	1221, 1248 (20%)	Melhorar a resistência química de oxidação e qualidades adesivas.
Resinas de Poliester	1260 (10-15%) 1260 (10-20%)	Retardamento de chama. Aumentar a resistência de fibras mistas de vidro e poliester.
Polietileno	1221 (2%)	Plastificante.
Borracha clorada	1254 (5-10%)	Aumenta a resistência, o retardamento de chama e aumenta o isolamento elétrico.
Estireno-butadieno	1254 (8%)	Aumenta a resistência química.
Neoprene	1268 (8%) 1268 (1,5%)	Retardamento de chama. Moldes para injeção.
Borracha crepe	1262 (5-50%)	Plastificante em tintas.
Vernizes	1260 (25% de óleo)	Aumenta resistência à água e a álcalis.
Cera	1242 (5%)	Resistência à umidade e a chamas.

para aumentar o período de vida ativa dos inseticidas organoclorados.

### 3. A PRESENÇA DAS PCB's NO MEIO AMBIENTE

Apesar das PCB's estarem sendo comercializadas desde 1929, e terem sido reconhecidas como perigosas para operários que as manuseiam, seus efeitos potenciais sobre a saúde pública e sobre o meio ambiente só foram reconhecidos após 1966.

Essa sua capacidade de se manter indetectada por mais de 30 anos se deve basicamente a três condições<sup>(11)</sup>:

As PCB's não foram, como aconteceu com o DDT e outros contaminantes potenciais, deliberadamente distribuídas no meio ambiente. Com exceção de alguns casos particulares, foram sempre utilizadas em ambientes fechados e mantidas em condições de relativo controle.

Dificuldade de detecção analítica e separação.

As PCB's foram primeiramente detectadas como picos de interferência em cromatogramas de amostras que foram analisadas para a detecção de resíduos de pesticidas clorados. Ape-

nas após as pesquisas de Jensen, na Suécia, e Risebrough, na Universidade da Califórnia, Berkeley, os picos foram identificados como correspondentes a PCB's e não mais a Dieldrin, DDT, DDE, Aldrin e Heptacloro como o eram anteriormente<sup>(10)</sup>.

Os efeitos das PCB's sobre a saúde humana resultam quase que exclusivamente por exposição crônica, uma vez que a toxidez aguda desses compostos é relativamente baixa.

Desde a sua descoberta no meio ambiente, em 1966, as PCB's têm sido dominadas "contaminante universal". Elas foram encontradas em gordura humana e animal, pássaros, leite, plantas, peixes, casca de ovos, zooplâncton, fitoplâncton etc.

Nos Estados Unidos, desde que os cientistas da Food and Drug Administration verificaram, em julho de 1969, a presença de PCB's no leite oriundo de diversas fazendas, próximas de Martinsburg, West Virginia, elas são encontradas em praticamente todos os seus rios: Merrimac, em Massachusetts; St. Johns, Flórida; Sistema Mississipi - Missouri; Sacramento, Rogue, Colúmbia, Snake, na costa oeste, no St. Lawrence e na região dos Grandes Lagos.

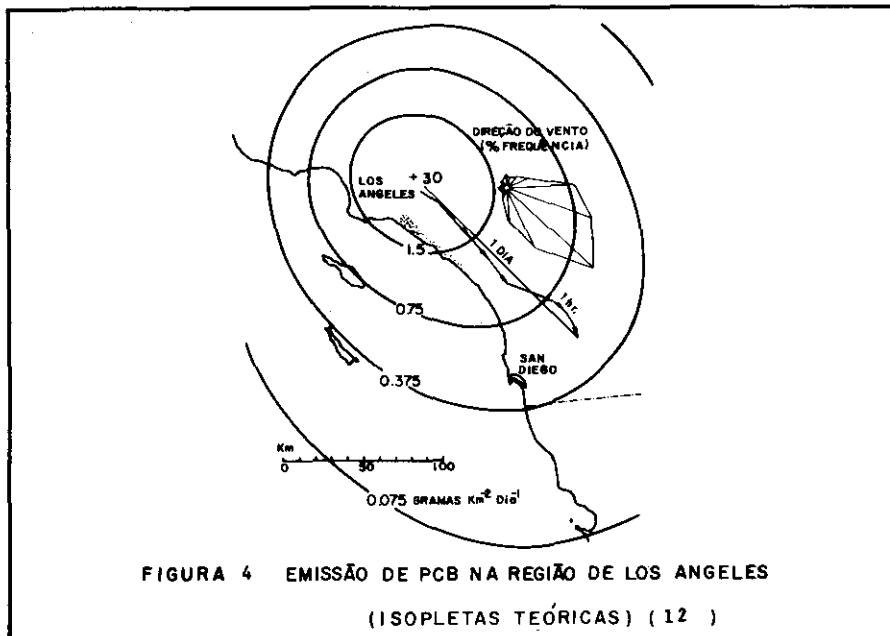


TABELA N.º 4

RESULTADOS DE AMOSTRAS DE SOLO TOMADAS NAS VIZINHANÇAS DA MONSANTO CO., SANGET, ILLINOIS (13)

Distância da Fábrica (m)	Direção	ppm			Total PCB
		Aroclor 1242	Aroclor 1260	Decacloro Bifenila	
250	SE	6,1	9,6	2,4	18,1
450	NE	0,68	0,31	0,38	1,37
600	SE	3,0	2,9	1,3	7,2
600	SO	< 0,01	0,65	0,12	0,77
600	NO	10	9,6	1,1	20,7
620	NE	< 0,01	1,4	0,90	2,3
700	NE	< 0,01	0,12	0,61	0,73
850	NO	< 0,01	0,03	0,40	0,43
950	NE	< 0,01	0,05	0,097	0,13
950	SO	0,45	0,28	0,081	0,81
1000	SE	< 0,01	0,20	0,27	0,47
1050	SE	0,82	1,3	1,6	3,72
1100	NO	0,46	0,39	0,12	0,97
1250	SO	< 0,01	0,10	0,049	0,15
1450	SO	< 0,01	0,26	0,081	0,34

TABELA N.º 5

RESULTADOS DE ANÁLISE DE AMOSTRAS DE SOLO TOMADAS NAS VIZINHANÇAS DE UMA FÁBRICA DE MOLDES DE CERA (INVESTMENT CASTING FACILITY) EM CHICAGO, ILLINOIS (13)

