

# MÉTODOS PARA PERÍCIA AMBIENTAL FORENSE

R. R. Rachid Saab B. Cunha  
Manoel Gonçalves Rodrigues  
Gustavo Aveiro Lins  
Organizadores:  
Amauri Destri  
Aureanice de Mello Correa

EDITORA



Roberto Ricardo Rachid Saab Barbosa Cunha

Manoel Gonçalves Rodrigues

Gustavo Aveiro Lins

Métodos para Perícia Ambiental Forense

Rio de Janeiro  
Rede Sirius

2013

## **Editores Observatório Urbano Rio de Janeiro – OUERJ**

### **Editores Científicos**

D.Sc. Josimar Ribeiro de Almeida

D.Sc. Roberto Ricardo Rachid Saab Barbosa Cunha

### **Editores Executivos**

D.Sc. Manoel Rodrigues

D.Sc. Thereza Camello

Esp. Barbara Doukay

### **Conselho Editorial**

D.Sc. Amauri Destri

D.Sc. Aureanice Mello Correa

D.Sc. Fernando Altino

D.Sc. Lais Aguiar

D.Sc. Maria Claudia Domain

## CATALOGAÇÃO NA FONTE

UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

S111	Saab, Rachid R.R. Métodos para perícia ambiental forense / R.R. Rachid Saab, Manoel Gonçalves Rodrigues, Gustavo Aveiro Lins. – Rio de Janeiro : SIRIUS, 2013. 242p. : il.  Bibliografia. ISBN 978-85-88769-53-3  1. Direito ambiental 2. Perícia(exame técnico). 3. Prova pericial. 4. Direito ambiental. 5. Genética legal. 6. Impressões digitais do DNA. 7. Levantamentos fotográficos. I. Rodrigues, Manoel Gonçalves. II. Lins, Gustavo Aveiro. III. Título.  CDU 349.6
------	---

## Métodos para Perícia Ambiental Forense

Autores:

Roberto Ricardo Rachid Saab Barbosa Cunha

Manoel Gonçalves Rodrigues

Gustavo Aveiro Lins

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ

Sub-Reitoria de Extensão e Cultura – SR3

Observatório Urbano do Estado do Rio de Janeiro – OUERJ

Editora Rede Sirius

Organizadores:

Aureanice de Mello Correa

Amauri Destri

## PREFÁCIO

Neste momento onde a Sociedade da Informação permite inúmeras intervenções de dados e notícias por meio eletrônico dinamizando as articulações de Estado, Empresas e Instituições Sociais. Assim, parabenizamos o lançamento do livro Métodos para Perícia Ambiental Forense da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ representa um projeto inovador e pioneiro apresentado pelo Observatório Estado do Rio de Janeiro com um relevante tema sobre uso do Geographical Information Systems - GIS como coleta de dados e a análise de substâncias químicas e biológicas para integração dos saberes numa perspectiva de construção do conhecimento neste ramo da investigação forense.

O livro pretende ser uma ferramenta científica com foco no gerenciamento de procedimentos periciais e no avanço dos métodos das ciências ambientais e em áreas afins.

Reitor Ricardo Vieiralves de Castro

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ

CV: <http://lattes.cnpq.br/4573204809502881>

## Sumário

1 MÉTODOS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E SENSORIAMENTO .....	1
1.1 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) .....	1
1.2 SENSORIAMENTO REMOTO .....	13
1.2.1 Sensores Fotográficos .....	15
1.2.2 Sensores Imageadores .....	46
2 DETECÇÃO DE IMPRESSÕES DE INSTRUMENTOS USADOS NA PRÁTICA DO DELITO .....	62
2.1 MODELAGEM FÍSICA DE IMPRESSÕES ATRAVÉS DE SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS .....	62
2.2 IMPRESSÕES DE SOLADOS DE CALÇADOS E DE RODAS E PNEUMÁTICOS DE VEÍCULOS .....	65
2.3 IMPRESSÕES DE INSTRUMENTOS DE CRIME .....	65
3 MÉTODOS DE RECONHECIMENTO DE VESTÍGIOS DO DELITO .....	68
3.1 SUBSTÂNCIAS BIOLÓGICAS .....	68
3.1.1 Sangue .....	68
3.1.2 Leite e Colostro .....	69
3.1.3 Saliva .....	70
3.1.4 Urina .....	70
3.1.5 Suor .....	71
3.1.6 Matéria Fecal .....	72
3.2 SUBSTÂNCIAS NÃO BIOLÓGICAS .....	72
3.2.1 Tinta e Pintura .....	72
3.2.2 Lama e Lodo .....	73
3.2.3 Pó .....	74
3.2.4 Produtos Residuais de Combustão de Explosivos de Armas de Fogo .....	74
3.2.5 Remanescentes de Incêndios .....	75
3.2.6 Remanescentes de Explosões .....	93
3.2.7 Gases de Interesse Criminalístico .....	96
3.2.8 Substâncias Farmacodependentes .....	101
3.2.9 Tóxicos .....	104
3.2.10 Poluentes Orgânicos Persistentes (POP) .....	105
4 REFERÊNCIAS .....	211

# **1 MÉTODOS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E SENSORIAMENTO**

## **1.1 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)**

*Geographical Information System - GIS* ou em sua versão em português Sistema de Informação Geográfica – SIG, é um conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real para um objetivo específico. Esta definição enfatiza as ferramentas de GIS: hardwares, softwares, bancos de dados e Sistema de Gerência de Bancos de Dados.

Diversos pesquisadores indicam como principais características do SIG a capacidade de inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno; oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

Tendo em vista que os sistemas CAD, CAM e AM/FM também trabalham com a captura, o armazenamento, a edição, a exibição e a plotagem de dados digitais georreferenciados, neste item tentar-se-á esclarecer estas diferenças.

- *SISTEMAS CAD*

*CAD – Computer Aided Design* ou Projeto Auxiliado pelo Computador - são sistemas que armazenam dados espaciais como entidades gráficas. Esses sistemas, apesar de terem sido criados para facilitar a criação de projetos de engenharia e arquitetura, são frequentemente utilizados em cartografia digital. Os sistemas CAD geralmente acessam suas informações de modo seqüencial, forçando a fragmentação das informações geográficas em diversos arquivos.

Assim, os sistemas CAD lidam com os mapas independentemente de continuidade de uma folha para outra: pode-se colocar uma folha ao lado da outra, mas não existe a preocupação do sistema de entender os objetos na divisa como um único

objeto. A diferença fundamental entre um CAD e um SIG é que o CAD não incorpora a possibilidade de realização de análises espaciais ou funções geográficas.

