

Revista de Saúde Pública

Journal of Public Health

Atualização

Current Comments

Dioxinas e furanos: origens e riscos Dioxins and furans: origins and risks

João V de Assunção e Célia R Pesquero

Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP - Brasil

João V de Assunção e Célia R Pesquero *Dioxinas e furanos: origens e riscos* Rev. Saúde Pública, 33 (5), 1999
www.fsp.usp.br/rsp

Dioxinas e furanos: origens e riscos

Dioxins and furans: origins and risks

João V de Assunção e Célia R Pesquero

Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo.
São Paulo, SP - Brasil

Descritores

Dioxinas, toxicidade.
Furanos, toxicidade.
Poluição ambiental.

Keywords

*Dioxins, toxicity.
Furans, toxicity. Environ-
mental pollution.*

Resumo

Apresenta-se uma atualização bibliográfica com o objetivo de relatar a origem e os riscos à saúde pública das dioxinas e furanos e possibilitar o conhecimento de algumas áreas de pesquisa sobre esses compostos. Foram selecionadas 16 referências bibliográficas, cobrindo aproximadamente doze anos (1986 a 1997). Pela análise feita concluiu-se que: a) Esses compostos são de origem não natural, considerados altamente tóxicos, extremamente persistentes, tendo sido detectados em todas as matrizes ambientais como: solo, sedimentos, ar, água, animais e vegetais; b) emissões desses compostos para a atmosfera ocorrem principalmente nos processos de combustão; c) dispersão atmosférica, deposição e subsequente acumulação na cadeia alimentar têm sido a principal rota de exposição da população em geral; d) devido à natureza lipofílica e persistência, estes se acumulam em tecidos gordurosos, sendo os alimentos de origem animal os que apresentaram maiores concentrações; e) no Brasil, os poucos estudos realizados, com medidas de concentrações desses compostos no meio ambiente, apresentaram alguns níveis comparáveis aos da Alemanha. Recomenda-se a continuidade de pesquisas no Brasil, sobre esses compostos, em especial sua acumulação em alimentos e no tecido humano.

Abstract

A bibliographic review is presented with the objective of describing the origin and the risks to the public health of dioxins and furans and getting familiar with some research areas about these compounds. The review has considered 16 selected references covering a period of approximately twelve years (1986 to 1997). The main conclusions were: a) These compounds are from nonnatural origin, considered highly toxic, extremely persistent in the environment, and they have been detected in all environmental matrices like: soil, sediments, air, water, animals and plants; b) emissions of these compounds to the atmosphere come primarily from combustion processes; c) atmospheric dispersion, deposition and subsequent accumulation in the food chain seem to be the major exposure pathway to the general population; d) due to their lipophilic characteristic and persistence in the environment, these compounds accumulate in adipose tissues, being food of animal origin those which present higher concentrations; e) in Brazil, the few studies conducted, with the measurement of concentrations of these compounds in the environment have showed levels comparable to those obtained in Germany. The authors recommend the development of further studies about these compounds in Brazil, specially about their accumulation in food and in human tissue.

Correspondência para /Correspondence to:

João Vicente de Assunção
Av. Dr. Arnaldo, 715
01246-904 São Paulo, SP - Brasil
E-mail: jjanya@usp.br

Edição subvencionada pela Fapesp (Processo nº 98/13915-5).
Recebido em 22.9.1998. Reapresentado em 28.4.1999. Aprovado em 9.4.1999.

INTRODUÇÃO

A revolução industrial iniciada no século XVIII nem de longe poderia prever que em apenas cerca de 250 anos poderia se ter atingido a atual fase de desenvolvimento tecnológico e científico. Porém, esta rápida industrialização e o aumento do consumo causou sérios problemas ao meio ambiente. Atualmente a poluição do ar, água, solos, a contaminação de alimentos e o volume de resíduos sólidos são suas maiores heranças e afetam grandemente a saúde da população e o meio ambiente. Nesse sentido, muitos trabalhos têm investigado as diversas substâncias químicas quanto aos efeitos à saúde humana e a Universidade tem dado importante contribuição para esses estudos. Dentre os compostos considerados altamente tóxicos destacam-se as dioxinas e os furanos. Assim, a presente atualização bibliográfica teve como objetivo relatar a origem e os riscos à saúde pública e possibilitar o conhecimento de algumas áreas de pesquisa sobre esses compostos. A atualização considerou 16 referências selecionadas, cobrindo aproximadamente doze anos (1986 a 1997).