Distância da Fábrica (m)	Direção	ppm			Aroclor 5460
		Aroclor 1260	Decacloro Bifenila	Total	
20	NE	0,40	1,2	1,6	3,2
20	SE	0,26	0,51	0,77	0,38
20	SO	1,5	0,75	2,25	4,2
20	NO	1,6	3,6	5,2	13
450	E	0,69	0,58	1,27	4,1
600	NE	0,34	0,19	0,53	0,25
620	SO	0,57	0,040	0,61	< 0,17
620	NO	0,29	0,001	0,29	0,28
1050	NE	0,81	0,033	0,84	0,17
1150	SO	0,67	0,020	0,69	0,79
1220	NO	0,56	0,034	0,59	< 0,17
1500	NE	0,24	0,053	0,29	< 0,17
1620	E	0,22	< 0,001	0,22	< 0,17
1900	NO	1,8	< 0,001	1,8	0,23

No Brasil ainda não foram efetuados levantamentos de PCB's, mas é muito possível que alguns reservatórios, associados à produção de energia elétrica, devam apresentar concentrações consideráveis, devido a possível manuseio impróprio de líquidos de transformadores.

As principais fontes de entrada e dispersão de PCB's no meio ambiente são as seguintes:

□ Resíduos gasosos da incineração de materiais contendo PCB's.

Como são raras as instalações que permitem incineração desse material acima de 950°C, as PCB's, ao contrário de serem queimadas, são simplesmente vaporizadas. Como elas têm uma afinidade muito grande a material particulado, associam-se a ele para serem, posteriormente redepósitadas no solo, oceano ou outros corpos hídricos.

Em Los Angeles, onde ocorrem 400 incêndios por dia, a volatilização de PCB's oriunda de agentes inflamantes é uma grande fonte de PCB's em forma de aerossóis. Com os dados obtidos em outubro de 1972, McClure<sup>(12)</sup> estima que a emissão de aerossóis de PCB's (54% de cloro) é de 30 toneladas métricas/ano.

O modelo matemático que desenvolveu indica que a meia vida de hidrocarbonetos clorados pesados de alta temperatura de ebulição na atmosfera é de 5 horas. Isso corresponde a uma distância aproximada (na direção do vento predominante) de 100 km, na qual a quantidade de material suspenso é reduzida à metade.

A atmosfera não pode ser considerada, portanto, como um bom reservatório para esses tipos de aerossóis. A análise das isopletras teóricas de aerossóis de PCB's mostradas na Figura n.º 4, mostram que 30% da PCB emitida é depositada no oceano Pacífico, entre Los Angeles e San Diego.

Isso mostra que esses compostos, de alta temperatura de ebulição com meia vida na atmosfera de algumas horas, provocam uma contaminação séria ao redor dos pontos de emissão antes que o transporte atmosférico possa produzir uma dispersão em outros continentes.

□ Resíduos de indústrias que manipulam óleos, ceras e tintas etc. que contêm PCB's e que são encaminhados aos corpos hídricos ou ao solo.

As Tabelas n.ºs 4, 5 e 6 mostram, respectivamente, resultados de aná-

**TABELA N.º 6**  
**RESULTADOS DE ANÁLISE DE DIVERSAS AMOSTRAS RETIRADAS**  
**DAS VIZINHANÇAS DE UMA FABRICA DE MOLDES DE CERA**  
**(INVESTMENT CASTING FACILITY) EM DETROIT, MICHIGAN (13)**

A M O S T R A	Aroclor 1242	Aroclor 1260	Decacloro Bifenila	Aroclor 5460
Descarga de água de resfriamento	< 0,1 µg/l	< 0,1 µg/l	< 0,01 µg/l	< 0,1 µg/l
Água de drenagem	< 0,1 µg/l	< 0,1 µg/l	< 0,01 µg/l	< 0,1 µg/l
Água de drenagem	< 0,1 µg/l	< 0,1 µg/l	< 0,01 µg/l	< 0,1 µg/l
Sedimento em um valo	2,3 ppm	6,7 ppm	0,09 ppm	6,7 ppm
Sedimento em um valo	9,4 ppm	8,9 ppm	0,11 ppm	5,1 ppm
Esgoto sanitário	< 0,1 µg/l	< 0,1 µg/l	< 0,01 µg/l	< 0,1 µg/l
Esgoto sanitário	< 0,1 µg/l	< 0,1 µg/l	< 0,01 µg/l	< 0,1 µg/l
Esgoto sanitário	< 0,1 µg/l	7,0 µg/l	4,1 µg/l	7,5 µg/l
Depósito de lodo no esgoto sanitário	< 0,01 ppm	0,11 ppm	0,034 ppm	5,0 ppm

**TABELA N.º 7**  
**CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE 16 CIDADES AMERICANAS (14)**

City	Sewage plant	Wastewater treatment scheme	Sludge handling scheme	Chemicals added	Ultimate sludge disposal method
Atlanta, Ga.	Intranchment Creek	Trickling filter	Digestion, drying beds		Landfill, fertilizer-soil conditioner
Cayuga-Heights, N.Y.	Cayuga Heights	Sedimentation	Digestion	Lime	Land disposal
Chicago, Ill.	Several	Activated sludge	Aerobic and anaerobic digestion, heat drying		"Vertigreen" fertilizer-soil conditioner
Denver, Colo.	Metropolitan Denver, District # 1	Activated sludge	Aerobic and anaerobic digestion, concentration and filtration	Ferric lime chloride,	Land disposal
Houston, Tex.	Southwest and Northside	Activated sludge	Aerobic and anaerobic digestion, dehydration		"Hou-actinite" fertilizer-soil conditioner
Ithaca, N.Y.	Ithaca	Trickling filter	Digestion, vacuum filtration	Ferric chloride, lime	Landfill, soil conditioner
Los Angeles, Calif.	Joint Water Pollution Control	Sedimentation	Digestion, centrifugation, drying beds	None	Fertilizer-soil conditioner
Miami, Flo.	Virginia Key	Aeration, sedimentation	Concentration, digestion, shallow lagoons	None	Fertilizer-soil conditioner
Milwaukee, Wis.	Several	Activated sludge	Aerobic and anaerobic digestion, heat drying		"Milorganite" fertilizer-soil conditioner
New York, N.Y.	Newtown Creek	Activated sludge	Thickening tanks, digestion	None	Ocean disposal
Philadelphia, Pa.	Northeast	Activated sludge	Digestion lagooning	None	Ocean disposal
San Francisco, Calif.	Richmond-Sunset	Sedimentation	Thickening tanks, digestion, elutriation, vacuum filtration	Ferric chloride	Parks, gardens
Schenectady, N.Y.	Anthony Street	Sedimentation	Digestion, vacuum filtration, heat drying	Ferric chloride, lime	"Orgro" fertilizer-soil conditioner.
Seattle, Wash.	West Point	Sedimentation	Digestion, vacuum filtration or centrifuging		Landfill or soil conditioner
Syracuse, N.Y.	Metropolitan	Sedimentation, Activated sludge	Digestion	None	Pumped to Solvay Process waste beds
Washington, D.C.	Blue Plains	Sedimentation	Digestion	None	Land disposal