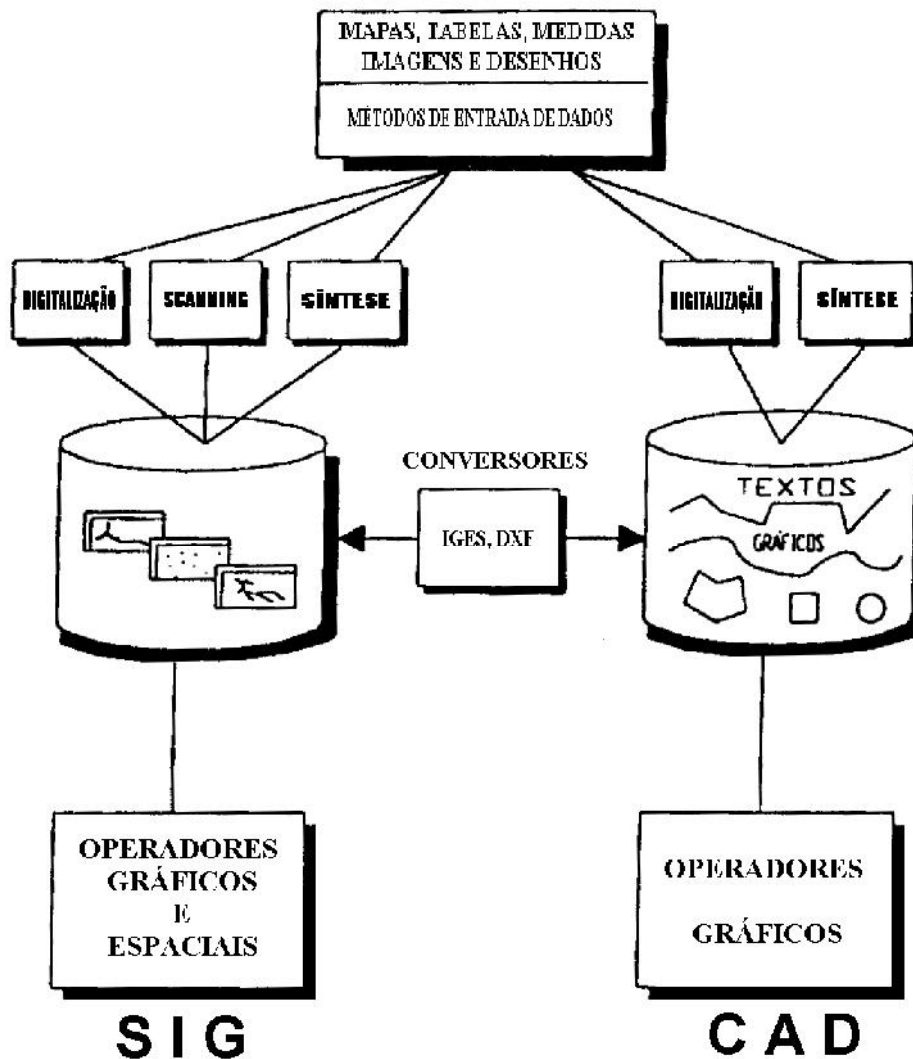


Figura 1.1 – Diferenças entre SIG e CAR.  
Fonte: Korte, 1992.

- *SISTEMAS CAM*

Os sistemas CAM – *Computer Aided Mapping* ou Mapeamento Auxiliado pelo Computador – são utilizados para produção de mapas. Os dados em um sistema CAM são organizados em layers ou camadas. Neste formato os layers são utilizados para a organização temática das entidades gráficas dos mapas ou para a classificação dos tipos de elementos gráficos (linhas, textos, etc.) dos mapas.



Como as relações entre as entidades gráficas dos mapas se dão apenas através de layers e de um referenciamento a um sistema de coordenadas geográficas comum a todas as entidades, os sistemas CAM não são adequados para a análise dos dados de um mapa.

- *SISTEMAS AM/FM*

Os sistemas AM/FM - *Automated Mapping / Facility Management* ou Mapeamento Automatizado / Gerenciamento de Equipamentos - são baseados na tecnologia CAD e são usualmente empregados no gerenciamento de sistemas de dados de serviços públicos.

Característica importante dos sistemas AM/FM é a associação de atributos alfanuméricos às entidades gráficas. Esses atributos descrevem as características dos componentes dos sistemas de serviços públicos, tais como capacidade, dimensão, material, etc. Devido à estrutura de rede e à associação de atributos alfanuméricos às entidades gráficas, os sistemas AM/FM são capazes de modelar e analisar operações de rede.

- *A ESTRUTURA DE DADOS NO SIG*

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) difere dos demais sistemas, AM/FM e CAM, pela sua capacidade de estabelecer relações espaciais entre elementos gráficos. É o sistema mais adequado para a análise espacial de dados geográficos.

Essa capacidade é conhecida como *Topologia*, ou seja, o estudo genérico dos lugares geométricos, com suas propriedades e relações. Esta estrutura, além de descrever a localização e a geometria das entidades de um mapa, define relações de conectividade (conectado a, ligado a, relacionado com), adjacência (vizinho a, ao lado de), proximidade, pertinência, contingência e interseção. Os dados utilizados em SIG podem ser divididos em dois grandes grupos: dados gráficos, espaciais ou geográficos, que descrevem as características geográficas da superfície (forma e posição) e dados

não gráficos, alfanuméricos ou descritivos, que descrevem os atributos destas características.

Existem basicamente duas formas distintas de representar dados parciais em um SIG: Vetorial (Vetor) e Matricial (Raster). Os mapas são abstrações gráficas nas quais linhas, sombras e símbolos são usados para representar as localizações de objetos do mundo real. Tecnicamente falando, os mapas são compostos de pontos, linhas e polígonos. Internamente, um SIG representa os pontos, linhas e áreas como conjunto de pares de coordenadas X, Y ou Longitude, Latitude (Figura 1.2). Desta forma, são armazenadas e representadas no SIG as entidades do mundo real que são representáveis graficamente, no modelo vetorial.