CARACTERIZAÇÃO

As dibenzo-p-dioxinas policloradas (*PCDD* - *polychlorinated-p-dibenzodioxins*) e os dibenzofuranos policlorados (*PCDF* - *polychlorinated-p-dibenzofurans*), comumente chamadas de dioxinas e furanos, são duas classes de compostos aromáticos tricíclicos, de função éter, com estrutura quase planar e que possuem propriedades físicas e químicas semelhantes. Os átomos de cloro se ligam aos anéis benzênicos, possibilitando a formação de um grande número de congêneres: 75 para as dioxinas e 135 para os furanos, totalizando 210 compostos, cujas fórmulas estruturais genéricas são mostradas na Figura 1. Os isômeros com substituições de cloro na posição 2,3,7 e 8 são de interesse especial devido à sua toxicidade, estabilidade e persistência. As PCDD e os PCDF 2,3,7,8-substituídos são encontrados em quase todo o meio ambiente.

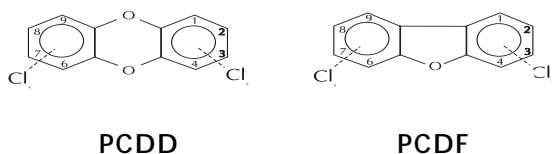


Figura 1 - Estruturas das dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD) e dibenzofuranos policlorados (PCDF).

As seguintes definições são importantes para entender os diversos compostos químicos dentro da família das dioxinas e furanos (Bellin 1986 citado em Oliveira¹⁰, 1996):

Congêneres - denominação de um dado composto pertencente a uma classe de substância química. Neste caso, qualquer composto com 1 a 8 átomos de cloro, pertencente à classe das dioxinas ou dos furanos, corresponde a um congêneres.

Homólogos - denominação dos compostos com o mesmo número de átomos de cloro e pertencentes à mesma classe de substâncias. Há 8 grupos de homólogos das dioxinas policloradas e 8 para os furanos policlorados.

Isômeros - são compostos diferentes com mesma fórmula molecular (moléculas dentro do mesmo grupo homólogo, com diferentes localizações dos átomos de cloro).

A Tabela 1 mostra os isômeros e os congêneres das dioxinas e furanos.

Tabela 1- Congêneres e isômeros das dioxinas e furanos.

Átomos de cloro	Isômeros das dioxinas	Isômeros dos furanos
1	2	4
2	10	16
3	14	28
4	22	38
5	14	28
6	10	16
7	2	4
8	1	1
Congêneres	75	135

Fonte: Oliveira¹⁰ (1996)

ORIGEM

Pesquisas têm mostrado que esses compostos não ocorrem naturalmente, são frutos principalmente da era industrial, em especial no século XX, formados como subproduto não intencional de vários processos envolvendo o cloro ou substâncias e/ou materiais que o contenham, como a produção de diversos produtos químicos, em especial os pesticidas, branqueamento de papel e celulose, incineração de resíduos, incêndios, processos de combustão (incineração de resíduos de serviços de saúde, incineração de lixo urbano, incineração de resíduos industriais, veículos automotores) e outros.

A seqüência de reações de formação dos PCDD e

PCDF não é bem entendida ou conhecida. Existem três teorias básicas que têm sido propostas para a ocorrência desses compostos em incineradores de resíduos sólidos municipais (WHO/EURO¹⁶, 1987):

a) Ocorrem como constituintes em pequeníssimas quantidades, traços, no próprio resíduo e uma parte passa através do incinerador, sem transformação;

b) são produzidos durante a incineração ou em caldeiras, através de precursores, como o PCB [*polychlorinated biphenyl* - bifenila policlorada], os pentaclorofenóis e os benzenos clorados;

c) são produzidos a partir de materiais não diretamente relacionados a esses compostos (ex: produtos do petróleo em geral, hidrocarbonetos clorados, íons cloreto inorgânico e plásticos).