lises de solo tomadas nas vizinhanças da única fábrica de PCB nos Estados Unidos (Monsanto Company Krumrich Production Facility, em Sanget, Illinois); resultados de análise de amostras de solo tomadas nas vizinhanças de uma fábrica de moldes de cera, localizada na parte urbana de Chicago, Illinois, e resultados de análise de diversas amostras de resíduos líquidos, também de

uma fábrica de moldes de cera, localizada em Detroit, Michigan<sup>(13)</sup>.

A Tabela n.º 7 mostra dados dos sistemas de tratamento de esgotos de 16 cidades americanas e o método de disposição final dos lodos digeridos. Como se nota, uma grande parte desses lodos são utilizados como fertilizantes ou condicionantes de solo.

A Tabela n.º 8 mostra parte dos 68

compostos para os quais esses lodos foram analisados. Note-se a elevada concentração de 23,10 ppm de PCB em peso seco na cidade de Schenectady, NY.

Finalmente, a Tabela n.º 9 mostra as cargas de PCB influentes e efluentes de estações de tratamento de diversas municipalidades de Ontario, Canadá. Verifica-se que 246,2 kg/ano de PCB são dispostos com os efluen-

**TABELA N.º 8**  
**CONCENTRAÇÃO DE PCB EM LODOS DIGERIDOS DE 16 CIDADES AMERICANAS<sup>(14)</sup>**

Constituent	Analytical method used	Parts per million (dry weight) in sludge from:																
		Atlanta	Cayuga Hgls.	Chicago	Denver	Houston	Ithaca	Los Angeles	Miami	Milwaukee	New York	Philadelphia	San Francisco	Schenectady	Seattle	Syracuse	Washington, D. C.	Cow manure
Dieldrin	E <sup>Ca</sup>	0.26	<0.03	0.24	0.16	0.28	0.06	0.44	0.43	0.05	...	2.2	0.06	0.04	0.10	0.05	...	<0.01
PCB <sup>b</sup>	EC	3.80	0.79	11.60	1.60	0.35	4.30	4.00	8.50	2.20	...	4.80	<0.01	23.10	0.50	6.60	...	<0.01
As	S <sup>c</sup>	3.6	3.0	29	14	20.4	4.8	26.0	10.0	3.3	8.0	16.2	∞6.4	21.9	30.0	26.0	6.6	4.0
Au	NA <sup>d</sup>	0.90	1.00	0.77	0.25	1.04	0.50	0.99	5.65	0.21	1.46	0.48	7.00	2.00	1.10	0.34	0.76	0.0002
B	S	22	30	44	30	36	40	90	33	30	50	44	22	33	40	32	16.0	23.5
Ba	NA	13.3	13.7	41.3	632	485	1004	1066	938	344	417	533	542	828	504	322	892	268
Be	ES <sup>e</sup>	<15	<7	<6	<10	<4	<7	<11	<5	<4	<12	<7	<5	<15	<7	<13	...	...
Bi	SSMS <sup>f</sup>	13.3	8.7	55.8	17.4	49.0	15.2	10.8	31.0	14.0	7.6	10.2	4.5	0.03	8.2	6.6	...	0.10
Br	NA	13.3	13.7	41.3	15.3	30.2	20.0	53.2	165	16.4	123	35.9	48.2	33.2	44.1	24.8	27.3	16.0
Cd	ASV <sup>g</sup>	104.2	6.8	14.8	46.1	111.8	66.7	171.4	149.6	443.7	29.7	192.4	8.5	22.4	64.0	200.0	31.0	0.8
Ce	NA	92.8	12.4	34.9	43.9	26.3	18.6	272	63.1	26.2	70.7	30.5	14.2	15.8	37.0	48.6	94.0	55.0
Co	NA	9.4	3.9	3.7	8.8	6.3	10.5	16.8	17.6	4.3	6.2	15.6	5.3	15.6	9.4	5.1	15.1	5.9
Cr	FAA <sup>h</sup>	1320	169	207	936	3480	640	4925	1430	14000	646	2320	1500	458	1320	1000	1260	56
Cs	NA	1.40	1.00	0.91	1.23	0.76	0.98	0.99	0.56	0.45	0.85	1.60	0.99	0.66	0.90	1.01	2.9	1.48
Cu	FAA	1463	821	578	1370	1560	1300	2890	1200	1288	1890	2680	900	900	1170	1050	458	62
Dy	SSMS	4.3	1.5	3.5	0.8	2.6	19.8	17.0	0.6	7.2	1.7	1.2	3.9	0.7	1.3	4.2	...	1.0
Er	SSMS	1.3	0.4	0.2	1.2	0.6	2.3	4.5	0.7	2.0	0.5	0.6	0.9	0.4	0.4	1.4	...	0.7
Eu	SSMS	4.4	0.7	2.5	2.4	9.4	0.8	9.9	1.9	12.2	2.0	0.7	3.7	0.8	1.0	3.4	...	0.7

tes das estações de tratamento dessas cidades.

Drenagem de aterros sanitários que contenham papéis, plásticos, resinas etc., nas quais PCB's entram como constituintes.

Drenagem de águas de irrigação onde se utilizou pesticidas contendo PCB (para estender a vida útil de Aldrin, Dieldrin e Chlordane e para atuar como agente sinérgico com o Lindane).

Reciclagem de papéis contendo PCB's.

Contaminação direta através de manuseio indevido ou vazamento de fluidos de condensadores e transformadores, fluidos hidráulicos ou óleos.

Concentração em materiais biológicos. Como já mencionado, as PCB's são solúveis em lipídios e portanto passíveis de serem concentradas nas cadeias alimentares.