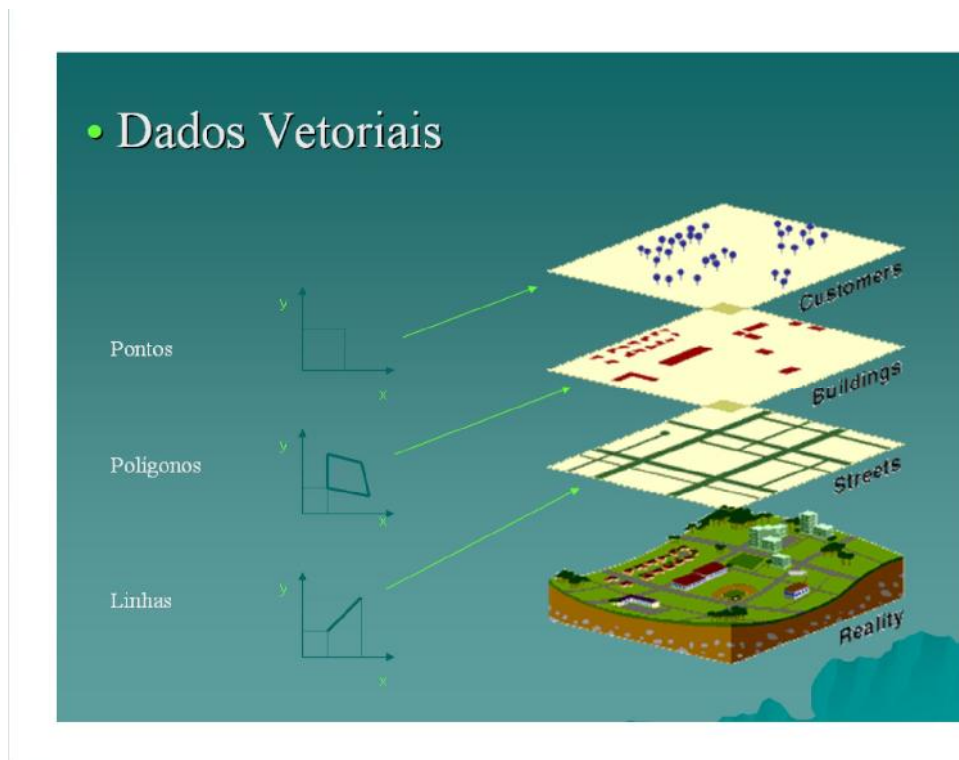


Figura 1.2 – Estes correspondem ao sistema de coordenadas cartesiano, sendo o eixo de X a latitude e Y a longitude.

O outro formato de armazenamento interno em uso pelos SIGs é o formato matricial ou raster. Neste formato, tem-se uma matriz de células, às quais estão associados valores, que permitem reconhecer os objetos sob a forma de imagem digital.

Cada uma das células, denominada pixel, é endereçável por meio de suas coordenadas (linha, coluna).

Os valores dos pixels representam uma medição de alguma grandeza física, correspondente a um fragmento do mundo real. Por exemplo, em uma imagem obtida por satélite, cada um dos sensores é capaz de captar a intensidade da reflexão de radiação eletromagnética sobre a superfície da Terra em uma específica faixa de frequências. Quanto mais alta a reflectância, no caso, mais alto será o valor do pixel.

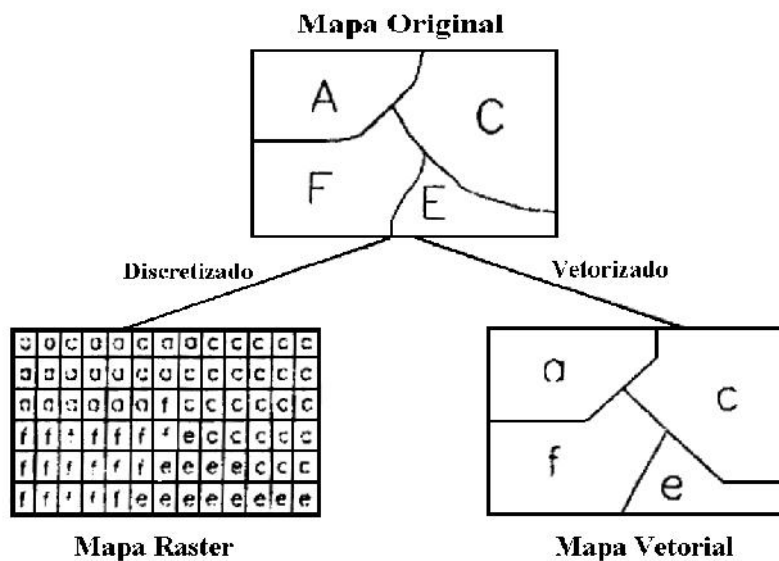


Figura 1.3 – Estrutura matricial e vetorial

Tabela 1.2 – Comparação entre a estrutura vetorial e matricial

ASPECTO	FORMATO VETORIAL	FORMATO RASTER
<b>Relações espaciais entre objetos</b>	Armazena informações sobre relacionamentos	Relacionamentos espaciais devem ser inferidos
<b>Ligação com banco de dados</b>	Facilita associar atributo a elementos gráficos	Associa atributos apenas à classe do mapa
<b>Análise, simulação e modelagem</b>	Representação indireta de fenômenos contínuos. Álgebra de mapas é limitada.	Representa melhor fenômeno com variação contínua no espaço. Simulação e modelagem mais fáceis.
<b>Algoritmos</b>	Problemas com erro geométrico	Processamento mais rápido e eficiente
<b>Armazenagem</b>	Por coordenadas (mais eficiente).	Por matrizes.
<b>Aplicações</b>	Redes: Concessionárias de Água, Esgoto, Lixo, Energia, Telefonia, Transporte, etc.	Ambientais: Diagnóstico, Zoneamento, Planejamento, Gerenciamento, Manejo, Gestão Ambiental, etc.

Os dados alfanuméricos ainda podem ser subdivididos em dois tipos:

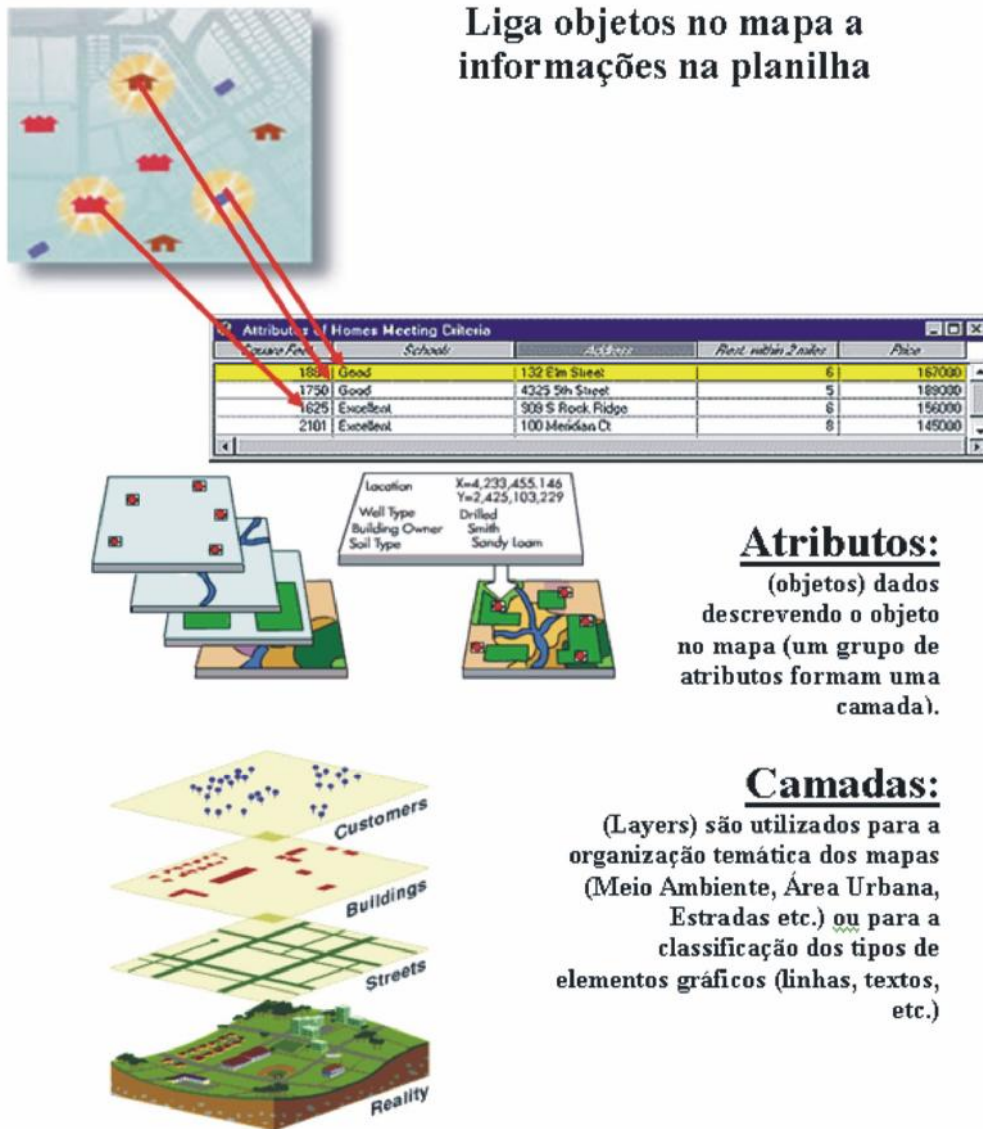
- Atributos dos Dados Espaciais;
- Atributos Georreferenciados.

Os atributos são dados descrevendo o objeto no mapa oferecendo informações descritivas acerca das características de algum elemento espacial. Estão ligados aos elementos espaciais através de identificadores comuns, normalmente chamados de geocódigos, sob a forma de arquivos shape (extensão shp), que estão armazenados tanto nos registros alfanuméricos como nos espaciais.

Podem fornecer informações qualitativas ou quantitativas associadas às feições espaciais (1) pontos, (2) linhas e (3) áreas representadas na base de dados (polígonos). Análises do tipo: mostre-me todos os postes de concreto, todas as redes de determinado diâmetro ou vazão, ou número de acidentes por trecho de estrada, são facilmente executadas pelo SIG.

1. Pontos – é a menor porção de informação em um mapa, em uma área urbana pode ser um endereço georreferenciando um cadastro de um imobiliário;
2. Linha – é uma sucessão de pontos podendo representar uma via como estrada, rua avenida etc;
3. Polígono – é a linha de entorno que demarca uma área ou objeto que concentra um volume significativo de informações de territórios ou regiões como bairros, cidades ou países.

Dados onde a preocupação é apenas georreferenciar alguma característica específica, sem descrever as suas feições espaciais. Estes dados são armazenados e gerenciados em arquivos separados, sendo associados à base espacial através de registros.



Atualmente, existe um grande número de Sistemas de Informação Geográfica, com características as mais variadas possíveis em termos de tipos de estruturas de dados, modelos de banco de dados, sistemas de análise e outras. Apesar de possuírem habilidades diferentes, existem alguns módulos presentes na maioria destes programas. Estes módulos são: (Figura 1.4).

- Sistema de Aquisição e Conversão dos Dados;
- Banco de Dados Espaciais e de Atributos;

- Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD);
- Sistema de Modelagem Digital do Terreno - MDT;
- Sistema de Análises Estatísticas;
- Sistema de Processamento de Imagens;
- Sistema de Análise Geográfica;
- Sistema de Apresentação-cartográfica.

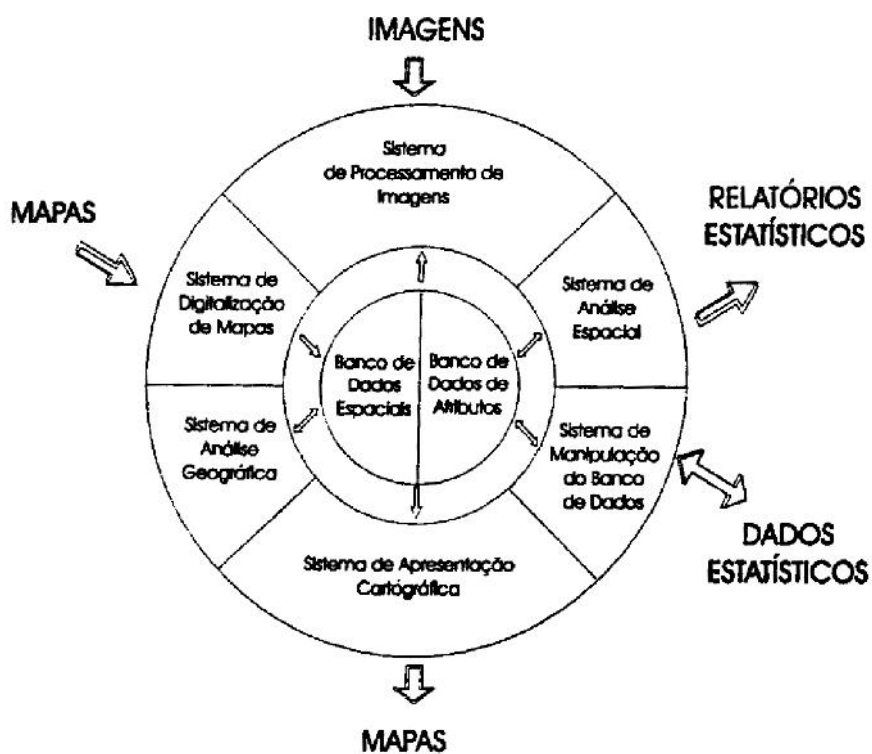


Figura 1.4 – Características de um SIG

A Tabela 1.2 – apresenta alguns Sistemas de Informação Geográfica, disponíveis no Brasil e no Mundo, com suas principais características.