A primeira hipótese tem sido descartada nos casos em que a temperatura da câmara de combustão é alta o suficiente para destruir os PCDD e PCDF, como ocorre na incineração de resíduos em que a temperatura em geral está próxima ou acima de 900°C e o tempo de residência é alto (1 a 2 segundos).

Na terceira hipótese, esses compostos podem ser formados por mecanismo conhecido como síntese “*de novo*” através de reações elementares entre carbono, hidrogênio, oxigênio e cloro. Tem sido observada a formação de dioxinas, furanos e compostos relacionados com o benzeno e fenóis clorados no carbono residual coletado na saída do sistema de combustão (região de temperatura entre 300 a 400°C), quando na presença de ácido clorídrico, oxigênio e água. Essas reações são catalisadas por vários metais, óxidos metálicos e silicatos, presentes no material particulado arrastado (Milligan⁸, 1993; Dickson², 1987).

Na faixa de temperatura de 250 °C a 400 °C ocorre a maior formação de dioxinas (PCDD e PCDF), na combustão de resíduos químicos, como PCB (Porteous¹¹, 1992).

As fontes de PCDD e PCDF (WHO/EURO¹⁶, 1987) podem ser divididas em dois grandes grupos, o dos produtos químicos e o dos processos de combustão:

a) Produtos químicos: PCB (formação de furanos somente), componentes do agente-laranja (2,4,5-T e 2,4-D), pentaclorofenol, hexaclorofeno, herbicidas do grupo difenileter, benzenos clorados, compostos de cloro e bromo assemelhados;

b) processos de combustão: incineradores de lixo municipais, incineradores de resíduos industriais, incineradores de lodos, incineradores hospitalares, plantas de preparação de carvão, termelétricas a carvão, recuperação de arames, produção de papel e celulose, queima ao ar livre de resíduos de madeira, veículos automotores, fumaça de cigarro,lareiras que queimam madeira, aciarias, fundições de cobre, e outros.

TOXICIDADE

Das 210 dioxinas e furanos existentes, 17 compostos com substituições na posições 2,3,7 e 8 destacam-se sob o ponto de vista toxicológico. A toxicidade aguda mais elevada é para a 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina (2,3,7,8-TCDD) que é ultrapassada somente por algumas outras toxinas de origem natural, como mostra a Tabela 2 (Grossi³, 1993).

Tabela 2 - Toxicidade relativa de algumas substâncias.

Substância	Massa molecular	Dose letal ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
Botulinustoxina A	900.000	0,00003
Tetanustoxina	150.000	0,0001
Rícina	66.000	0,02
Crotoxina	30.000	0,2
Difteriotoxina	72.000	0,3
2,3,7,8-TCDD	320	1
Tetradoxina	319	10
Aflatoxina B1	312	10
Curanina	696	500
Estriquinina	334	500
Nicotina	162	1.000
Cianeto de Sódio	49	10.000
Fenobarbital	232	100.000

Fonte: Grossi³ (1993)

A toxicidade da 2,3,7,8-TCDD é muito variável para diferentes tipos de animais. Para cobaias a dose letal (via oral) é cerca de 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal, enquanto para hamster a dose tóxica aguda é cerca de 3.000 - 4.000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal (Grossi³, 1993). Para seres humanos, em vários estudos epidemiológicos com pessoas expostas à mistura de dioxinas, furanos e outros produtos químicos, tem-se observado o aumento da incidência de câncer em diferentes locais do organismo, mas vários fatores limitam a confiança nesses achados (IPCS⁴, 1989). O único efeito comprovado até o momento é a cloroacne. Em 1994, a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (*Usepa - United States Environmental Protection Agency*) completou uma reavaliação dos efeitos das dioxinas e furanos e algumas das conclusões estão relatadas a seguir:

Em relação ao desenvolvimento de tumores malignos, a reavaliação feita pela Usepa conclui que as evidências disponíveis apontam fortemente que a TCDD exerce seu efeito carcinogênico, primariamente através de sua efetividade como agente promotor de estimulação de replicação de células de maneira reversível, e inibindo apoptose. Ambos os mecanismos são mediados presumivelmente através do receptor Ah (receptor de hidrocarboneto aromático) e mecanismos transducionais associados. Portanto, a TCDD não é um carcinógeno completo e não deveria ser designado pela Usepa como tal, assim entendendo o Comitê Consultivo para Ciência (*SAB - Science Advisory Board*). Quase todos os membros do Comitê concordam com o julgamento da Usepa de que a 2,3,7,8-TCDD, sob certas condições de exposição, é capaz de aumentar a incidência de câncer em humanos. As TCDDs estão classificadas pela Usepa no grupo B1 (provável carcinogênico humano com base em informação limitada de estudos em humanos assim como em animais) (USEPA/SAB¹⁵, 1995).

Estudos realizados em várias espécies animais, primariamente roedores, mas também cobaias, coelhos, macacos e gado são suficientes para demonstrar que o sistema imune é alvo para as dioxinas e furanos. O efeito desses compostos no sistema reprodutivo tem sido reconhecido há vários anos, considerando-se inclusive que este pode estar entre os “*end points*” mais sensíveis da dioxina. Os estudos em animais de laboratório têm demonstrado que a dioxina é carcinógeno em vários pontos do organismo, em ambos os sexos e em diversas espécies. Vários estudos indicam que, em grande parte, os humanos parecem responder semelhantemente aos animais submetidos a teste, no que diz respeito aos efeitos bioquímicos e carcinogênicos (Usepa¹⁴, 1994).

Documento de 1995 da “*American Public Health Association*” (APHA) apóia as conclusões da Usepa, nos seus documentos “*Health Assessment Document for 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin (TCDD) and Related Compounds*” e “*Estimating Exposure to Dioxin-like compounds*”. A APHA¹ afirma que “em face da incerteza científica, embora menos que a existente no passado, as conclusões da Usepa parecem proteger adequadamente a saúde pública e a saúde de outras espécies”.

Como resultado da expansão das pesquisas na última década, o grande espectro de conseqüências à saúde agora creditadas às dioxinas incluem cânceres, efeitos reprodutivos e no desenvolvimento, deficiência imunológica, disrupção endócrina incluindo diabetes mellitus, níveis de testosterona e do hormônio da tiróide alterados, danos neurológicos incluindo alterações cognitivas e comportamentais em recém-nascidos de mães expostas à dioxina, danos ao fígado, elevação de lipídios no sangue, o que se constitui em fator de risco para doenças cardiovasculares e danos à pele (APHA¹, 1995).

Toxicidade equivalente (TEQ) tem sido utilizada para correlacionar a toxicidade dos diversos compostos do grupo das dioxinas e dos furanos, com aquela considerada mais tóxica, ou seja, a 2,3,7,8-TCDD, tomada como valor 1 (um). Assim, cada composto deve ter sua participação absoluta multiplicada pelo fator de equivalência, e a soma desses valores para todos os PCDD e PCDF presentes resultará na toxicidade total relativa à 2,3,7,8-TCDD.

Os fatores de equivalência foram introduzidos por órgãos competentes de diversos países, existindo divergências entre os valores de conversão adotados. Em 1988, o Comitê de Desafios da Sociedade Moderna da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN/CCMS) estabeleceu fatores de equivalência internacionais (I-TEF) com o objetivo de eliminar diferenças entre os valores empregados por diversos países (Oliveira¹⁰, 1996). Na Tabela 3 são apresentados os fatores de conversão adotados pela Usepa e pela OTAN/CCMS.