#### 4. ALGUNS ASPECTOS TOXICOLÓGICOS

##### 4.1 — Toxidez aguda<sup>(10)</sup>

De uma maneira geral, a toxidez aguda das PCB's se situa em torno de outros compostos aromáticos clo-

rados, não se constituindo, portanto, em problema grave. Essa condição é devida, evidentemente, à sua inércia química e grande resistência a transformações metabólicas.

Estudos efetuados com porcos de guiné, ratos, coelhos e insetos, alguns dos quais prolongados por mais de três meses, não demonstraram anormalidades significativas.

Com peixes, a toxidez aguda é também baixa, pelo menos em comparação com outros compostos tóxicos.

Com trutas, a TL<sub>50</sub> a 96 horas varia entre 1.17 a 60 ppm enquanto que para o DDT oscila entre 0,002 a 0,009 ppm.

Ostras e camarões, entretanto, são muito mais sensíveis às PCB's. Alguns estudos efetuados pelo Dr. Tom Duke, no Bureau of Commercial Fisheries Pesticide Field Station apresentaram 100% de mortalidade em camarões rosados juvenis expostos a 0,10 ppm de Aroclor 1254 em água, durante 24 horas. Nas mesmas condições foi necessário apenas 0,006 ppm de DDT para se conseguir a mesma taxa de mortalidade.

A toxidez aguda dos Aroclors apresenta ser inversamente proporcional ao conteúdo de cloro utilizado nas misturas empregadas nos ensaios.

##### 4.2 — Toxidez crônica

Ao contrário da toxidez aguda, a crônica reveste-se de extrema importância no que concerne aos efeitos das PCB's.

Efeitos crônicos já foram relatados em galinhas, diversos tipos de pássaros, vison (*Mustela Vision*), diversos tipos de focas (*Halichoerus grypus*, *Pusa hispida*, *Phoca vitulina*) e também no homem.

Com relação a pássaros, um dos casos mais interessantes é relativo aos pelicanos marrons que vivem na ilha de Anacapa, nas costas da Califórnia.

Estudos feitos em 1969 demonstram que, de 300 pares de ovos concentrados em ninhos naturais, nenhum pássaro veio à luz, porque as cascas eram extremamente finas e incapazes de sustentar o próprio peso. As causas para essas deficiências podem ser duas: reserva pequena de cálcio no pássaro ou deficiência na liberação de cálcio suficiente ao ovo, onde a casca é formada.

O nível de cálcio é controlado pelo hormônio estrogênio. Quando a concentração deste é alta, a reserva de cálcio necessária para as fêmeas durante a "gestação" também é alta.



Os compostos organoclorados tais como DDT, Dieldrin e PCB's ativam enzimas do fígado transformando o estrogênio em outro composto de maior solubilidade na água que é rapidamente eliminado do corpo do pássaro. Caindo a concentração de estrogênio cai também a reserva de cálcio necessária para a formação da casca.

Por outro lado, a habilidade da fêmea em veicular cálcio ao oviduto durante as 20 últimas horas de "gestação", quando a casca está sendo formada, depende da presença da enzima anidrase carbônica.

Embora se saiba que o DDT e seus metabólitos inibem a formação de anidrase, não há evidências que o mesmo possa ser causado pelas PCB's.

Nesse sentido, não se pode afirmar que as PCB's tenham influência sobre a formação defeituosa das cascas dos ovos, uma vez que pequenas reservas de cálcio em pássaros podem ser provocadas por outros motivos.

Sabe-se, entretanto, que as PCB's são capazes de retardar consideravelmente o tempo para a postura de ovos viáveis, o que, segundo os ornitologistas, é muito mais significativo para a redução das populações de pássaros do que a postura de ovos com cascas muito finas.

Efeitos crônicos em visons (*Mustela vison*) também foram detectados por Jensen<sup>(16)</sup>. Os resultados das pesquisas realizadas no National Swedish Environmental Protection Board demonstraram que PCB's, e não DDT, reduzem o número de partos por fêmea através da interrupção da gestação nos seus primeiros estágios.

Helle<sup>(17)</sup> relata efeitos patológicos em focas (*Pusa hispida*, *Halichoerus grypus* e *Phoca vitulina*) no Golfo de Bothnia, Finlândia, indicando que PCB's são as prováveis responsáveis pelo declínio de reprodutividade de focas no mar Báltico.

Foram verificadas estenose e oclusão no útero das focas impedindo a passagem através das trompas.

A pesquisa desenvolvida até o momento não permite concluir se esses efeitos são devidos propriamente à intoxicação direta por PCB's, ou correspondem a infecções secundárias do útero devido ao enfraquecimento da população de focas, causadas pelas PCB's.

O efeito crônico de ingestão de PCB em homens é uma prova contundente do perigo da presença des-

TABELA N.º 9

CONCENTRAÇÕES DE PCB NOS INFLUENTES E EFLUENTES DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE DIVERSAS MUNICIPALIDADES DE ONTÁRIO, CANADA<sup>(15)</sup>.

Location	Loading (kg/yr) <sup>1 &amp; 2</sup>		Sewered <sup>3</sup> Population
	Influent	Effluent	
2. Burlington	19.9	<1.3 (0.65) <sup>4</sup>	67,000
3. Chathan	3.3	<0.7 (0.35)	32,000
4. Elmira	0.2	0.2	4,800
7. Grimsby	0.03	<0.03 (0.15)	1,720
8. Hamilton	154.1	25.8	318,000
9. Kingston City	5.9	3.9	70,000
11. Kitchener	17.9	4.0	111,000
13. London - Greenway	2.7	<1.4 (0.70)	110,000
14. New Hamburg	0.1	<0.03 (0.015)	3,000
15. Newmarket	1.1	<0.3 (0.15)	15,000
16. Niagara-on-the-Lake	0.3	<0.1 (0.05)	3,500
17. Oakville	2.0	<1.0 (0.5)	25,000
18. Oshawa	<1.0 (0.5)	<1.0 (0.5)	87,000
19. Ottawa - Greens Corners	32.3	<10.7 (5.35)	358,000
21. Peterborough	14.9	<1.5 (0.75)	57,000
22. Port Dover	0.6	0.2	2,500
24. Sarnia	3.5	2.3	58,000
25. Toronto - Main	165.9	119.2	1,250,000
26. Toronto - Humber	62.6	41.7	540,000
27. Toronto Highland	<3.1 (1.55)	<3.1 (1.55)	200,000
28. Toronto North	<1.5 (0.75)	<1.5 (0.75)	170,000
29. Waterdown	<0.02 (0.01)	<0.02 (0.01)	2,140
30. Waterloo	2.2	<1.1 (0.55)	40,000
31. Welland	1.2	<1.2 (0.60)	35,000
32. Windsor - West	67.5	35.8	100,000
33. Windsor - Little River	2.7	<0.7 (0.35)	60,000
TOTAL	563.7	246.2	3,660,360

1 Calculations Based on Flows and Concentration Data in Table 2

2 To Convert kg to lbs Multiply by 2.205

3 Water and Pollution Control Directory 1973-74

4 Assumed Concentration was 50% of Detectability Limit

ses compostos organo-clorados no meio ambiente. Conforme mencionado na introdução deste trabalho, o caso mais importante de contaminação do homem é o da ilha de Kyo-shu, no Japão, detectado em 1968.