Tabela 1.2 – SIG e suas características

<b>SIG (FABRICANTE)</b>	<b>ESTRUTURAS DE DADOS</b>	<b>BANCO DE DADOS</b>	<b>FUNÇÕES</b>	<b>OBSERVAÇÕES</b>
APIC APIC Systèmes	Vetorial Raster	Orientado a objetos Relacional (opcional)	CAD	Produzido na França, tem muitas instalações na Europa.
ARC INFO ESRI	Vetorial- topológica	Relacional	CAD, Análise de Rede	SIG mais vendido nos EUA com muitas plataformas instaladas no mundo.
ARC VIEW ESRI	Vetorial- topológica	Relacional	Cad, Análise de Rede.	Devido à interface com o Arc info e outras facilidades, possui muitas plataformas instaladas.
ATLAS GIS Strategic Mapping	Vetorial	Relacional, XBase		Mais utilizado como ferramenta de <i>desktop Mapping</i>
AutoCAD MAP Autodesk	Vetorial	ODBC, Oracle, Dbase, Informix, Paradox e Access.	CAD, Análise de Rede.	Baseado no AutoCAD. Outros aplicativos: Autodesk, MApGuide (plug in para Internet/Intranet) e o Autodesk Word (cliente-servidor)
DBMAPA MaxData	Vetorial	Xbase		Apoiado no MaxiCAD
GISPLUS Caliper	Vetorial	ODBC, Acess, Oracle, Excel	Análise de Rede.	Da mesma <i>família</i> do Maptitude e do TransCAD.
IDRISI 32 Clark University	Raster	Proprietário	MDT, Tratamento de Imagens.	Recursos avançados para tratamento de imagens e MDT.
ILWIS	Raster Vetorial	Proprietário	Tratamento de Imagens.	Mais utilizado em aplicações ambientais.
MAPINFO MapInfo Corporation	Vetorial	Proprietário XBase	CAD, Análise de Rede.	Muito utilizado em Prefeituras e Empresas de Consultoria.
MAPTITUDE Caliper Corporation	Vetorial	ODBC, Acess, Oracle, Excel.	CAD, Análise de Rede.	Idem ao MapInfo.
MGE Intergraf	Vetorial Raster	Relacional	CAD, MDT, Análise de Rede, Tratam. De imagens.	Vários módulos sepa- rados para Imagens, MDT, a Análise de Rede. Muitas plata- formas instaladas no mundo.

*Continua*

Tabela 1.2 – SIG e suas características

(Continuação)

<b>SIG (FABRICANTE)</b>	<b>ESTRUTURAS DE DADOS</b>	<b>BANCO DE DADOS</b>	<b>FUNÇÕES</b>	<b>OBSERVAÇÕES</b>
MAPPING OFFICE Intergraph	Vetorial	Idem ao Arcinfo, Dbase e Paradox.	CAD, Análise de Rede.	Da mesma <i>família</i> do MicroStation Geographics e o do MGE.
MicroStation Geographics Bentley Systems	Vetorial	Relacional	CAD, Análise de Rede.	Faz parte de um “pacote” de GIS com aplicativos para trata- mento de imagens MicroStation Descar- tes, para MDT Geo- terrain e outros.
SAGA	Raster	Proprietário Interface com Access.	Módulos para Análise Ambiental	Desenvolvido pela UFRJ-IGEO- LAGEOP. Potencial de Interação e Polígono de Voronoi.
SPANS TYDAC	Raster	Relacional	MDT.	Utilizado em aplica- ções para grandes áreas, com ênfase no Sensoriamento Remoto.
SPANS/Map TYDAC	Vetorial	Relacional	CAD.	Apenas para consulta e geração de mapas.
SPRING INPE	Raster Vetorial	Relacional ou orientado a objetos.	CAD, MDT, Tratamento de Imagens	Forte ênfase inicial em raster, devido à tradição do INPE nesta área. Módulo para Geoestatística.
TRANSCAD Caliper	Vetorial	ODBC, Excel, Access, Oracle.	CAD, MDT, Análise de Rede.	Possui funções específicas para área de <i>Transportes</i> .
GISMAPS Gis Solutions Google	Vetorial	Excel	Módulos para Análise de dados e pesquisas sociais	Software de geoprocessamento para geração de mapas temáticos, realização de análises de mercado e visualização de imagens de satélite.

A escala de trabalho a ser adotada, visando qualquer trabalho de Geoprocessamento, deve possibilitar a visão total desta área e ser uma escala que permita integrar e relacionar dados de diferentes naturezas para estudar a área como um todo. A integração destes dados deve ser feita sobre bases cartográficas oficialmente validadas (IBGE, DSG, DHN, CPRM, EMBRAPA ou Fundações Estaduais de Informações e Dados), em escala igual ou maior à em que os demais dados serão



levantados. Deve-se evitar a escalagem de uma escala melhor para uma escala pior, pois certamente haverá perda de qualidade do dado.

No intuito de minimizar os problemas relativos à escolha da escala (com conseqüente resolução e precisão), serão apresentados, a seguir, alguns critérios que devem ser observados em função do nível de trabalho, das aplicações típicas e dos processos e equipamentos mais indicados.

– *NÍVEL GLOBAL*

As escalas de 1:2.500.000 a 1:1.000.000 seriam as recomendáveis para aplicações de Geopolítica. Levantamento de Recursos Ambientais, Geológicos, Camada de Ozônio, Mudanças Climáticas (efeito estufa e elevação do nível do mar), Desmatamento, Desertificação e outros estudos. O processo mais indicado é o Sensoriamento Remoto.

– *NÍVEL REGIONAL OU NACIONAL*

As escalas de 1:250.000 a 1:100.000 seriam as recomendáveis para aplicações de Zoneamentos (para fins de planejamento, monitoramento e gestão ambiental), Florestais (desmatamentos e reflorestamentos), Agricultura (previsões de safras), Mapas Geológicos, entre outras. Os processos mais indicados são o Sensoriamento Remoto e a Aerofotogrametria, associados com Levantamentos Geodésicos, destacando-se o GPS Geodésico para fornecimento de pontos de apoio e o GPS de Navegação para levantamentos complementares.