ROTAS DE EXPOSIÇÃO

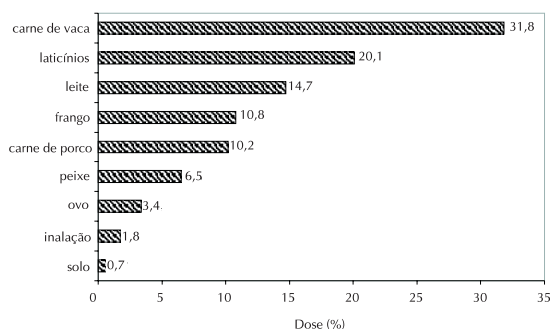
As rotas de exposição incluem exposição direta pelas emissões atmosféricas e de chaminés e exposição indireta pela contaminação do solo e produtos alimentícios, água e outros.

Estudos nos EUA têm mostrado que lá a maior fonte de dioxina é a da alimentação. Como a dioxina é solúvel na gordura, ela bioacumula na cadeia alimentar e é encontrada principalmente na carne e no leite e seus derivados, conforme mostrado na Figura 2. A dose diária total média recebida pelos norte-americanos é de cerca de 100 pg TEQ/dia (pg=10⁻¹²g) (Usepa/SAB¹⁵, 1995).

Tabela 3 - Fatores de equivalência de toxicidade adotados pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (Usepa) e pelo Comitê de Desafios da Sociedade Moderna da Organização do Tratado do Atlântico Norte (NATO/CCMS) (I-TEF).

Composto	Usepa	I-TEF	Composto	Usepa	I-TEF
Congêneres 2,3,7,8 - substituídos					
2,3,7,8-TetraCDD	1	1	2,3,7,8-TetraCDF	0,1	0,1
1,2,3,7,8-PentaCDD	0,5	0,5	1,2,3,7,8-PentaCDF	0,1	0,05
			2,3,4,7,8-Penta CDF	0,1	0,5
1,2,3,4,7,8-HexaCDD	0,04	0,1	1,2,3,4,7,8-HexaCDF	0,01	0,1
1,2,3,6,7,8-HexaCDD	0,04	0,1	1,2,3,6,7,8-HexaCDF	0,01	0,1
1,2,3,7,8,9-HexaCDD	0,04	0,1	1,2,3,7,8,9-HexaCDF	0,01	0,1
			1,2,3,4,6,7,8-HexaCDF	0,01	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	0,001	0,01	1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	0,001	0,01
			1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	0,001	0,01
1,2,3,4,6,7,8,9-OctaCD	0	0,01	1,2,3,4,6,7,8,9-OctaCDF	0	0,001
Congêneres 2,3,7,8 - não substituídos					
TetraCDD	0,001	0	TetraCDF	0,001	0
PentaCDD	0,005	0	PentaCDF	0,001	0
HexaCDD	0,0004	0	HexaCDF	0,0001	0
HeptaCDD	0,00001	0	HeptaCDF	0,00001	0

Fonte: Grossi³ (1993)



Fonte: Usepa¹⁴ (1994) modificado

Figura 2 - Vias de entrada e dose média de dioxinas e furanos recebida por um norte-americano (%).

Outro estudo efetuado em Montgomery, Estado de Maryland, nos EUA, mostrou a seguinte distribuição do risco estimado, em relação a dioxinas e furanos (Jones⁶, 1994):

- 87,1% pelo consumo de carne e de laticínios;
- 5,1% pelo consumo de vegetais;
- 4,6% pela ingestão de poeiras;
- 2,8% por inalação;
- menos de 1% pelo consumo de peixes e outras fontes.

Através da parte gordurosa dos animais ela se acumula, podendo atingir o topo da cadeia alimentar. A principal via parece ser ar-vegetais até atingir os humanos ou outros animais. Nos peixes, a principal rota de exposição é a água. Plantas e animais são expostos principalmente através de particulados suspensos no ar. As partículas sedimentam na vegetação que pode servir de alimento para animais, podendo passar para o homem.