A doença de "Yosho" apresenta quatro tipos de manifestações: latente, visceral, manifesta e tardia.

No tipo latente não há sintomas, mas os tecidos apresentam concentrações significativas de PCB, os quais podem ser transferidos aos fetos através da placenta, ou às crianças através de leite materno. Nesse caso, as crianças apresentarão pigmentação escura das unhas e da mucosa dos olhos e da boca.

Na manifestação visceral não ocorrem variações dermatológicas acentuadas porém as vítimas sentem fadiga, náusea e dores abdominais. Casos mais graves podem produzir diarreia, tosse, bronquite crônica, ataques asmáticos e pneumonia.

No tipo manifesto todos os sinais de intoxicação por compostos orga-

no-clorados são evidentes, incluindo cloroacne, que se constitui em uma lesão da pele que se inicia com manchas vermelhas e pigmentação marrom-escuras evoluindo para a formação de pústulas. Muitas vítimas apresentam também queda dos cabelos, perda de libido, fadiga, amortecimento das extremidades, dores de cabeça e abdominais, náusea e tontura.

Efeitos prolongados incluem perda de memória, redução de circulação em partes do corpo, distúrbios metabólicos, deformidades dos ossos e das juntas, alterações morfológicas nos dentes de adultos e desenvolvimento precário de dentes de crianças.

Na variante tardia, os sintomas de envenenamento demoraram até 3 anos para se manifestar.

## 5. TENDÊNCIAS PARA SUBSTITUIÇÃO DAS PCB's

A opinião pública mundial, principalmente naqueles países onde o im-

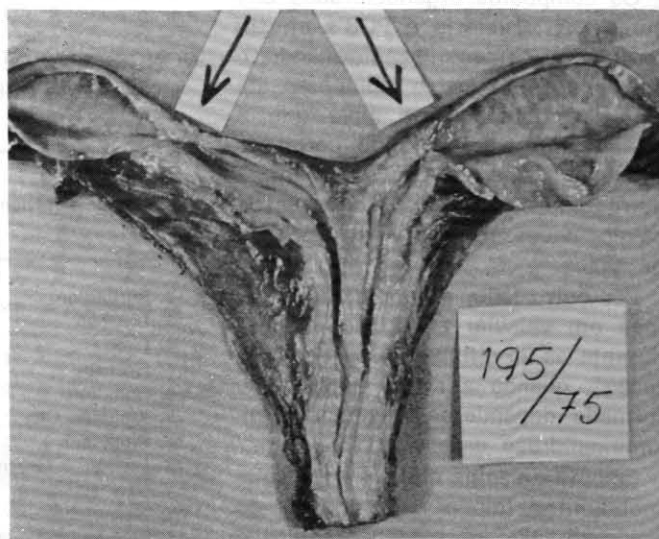
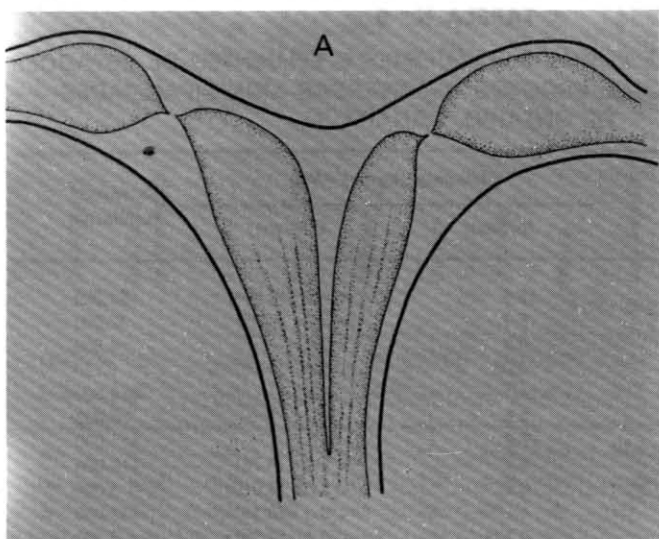


Figura esquemática de um útero com oclusões, provavelmente causadas por PCB's (17).

Secção transversal de um útero de foca mostrando oclusões (17).

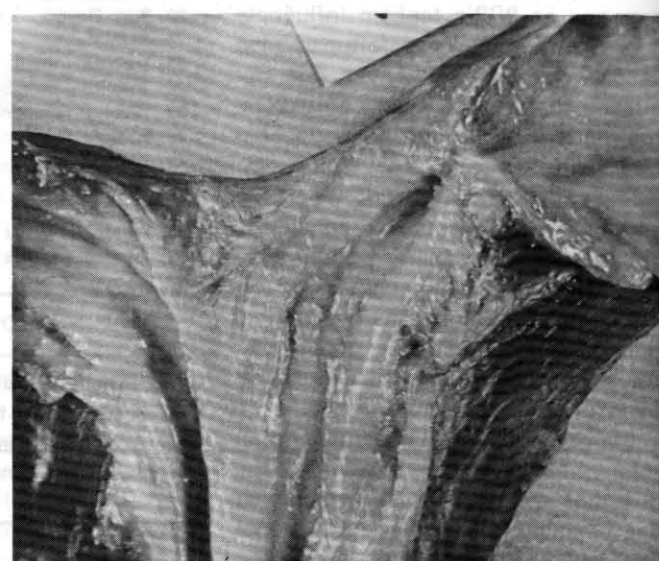
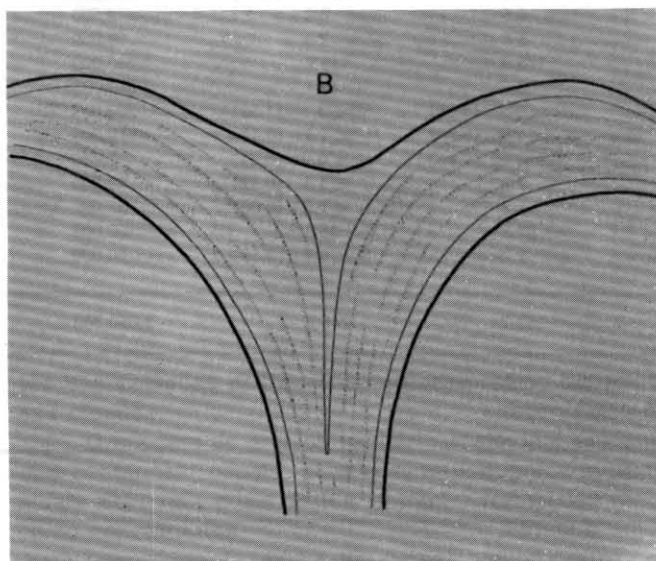