– *INTERMUNICIPAL*

As escalas de 1:100.000 a 1:50.000 seriam as recomendáveis para Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas, Estudos de Planejamento de Transportes, Hidrológicos, Energéticos, Florestais, Agrícolas, Geológicos e outras. Os processos

mais indicados são a Aerofotogrametria e o Sensoriamento Remoto, também associados com Levantamentos Geodésicos (GPS).

– *MUNICIPAL*

As escalas de 1:50.000 a 1:10.000 seriam as recomendáveis para Gestão Ambiental de Municípios (Planos Diretores, Planejamento Urbano), Análise Ambiental (Zoneamento Ambiental, EIA/RIMA), Projetos Básicos de Engenharia (Saneamento, Hidrológicos e Transporte), Regularização Fundiária, Florestais, Agricultura (projetos de irrigação), Geológicos, entre outras. Os processos mais indicados são a Aerofotogrametria, o Sensoriamento Remoto (para dados temáticos; no caso da resolução espacial apenas o Sistema SPOT, IRS e RADARSAT), o DGPS, o GPS Cadastral e a Topografia Convencional. Cabe salientar que existem várias regiões mapeadas no Brasil na escala de 1:25.000.

– *LOCAL*

As escalas de 1:10.000 e 1:2.000 seriam as recomendáveis para Gestão de Municípios (Planos Diretores, Planejamento e Cadastro Urbano - IPTU), Análise Ambiental (Zoneamento, EIA/RIMA), Projetos Executivos de Engenharia (Saneamento, Hidrológicos e Transporte), Redes de Concessionárias de Serviços Públicos, Agricultura de Precisão, Florestais, Geológico-Geotécnico, Estudo de Fenômenos Ambientais Específicos, entre outras. Os processos mais indicados são a Aerofotogrametria, o Sensoriamento Remoto (para dados temáticos; no caso da resolução espacial apenas o Sistema IKONOS no modo pancromático), o GPS Cadastral e a Topografia Convencional.

– *LOCAL EM DETALHE*

As escalas de 1:2.000 a 1:250 seriam as recomendáveis para Aplicações Imobiliárias, Projetos de Engenharia em nível de detalhe (construção civil, projetos paisagísticos, estudos de tráfego, sinalização, desapropriação), Redes de Concessionárias, EIA/RIMA, Agricultura de Precisão, Estudo de Fenômenos Ambientais Específicos e outras. Os processos mais indicados são a Aerofotogrametria, o GPS Topográfico e a Topografia Convencional, com ênfase nos instrumentos eletrônicos como por exemplo a estação total e o nível digital.

## **1.2 SENSORIAMENTO REMOTO**

Sensoriamento Remoto pode ser definido como a aquisição de informação sobre um objeto a partir de medidas feitas por um sensor que não se encontra em contato físico direto com ele. As informações sobre o objeto, neste caso, são derivadas da detecção e mensuração das modificações que ele impõe sobre os campos de força que o cercam. Estes campos de força podem ser eletromagnéticos, acústicos ou potenciais (radiação eletromagnética, os campos magnéticos e gravimétricos naturais).

O Sensoriamento Remoto utiliza sensores a bordo de aeronaves ou satélites, equipamentos para transmissão, recepção, armazenamento e processamento de dados, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre nos domínios espacial, temporal e físico, através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra, este sistema de aquisição de informações é formado por alguns subsistemas importantes:

- *sistemas sensores*: que são os equipamentos que focalizam e registram a radiação eletromagnética proveniente de um objeto;
- *sistemas de processamento de dados*: que convertem o dado bruto produzido pelo sensor em variável física passível de ser interpretada e convertida em informação;
- *sistemas de análise*: que incluem todas as ferramentas, dentre as quais destacam-se os SIGs, que permitem integrar a informação derivadas de Sensoriamento Remoto às de outras fontes.

Após interagir com os objetos da superfície terrestre, a radiação é detectada por sensores a bordo de satélites. Um sistema-sensor imageador produz uma imagem bidimensional da radiância, emitância ou retroespalhamento destas trocas energéticas, num determinado instante, naquele espaço físico, tomando-se apto a extrair informações sobre aquela região.

As imagens produzidas são então caracterizadas pelas resoluções espacial, espectral, radiométrica, temporal e pela largura da faixa imageada.

A Resolução Espacial é a capacidade do sensor de detectar objetos a partir de uma determinada dimensão. Quanto maior a resolução do sistema sensor, menor é o tamanho mínimo dos elementos que podem ser detectados individualmente.

Ex.: LANDSAT 7 = 15 m; SPOT 4 = 10 m ; IKONOS II = 1 m.

A Resolução Espectral expressa a capacidade do sensor de registrar a radiação em diferentes regiões do espectro. Quanto melhor a resolução espectral, maior o número de bandas espectrais que podem ser adquiridas sobre os objetos da superfície, aumentando o poder de extração de informação.

Ex.: LANDSAT 7 = 8 bandas; NOAA = 6 bandas; SPOT = 4.

A Resolução Radiométrica representa a capacidade de discriminar entre diferentes intensidades de sinal ou número de níveis digitais em que a informação se encontra registrada. Quanto maior for esta resolução, maior será a sensibilidade do sensor nas pequenas diferenças de radiação, aumentando o poder de contraste e de discriminação das imagens.

A Resolução Temporal representa a frequência com que a área de interesse é revisitada ou imageada.

Ex.: LANDSAT 7 = 16 dias; CBERS = 3 dias; NOAA = 6 horas;  
METEOSAT = 30 minutos.

Uma outra característica é a largura da faixa imageada, ou largura da faixa de varredura, que varia de acordo com o satélite.

Ex.: LANDSAT = 185 km; CBERS = 120 km; SPOT = 60 km; IKONOS II = 13 km.

Em geral, existe um compromisso entre a largura da faixa e as resoluções espacial, espectral e radiométrica. Para se ganhar em um dos atributos há que se perder nos outros.