ESTIMATIVAS DE EMISSÃO

Conhecer a emissão total de uma dada região e a participação das diversas fontes neste total é de grande importância na determinação do risco a que as pessoas e outros receptores estão expostos e para o estabelecimento de políticas públicas de controle desses poluentes. Conforme já mencionado anteriormente, várias são as fontes de emissão de dioxinas e furanos, algumas delas ainda não muito bem estudadas.

Um levantamento recém-completado é o da Usepa, cujo relatório foi emitido em junho de 1997 e está mostrado na Tabela 4. A base de referência para as emissões é o ano de 1990, mas o relatório menciona que a participação das diversas fontes estaria modificada atualmente, não só pela reavaliação dos fatores de emissão (quantidade emitida por uma dada fonte em função de algum parâmetro da mesma), como também pela implantação de sistemas de controle de poluição do ar mais eficientes, como por exemplo nos incineradores de lixo municipal, fornos de produção de cimento e incineradores de resíduos de serviços de saúde. O total de emissão desses compostos na atmosfera nos EUA foi de 5,49 kg TEQ, no ano de 1990. A maior fonte de emissão foi a incineração de resíduos municipais com 60,18% (3,3 kg TEQ/ano), em segundo lugar ficou a incineração de lixo de serviços de saúde, com 10,88% (0,597 kg TEQ/ano), e em terceiro lugar os fornos de produção de cimento que queimavam resíduos perigosos, com participação de 3,85% (0,211 kg TEQ/ano) (Usepa¹², 1997).

Tabela 4 - Participação das diversas fontes de emissão de dioxinas e furanos, pela toxicidade equivalente, nos EUA, em 1990 (%).

Fonte	Participação (%)
Incineração de lixo municipal	60,18
Incineração de resíduos de serviços de saúde	10,88
Fornos de produção de cimento com queima de resíduos perigosos	7,85
Queima de carvão residencial	3,85
Fundição secundária de alumínio	3,16
Outras incinerações biológicas	2,64
Termelétrica a carvão	2,47
Outras fontes	2,36
Queima de madeira e de resíduos de madeira na indústria	1,86
Incêndios florestais e queima prescrita	1,57
Veículos automotores "on-road"	1,57
Fornos de produção de cimento sem queima de resíduos perigosos	0,99
Tratamento e preservação de madeira	0,63

Fonte: Usepa¹³ (1997)

A participação da emissão de dioxinas e furanos por veículos ainda é alvo de controvérsias. Estudo desenvolvido na Suécia, por Marklund et al.⁷ (1990) mostrou que os veículos a gasolina com adição de chumbo tetraetila apresentavam emissão de dioxinas, enquanto os veículos a gasolina sem chumbo emitiam furanos. Os veículos diesel testados não apresentaram emissão nem de dioxinas nem de furanos acima do limite de detecção do método empregado, ressalvando-se que o óleo diesel utilizado não continha cloro. Outro estudo desenvolvido na Noruega, por Oehme et al.⁹ (1991), resultou em fatores de emissão de 0,04 a 0,5ng TEQ/km (ng=10⁻⁹g) para veículos leves a gasolina e 0,8 a 9,5 ng TEQ/km para veículos pesados a diesel, ou seja, os veículos diesel emitiam 20 vezes mais que os veículos a gasolina. O fator de conversão para determinação da TEQ seguiu o modelo nórdico. Jones⁵ (1993) considera a participação dos veículos diesel de grande importância para explicar a diferença entre a emissão total estimada para os EUA de 80 kg/ano, assim como a uniformidade geográfica dos níveis de dioxina no tecido adiposo sugere a existência de fontes mais uniformemente distribuídas espacialmente. Utilizando modelagem de dispersão atmosférica, Jones⁵ (1993) verificou níveis altos de dioxinas próximos a vias de tráfego. A concentração anual em termos de TEQ foi de 8,6 x 10⁻⁸ µg/m³, correspondente ao risco de câncer por inalação de 3,9 chances em um milhão (3,9x10⁻⁶). O autor considera também outro aspecto bastante significativo, a área abrangida pelas emissões de incineradores e aquela abrangida por emissões de veículos. Para 400 unidades de incineração nos EUA, a área total de impacto (2