Figura esquemática de um útero normal (17).

Detalhe de oclusão em útero de foca (17).

pacto ecotoxicológico se mostra mais crítico, foi grandemente motivada para estimular as autoridades a exercer um controle mais rigoroso sobre a produção, venda, transformação e aplicação de compostos contendo PCB's.

Os recortes de jornais da imprensa americana, anexados, mostram o grande interesse demonstrado pelo povo visando a preservação de seu meio ambiente.

Em 1972, a Suécia proibiu a fabricação, importação e uso de PCB's a não ser para condições especiais<sup>(18)</sup>.

Logo em seguida, na Alemanha, a Bayer suspendeu a fabricação de Clophen.

Em 1976, nos Estados Unidos, a EPA estabeleceu limites para resíduos industriais de PCB<sup>(19)</sup>, e, logo em seguida, através do "Toxic Substance Control Act", estabeleceu o

período de dois anos e meio para a suspensão da fabricação e distribuição de PCB em todo o país. A Monsanto Company que, desde 1972 já vinha estudando as conseqüências do uso de PCB, retirando várias formulações do mercado e permitindo sua aplicação apenas em capacitores e transformadores, decidiu, alguns dias antes da lei ser assinada, que pararia a fabricação destes compostos até o fim de outubro de 1977.

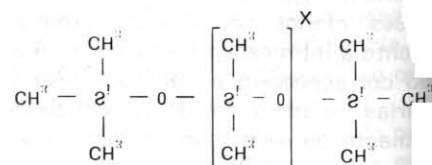
Em função da tendência de interrupção da fabricação de PCB's outros produtos vêm disputando o mercado, principalmente com relação à substituição dos fluidos utilizados em transformadores e capacitores.

A General Electric, nos Estados Unidos, vem anunciando um novo produto cujo nome comercial é "Dielektrol".

Também a Westhninghouse, naque-

le país, está colocando no mercado o produto "Wencoll", que é um isopropilfenil e vem sendo anunciado como biodegradável e com características ambientais similares aos óleos minerais.

Um outro produto denominado 561 Silicone Transformer Liquid vem sendo comercializado pela Dow Corning e é preparado à base de Polydimethylsiloxane (PDMS), cuja fórmula genérica é a seguinte:



com X variando entre 0 a >10.000.

Estudos de toxidez<sup>(20)</sup> e aspectos de saúde e ambientais<sup>(21)</sup> relativos aos PDMS, apresentaram os seguintes resultados fundamentais:

Bioacumulação relativamente baixa;

Toxidez muito baixa à dáfnia, espécies marinhas de peixes, patos, galinhas etc...;

Os estudos de reprodutividade e teratológicos foram considerados normais embora ocorresse mortalidade fetal a doses de 200 e 1000 mg/kg em ratos;

Em coelhos não se notaram evidências de toxidez fetal, embora ocorressem "talipes varus", uma deformidade dos pés com doses de 200 mg/kg;

Não apresentam biodegradação por organismos presentes em esgotos domésticos. Mesmo em lodos ativados por um período de 70 dias não demonstraram nenhuma evidência de biodegradação.

Embora as características das PDMS ainda deixem muito a desejar, tanto do ponto de vista toxicológico como ambiental, parece ser recomendável a sua utilização para a substituição imediata das PCB's.

Deve-se, entretanto, procurar desenvolver estudos mais amplos com esses produtos, principalmente de toxidez crônica, para que não se incorra nos mesmos problemas provocados pelo uso prolongado de PCB's.

Paralelamente, é necessário estimular o desenvolvimento de outros produtos comerciais que possam substituir as PCB's nos demais usos, além de transformadores e capacitores.

Mesmo que esses novos produtos venham, em prazo curto, substituir as PCB's em todas as suas aplicações, é importante que se tenha em mente que, devido à sua persistência, esses compostos permanecerão no meio ambiente e nos tecidos de muitos seres vivos ainda por períodos bastante prolongados.

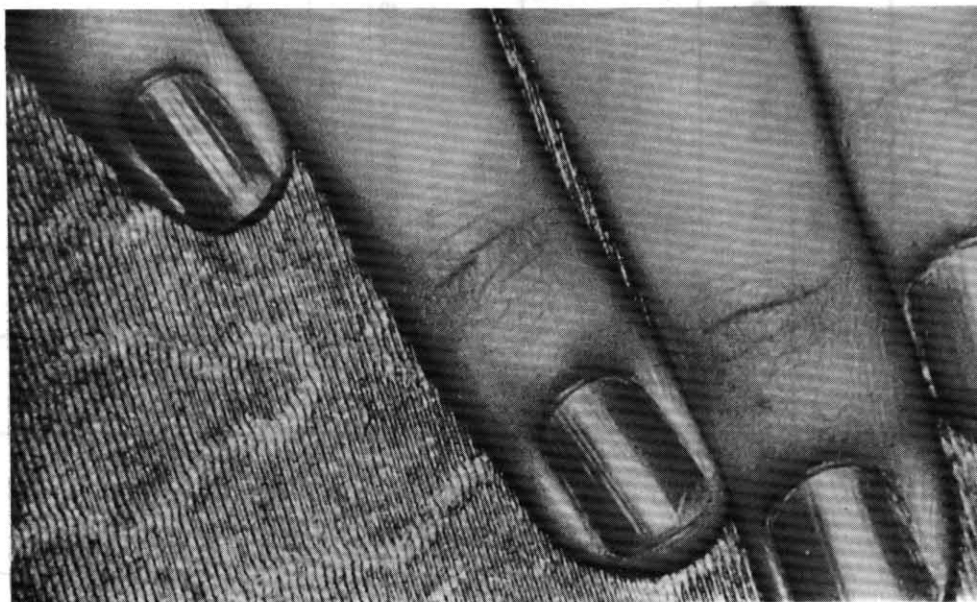
Os estudos feitos em La Jolla, Califórnia<sup>(21)</sup>, demonstraram que a meia vida de PCB's nos 10 centímetros superiores do solo é de 6 anos quando considerados os efeitos conjugados de lixiviação e emissão secundária e de 10 anos quando apenas emissão secundária é considerada.