- *SISTEMAS SENSORES*

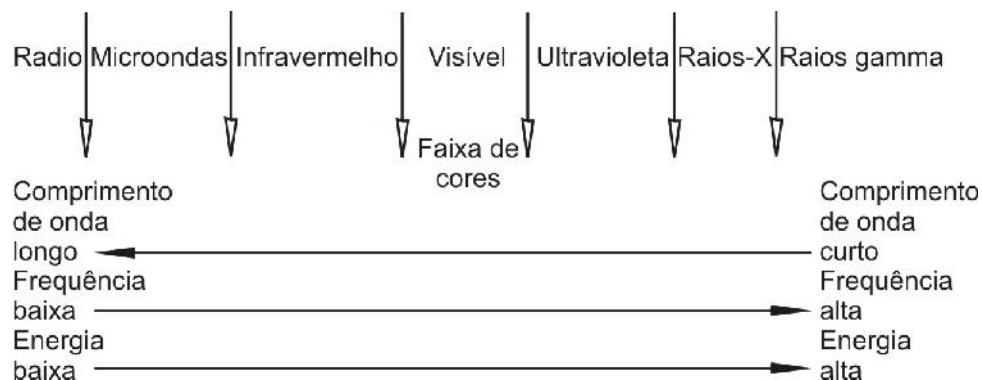
Basicamente têm-se os sensores fotográficos, de radar, laser, espectrômetros e radiômetros.

### 1.2.1 Sensores Fotográficos

Os sensores imageadores, baseados em sistemas fotográficos, tentaram reproduzir as características do olho humano. A objetiva faz o papel da íris e o cristalino e o filme, o papel da retina. Enquanto os sensores fotográficos possuem um detectores foto-químico (filme), os imageadores possuem detectores que transformam a radiação recebida em sinal elétrico. Portanto, as principais diferenças residem no processamento da imagem, na possibilidade de reutilização do detector e na capacidade de enviar um sinal elétrico que pode ser transmitido para uma estação remota.

#### espectro eletromagnético

A incidência dos raios solares chegam à Terra em porções visíveis e invisíveis do espectro eletromagnético. A visão do ser humano é sensível a uma pequena porção desse espectro, que corresponde às cores visíveis, do comprimento de onda maior da luz ao comprimento de onda menor (do vermelho ao azul).



As ondas de rádio, microondas, infravermelho, ultravioleta Raio-X e Raios Gama são porções do espectro eletromagnético invisível. Estas ondas somente podem ser detectadas por meio de aparelhos.

A luz não é somente uma onda nem somente uma partícula, mas tem as propriedades de ambas. A luz pode ser focada como uma onda, mas sua energia é distribuída em pacotes separados chamados fótons. A energia de cada fóton está inversamente relacionada ao comprimento de onda da luz: a luz azul é mais energética, enquanto a luz vermelha tem a menor energia por fóton de exposição. A luz ultravioleta (UV) é mais energética, mas invisível para os olhos humanos. A luz infravermelha também é invisível, mas podemos detectá-la se for forte o bastante, simplesmente porque nossa pele esquenta sob exposição.

É a energia em cada fóton de luz que provoca a mudança química nos detectores fotográficos presentes no filme. O processo por meio do qual a energia eletromagnética causa mudanças químicas é conhecido como fotoquímica. Tendo cuidado ao lidar com materiais, eles podem ser quimicamente estáveis até que sejam expostos à radiação.

- ***Fotografias Forenses***

Como modalidade de levantamento subsidiário do local do fato ou como meio acessório no exame do instrumento de crime ou da peça de exame, na constatação de lesões corporais no vivo e no cadáver etc., há diversas espécies de fotografias, podendo-se destacar as seguintes:

- ✓ ***FOTOGRAFIA GERAL***

É a que reproduz o local do fato de modo amplo, abrangendo praticamente a totalidade dos vestígios.

- ✓ ***FOTOGRAFIA PANORÂMICA***

É a que reproduz plenamente o local do fato quando este é dotado de extensa superfície; sob o ponto de vista técnico, obtém-se uma série de fotografias gerais dos vários setores em que o local foi dividido; a reunião destas fotografias dá a visão global do local considerado in totum.

✓ *FOTOGRAFIA MÉTRICA*

É a que oferece a viabilidade de permitir que se reproduzam distâncias e dimensões dos corpos; este tipo de fotografia é obtida com máquinas fotográficas métricas capazes de produzir clichês em cujas cópias se lêem diretamente as dimensões do objeto fotografado.

✓ *FOTOGRAFIA SIMÉTRICA*

É a que reproduz as dimensões e características dos locais internos; a máquina fotográfica deve ser disposta, sucessivamente, nos ângulos, diedros do recinto, em posições rigorosamente simétricas; obtém-se deste modo fotografias de cada uma das paredes, parte do teto e do piso; as cópias depois de reunidas e coladas em uma cartolina permitem reproduzir o local interno, em escala.

✓ *FOTOGRAFIA DE MINÚCIAS*

É a que reproduz particularidades contidas no local do fato, no instrumento de crime, na peça de exame, no documento, na escrita etc., basicamente quando se pretendem destacar microvestígios.

- ***Fotogrametria***

A Fotogrametria é frequentemente dividida em categorias de acordo com o tipo de fotografias usadas ou a maneira como são utilizadas. Na Fotogrametria Terrestre as fotografias são tiradas da Terra, com o eixo ótico da câmara na horizontal. São também chamadas fotografias horizontais.

Existem em geral dois tipos de fotografias aéreas: Fotografias Verticais, as quais são tomadas com o eixo ótico da câmara na vertical, e Fotografias Oblíquas são as que intencionalmente são tomadas com o eixo ótico da câmara inclinado obliquamente com respeito à vertical. As fotografias oblíquas estão divididas em (Figura 4):

- ✓ *Obliqua Alta* são as que possuem o eixo ótico com um desvio grande com respeito, à vertical, incluindo a linha do horizonte aparente.
- ✓ *Obliqua Baixa* são as que possuem o eixo ótico com um pequeno desvio com respeito à vertical, não incluindo a linha do horizonte aparente.

Os termos, "Alta e Baixa", não se referem à elevação do avião sobre o terreno, mas sim ao ângulo de inclinação do eixo ótico da câmara em relação à vertical. Nas fotos verticais, ao contrário, o eixo ótico é dirigido verticalmente para baixo.

Na foto vertical os quadrados são perfeitos. Na oblíqua baixa, as linhas convergem para um ponto localizado fora do plano da fotografia. Em vez de quadrados teremos a formação de trapézios. A deformação nessas fotografias vai aumentando da parte anterior para o fundo da fotografia; dessa forma, a escala nas fotos oblíquas decresce da parte anterior para a posterior. Na oblíqua alta, temos o mesmo, com a diferença de que nesta aparece o ponto de convergência.