km de raio) corresponderia a 5.040 km². A área total de impacto pelas emissões de veículos associadas às principais rodovias daquele país, numa faixa de 2 km da rodovia, resulta em 4,51 x 10⁶ km². Isso representa 18% de toda a extensão das rodovias nos EUA, sendo que da área afetada pelos veículos, 79% está na zona rural e 21% na zona urbana. Com base nessas informações, Jones⁵ conclui que isso é um fator a mais para que as fontes móveis, em especial os veículos diesel, sejam mais importantes que os incineradores, pois a maioria dos incineradores está em regiões urbanas.

ESTUDOS REALIZADOS NO BRASIL

No Brasil, existem poucos estudos com medições de dioxinas e furanos. Grossi³ (1993) determinando PCDD e PCDF em 45 amostras de composto de lixo urbano provenientes de 22 usinas brasileiras e analisadas na Universidade de Tübingen, Alemanha, encontrou valores médios acima do valor aceitável pela legislação alemã (17 ng TEQ/kg), com algumas amostras apresentando valores bastante elevados (138, 130, 112 e 99 ng TEQ/kg). A Cetesb (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), também em conjunto com a Universidade de Tübingen, dentro de uma campanha de levantamento de dados para avaliação dos problemas causados pelas queimadas de palha de cana na poluição da cidade de Araraquara, analisou compostos orgânicos tóxicos (incluindo dioxinas e furanos) em diferentes matrizes ambientais: ar, deposição, solo, folhas e cinzas da cidade de Araraquara, e ar, deposição, solo, e folhas das cidades de São Paulo e Cubatão (Oliveira¹⁰, 1996). Nesse estudo foram encontradas para as amostras de ar coletadas em São Paulo (no parque do Ibirapuera) concentrações de 86 fg I-TEQ/Nm³ comparáveis às encontradas na Alemanha (53 a 99 fg I-TEQ/Nm³) (fg=10⁻¹⁵g). Para amostras de ar coletadas próximo a incinerador, também em São Paulo, foram encontradas concentrações de 186 fg I-TEQ/Nm³, valores obtidos de uma única amostra em dia favorável à dispersão atmosférica e sem informações das condições de funcionamento do incinerador ou de direção dos ventos. Em outro estudo citado por Oliveira¹⁰ (1996), Mahnke et al. analisaram amostras de solo de várias partes do Brasil em trabalho feito em conjunto pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e Universidade de Tübingen. Os resultados desses dois trabalhos, bem como de outros realizados na Alemanha (para comparação) estão resumidos na Tabela 5.

Tabela 5 - Dados comparativos de dioxinas e furanos de amostras de ar, deposição, solo e folhas, coletados em várias regiões do Brasil e na Alemanha.

	Brasil			Alemanha		
	Araraquara	São Paulo	Cubatão	Região rural	Região urbana	
Ar (fg I-TEQ/m ³)	Queimada 42-267	Ambiente 46	Ambiente 86-187	Ambiente 38-48	Ambiente 14-27	Ambiente 53-99
Deposição (pg I-TEQ/m ³ /dia)	Araraquara 1-17	São Paulo 34-87	Cubatão 8-72			
Solo (ng I-TEQ/kg)	Rio de Janeiro região turística 0,03-1,8	São Paulo Araraquara 0,1-1,0	Cubatão 11-341	Amazonas 0,05-0,4	Alemanha 5	
Folhas (ng I-TEQ/kg)	0,4-2,6	1-4	10-49	0,02-0,4	15-53	