## 6. REMOÇÃO DE PCB's EM LODOS ATIVADOS E OUTROS PROCESSOS

Estudos elaborados pelo Wastewater Technology Centre, do Canada Center for Inland Waters<sup>(15)</sup>, em 33



Pigmentação marron-escuro e sinais de irritação das mucosas dos olhos, causadas pela Kanemi Yusho (tipo manifesto). Notar também sinais de cloroacne (23).

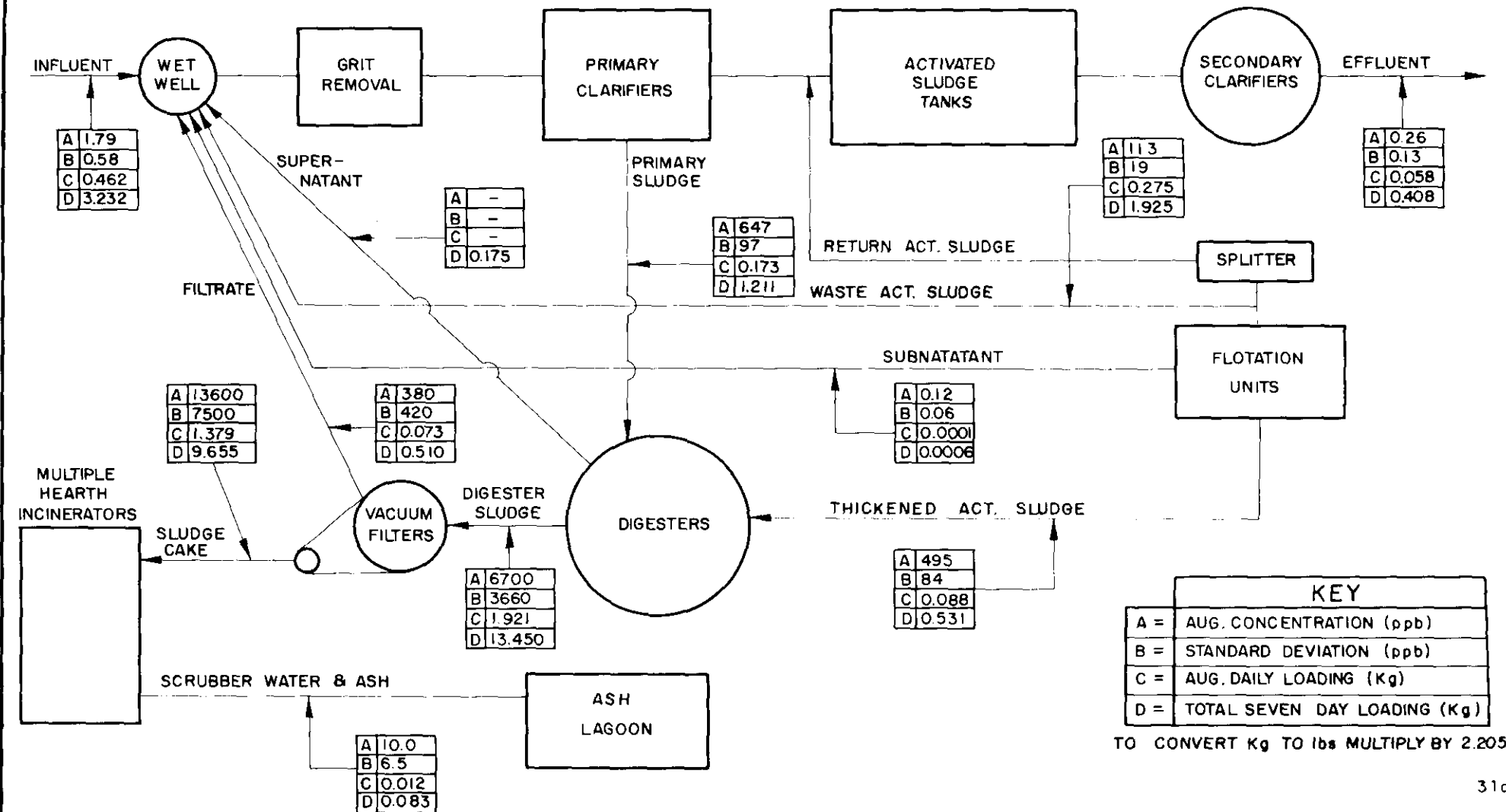


Pigmentação marron-escuro característica do tipo manifesto de Kanemi Yusho (23).



Perda de cabelo provocada por Kanemi Yusho, tipo manifesto (23).

**FIGURA Nº 5**  
**ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE HAMILTON, ONTARIO, CANADA (15)**





idades de Ontário, com níveis de PCB (Aroclors 1254 e 1260) variando entre 0,1 e 1,8 ppm, apresentaram os seguintes resultados:

□ remoção de 50% de PCB no tratamento primário;

□ remoção de 66% de PCB no tratamento secundário.

A Figura n.º 5 mostra o sistema de lodos ativados da Estação de Tratamento de Esgotos de Hamilton e as concentrações médias de PCB's e seus desvios padrões ao longo das diversas unidades do sistema;

□ ocorre uma acumulação no lodo formado no processo aeróbio.

Amostras de lodos dos digestores mostraram concentrações de PCB's variando de 0,6 a 76,6 ppm em peso seco;

□ as PCB's, particularmente os Aroclors 1254 e 1260, praticamente não degradam durante o tratamento convencional de lodos ativados. A remoção constatada é devida, unicamente, a efeitos físicos nas operações de decantação primária e secundária.

Provavelmente, lodos ativados onde se procure aclimatar bactérias que degradem PCB's venham a apresentar maiores eficiências na remoção desses compostos.

A chromobacteria, por exemplo, tem demonstrado, em certas condições especiais, que é capaz de decolorar PCB's que contenham um ou dois átomos de cloro na molécula<sup>(11)</sup>.

Lawrence e Helle<sup>(22)</sup>, também do Inland Water Centre, estudaram a adsorção de PCB's em carvão ativado, resinas, cloreto de polivinila e em poliuretano chegando aos resultados constantes da Tabela 10.

A incineração parece ser uma operação unitária que traz bons resultados na remoção de PCB, mesmo nas concentrações elevadas existentes nos lodos oriundos de tratamentos biológicos.

Incineradores com fornalha múltipla operando entre 815 a 925°C e com temperatura de exaustão de 590°C podem remover até 99,9% de PCB's acumuladas em lodos de esgoto.

## 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho demonstra os perigos envolvidos com a fabricação, manuseio e disseminação de bifenilas policloradas no meio ambiente.

Muito embora se tenha evidenciado ultimamente uma tendência para eliminar esses compostos do merca-

ADSORVENTE	% PCB ADSORVIDO (*)
Carvão ativado (lignita)	46 ± 3
Espuma de Poliuretano	35 ± 3
Amberlite XAD-2	23 ± 2
Amberlite XAD-4	60 ± 3
Cloreto de Polivinila	73 ± 4

(\*) Valores médios de diversas determinações de Aroclors 1254 e 1260.

do, a sua grande persistência exigirá, ainda, das entidades encarregadas de proteção do meio ambiente e da saúde pública, cuidados especiais por um período relativamente longo.

Nesse sentido, recomendam-se as seguintes medidas:

1. efetuar um levantamento da distribuição de PCB's em nossos corpos hídricos, principalmente nos reservatórios destinados a abastecimento público e à geração de energia elétrica;

2. efetuar um levantamento nos aterros sanitários determinando, inclusive, as concentrações de PCB's nos chorumes;

3. efetuar um levantamento em todo o Brasil de indústrias que utilizam PCB's e estudar as características de seus resíduos sólidos, líquidos e gasosos, assim como caracterizar as concentrações de PCB em todos os seus produtos;

4. desenvolver uma legislação básica que obrigue e regulamente a utilização dos substitutos de PCB em transformadores e capacitores elétricos;

5. efetuar estudos de toxidez crônica dos substitutos de PCB que vêm sendo colocados no mercado.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Culp, G.L. e Culp, R.L. — New Concepts in Water Purification. Van Nostrand Reinhold Company, 1974.
- (2) Health Hazards from New Environmental Pollutants Report of a WHO Technical Report Series, n.º 586. Geneva, 1976.
- (3) Umeda, G. "PCB Poisoning in Japan". *Ambio*, 1 (4), 132, (1972).
- (4) "Are you Drinking Biorefractories too?". *Environmental Science and Technology*, 7, (14) (Janeiro 1973)
- (5) Federal Register — Toxic Substances Control: Polychlorinated Biphenyls (PCB's) EPA, 42, (11), May 24, 1977.
- (6) Hecht, A. — Coping with the Indestructible Pollutant, FDA Consumer: PCB's, Dec. 1976-January 1977.
- (7) Fishbein, L.: "Chromatographic and Biological Aspects of Polychlorinated Biphe-

nyls". *J. Chromatography* 68, 345-426. (1972).

- (8) Batalha, B.L.; Parlatore, A.C.: *Controle de Qualidade da Água para Consumo Humano — Bases Conceituais e Operacionais* — CETESB, São Paulo, 1977.
- (9) National Conference on Polychlorinated Biphenyls PB-253-248, EPA 560/6-75-004-March 1976.
- (10) Gustafson, C.G.: PCB's — Prevalent and Persistent Environmental Science and Technology 4, (10) 314, (October 1970).
- (11) Di Nardi, S.R.; Desmarais, A.M.: Polychlorinated Biphenyls in the Environment. *Chemistry* 49, (4), pag. 14 (May 1976).
- (12) McClure, V.E.: "Transport of Heavy Chlorinated Hydrocarbons in the Atmosphere". *Environment Science and Technology* 10, (13), pag. 1223, (December 1976).
- (13) Strahon, C.L., Sosebee, Jr, J.B.: PCB and PCT Contamination of the Environment near Sites of Manufacture and Use". *Environment Science and Technology*, 10, (13), pag. 1229, (December 1976).
- (14) Furr, A.K. et alii: Multielement and Chlorinated Hydrocarbon Analysis of Municipal Sewage Sludges of American Cities, *Environment Science and Technology* — 10, (7) (July 1976).
- (15) Shannon, S.S.; Ludwig F.J.; Valdmair, I.: Polychlorinated Biphenyls in Municipal Wastewaters, Research Report n.º 49, Wastewater Technology Centre, Environment Protection Service, Environment Canada, 1976.
- (16) Jensen, S. "Effects of PCB and DDT on Mink (Mustela Vision) During the Reproductive Season. *Ambio*, pag. 239 (1977).
- (17) Helle, E.; PCB Levels Correlated with Patological Changes in Seal Uteri". *Ambio* 5, (5-6) pag. 261 (1976).
- (18) Lara, M.H.: Bifenilas Policloradas — Sua História e Seus Problemas. Anais do I Congresso Brasileiro de Toxicologia Tropical, Manaus — abril 1976.
- (19) EPA (A/WPR, July, 26, 1976), pag. 295.
- (20) Hobbs, E.J.: "Toxicity of Polydimethylsiloxanes in Certain Environmental Systems". *Environmental Research* 10, pag. 397 (1975).
- (21) Calandra, J.C.; Keplinger, M.L.; Hobbs, E.J., Tyler, L.J. "Health and Environmental Effects of Polydimethylsiloxane Fluids" *Division of Polymer Chemistry Inc. American Chemical Society. Polymer Reprints* 17 (1), (April 1976).
- (22) Lawrence, J.; Helle, M.T.: "Adsorption of Polychlorinated Biphenyls from Aqueous Solutions and Sewage" *Environment Science and Technology*, 10, (4) pag. 381 (April 1976).
- (23) Jansen, S. — The PCB Story — *Ambio* 1, (4) pag. 123. (August 1972).