Fonte: Oliveira¹⁰ (1996)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora grande número de trabalhos tenha sido realizado sobre esses compostos, principalmente nos países desenvolvidos, com medidas de emissões no ar e em tecidos humanos e animais e também em alimentos, e como consequência desses estudos tenha havido maior preocupação com as fontes de emissões e seu controle, os dados obtidos até o momento são ainda limitados. Muitos pontos relativos a este tema não foram ainda completamente elucidados, como por exemplo a falta de entendi-

mento das potenciais transformações atmosféricas que podem ocorrer com as dioxinas e furanos na fase-vapor e dos efeitos sinérgicos desses compostos no meio ambiente. No Brasil, os poucos trabalhos realizados apresentaram alguns níveis de concentração comparáveis àqueles de países desenvolvidos. Sendo assim, existe a necessidade de continuidade de pesquisas sobre esses compostos, como também a acumulação em alimentos e no tecido humano, para que, com um maior domínio do assunto, seja possível prevenir maiores problemas à saúde pública, advindos desses compostos.

REFERÊNCIAS

- [APHA] American Public Health Association. *Comments of the American Public Health Association*. Washington (DC); 1995. Available from <URL: http://www.apha.org/science/pol_cmnts/dioxin.html>. [1997 Nov 11].
- Dickson LC, Karasek FW. Mechanism of formation of polychlorinated dibenzo-p-dioxins produced on municipal incinerator fly ash from reactions of chlorinated phenols. *J Chromatogr* 1987;389:127-37.
- Grossi MG. *Avaliação da qualidade dos produtos obtidos de usinas de compostagem brasileiras de lixo doméstico, através de determinação de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas*. São Paulo; 1993 [Tese de Doutorado -Instituto de Química da Universidade de São Paulo].
- [IPCS] International Programme on Chemical Safety. *Polychlorinated dibenzo-para-dioxins and dibenzofurans*. Geneva: WHO; 1989.
- Jones KH. Diesel truck emissions, an unrecognized source of PCDD/PCDF exposure in the United States. *Risk Anal* 1993; 13:245-52.
- Jones K. Comparing air emissions from landfills and WTW plants. *Solid Wastes Technol* 1994 March/April: 29-39.
- Marklund S et al. Emissions of PCDDs and PCDFs in gasoline and diesel fueled cars. *Chemosphere* 1990; 20:553-61.
- Milligan MS, Altwicker E. The relationship between de novo synthesis of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans and low-temperature carbon gasification in fly ash. *Environ Sci Technol* 1993; 27:1595-601.
- Oehme M, Larssen S, Brevik EM. Emission factors of PCDD and PCDF for road vehicles obtained by tunnel experiment. *Chemosphere* 1991; 23:1699-708.
- Oliveira MCN. *Avaliação de compostos orgânicos provenientes da queima de palha de cana-de-açúcar em Araraquara e comparação com medições efetuadas em São Paulo e Cubatão: resultados parciais*. São Paulo: CETESB; 1996.
- Porteous A. Incineration - what prospects? *Wastes Manage* 1992;82:193-202.

12. [USEPA] United States Environmental Protection Agency. *1990 emissions inventory of section 112 (c) (6) pollutants: polycyclic organic matter (POM), 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD) /2,3,7,8-tetrachlorodibenzo furan (TCDF), polychlorinated biphenyl compounds (PCBs), hexachlorobenzene, mercury, and alkylated lead. Research Triangle Park. Washington (DC): USEPA; 1997.*
13. [USEPA] United States Environmental Protection Agency. *Health assessment document for 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD) and related compounds. Washington (DC): USEPA; 1994 (EPA/600/BP-92/001).*
14. [USEPA] United States Environmental Protection Agency. *Estimating exposure to dioxin-like compounds. Washington (DC): USEPA; 1994.v. 1: Executive summary. (EPA/600/6-88/005Ca).*
15. [USEPA/SAB] United States Environmental Protection Agency . Science Advisory Board. *Dioxin reassessment review. Washington (DC): USEPA; 1995. Available from <URL:http://www.epa.gov/docs/SAB-Reports/Dioxin.txt.html>. [1997 Aug 31].*
16. [WHO/EURO] World Health Organization . Regional Office for Europe. *Dioxins and furans from municipal incinerators. Copenhagen: WHO; 1987. (WHO - Environmental Health Series, 17).*