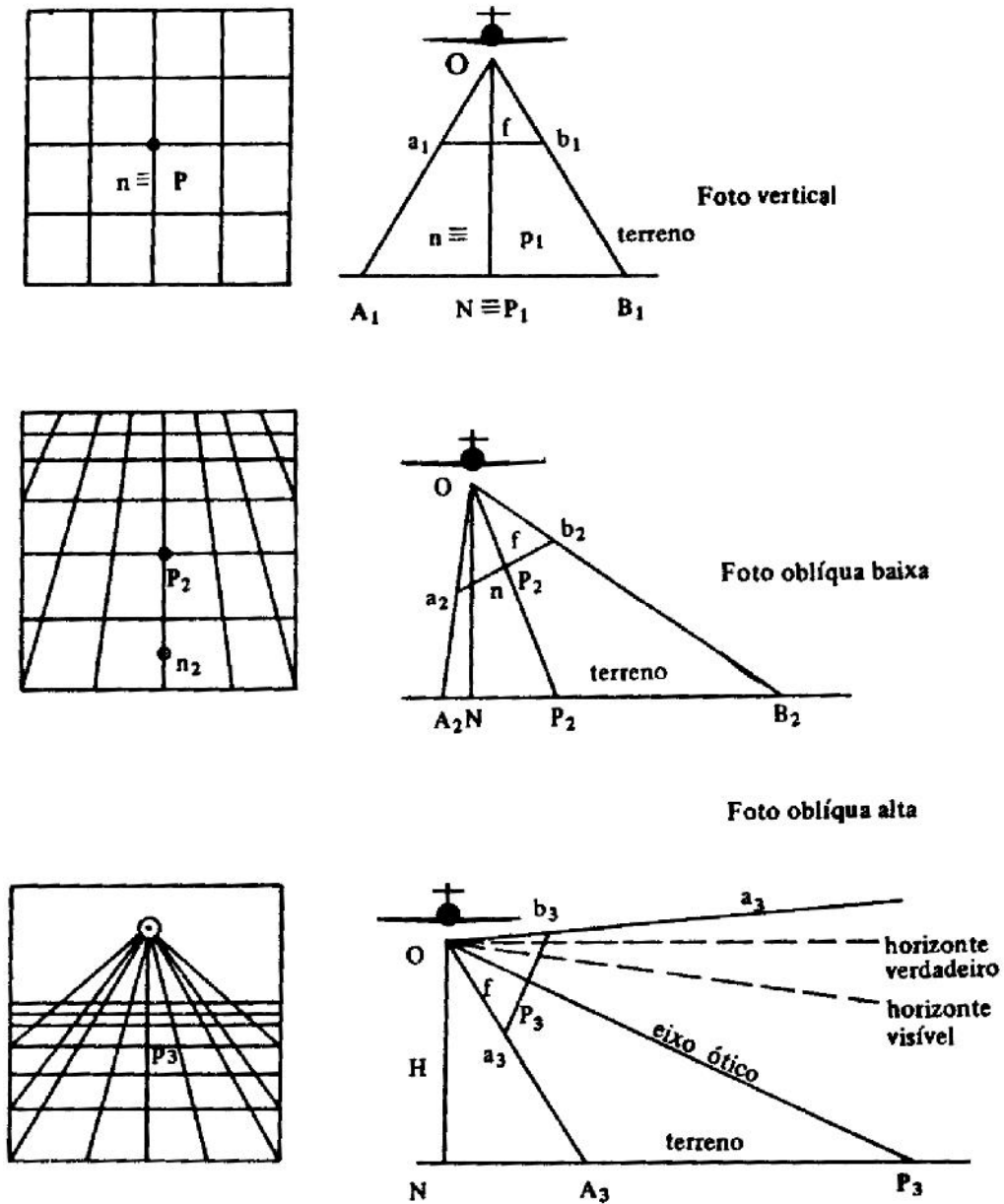


Figura 1.5 – Relações geométricas entre as fotografias: vertical, oblíqua baixa e oblíqua alta.

Todas as máquinas fotográficas aéreas usadas com o propósito de mapeamento possuem as marcas fiduciais, também chamadas marcas de colimação, as quais são registradas no negativo, em cada exposição, no meio dos quatro lados da fotografia.

A intersecção das duas linhas que unem as marcas fiduciais opostas estabelece o centro geométrico (centro ótico) e também o eixo geométrico da fotografia. O eixo X da fotografia é usualmente a linha de vôo e o eixo Y é perpendicular à linha de vôo. É

desejável que o ponto principal da fotografia coincida com o centro geométrico da máquina fotográfica.

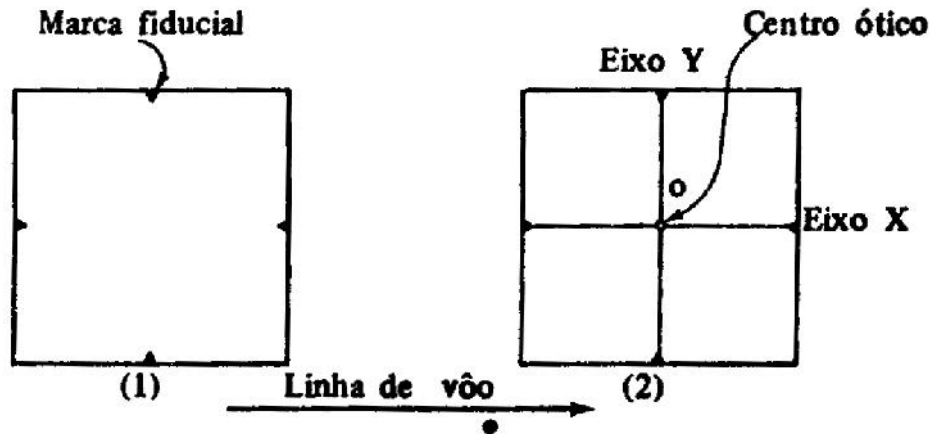


Figura 1.6 – Marcas fiduciais, centro ótico e linha de vôo.

Por métodos fotogramétricos, usando-se a geometria sólida e plana, pode-se fazer mapas planimétricos e topográficos a partir de fotografias. O método que se usa é o dos pares estereoscópicos de fotografias aéreas, porque tais fotografias registram as direções e a intersecção de pelo menos duas direções de objetos da Terra, o que é necessário para se determinar a posição dos objetos no mapa. A fotografia aérea, como toda fotografia, é uma perspectiva e a magnitude do deslocamento das imagens é determinada por:

- ✓ a relativa elevação da Terra;
- ✓ a distância focal das lentes;
- ✓ pela inclinação da câmera aérea no momento da exposição.

Deve-se selecionar a máquina fotográfica para o trabalho a ser desenvolvido de tal maneira que ela possa produzir fotografias de acordo com as especificações. A máquina fotográfica é colocada sobre um suporte, chamado suporte da máquina fotográfica, o qual permite controlar o movimento da máquina fotográfica pelo fotógrafo; este suporte é equipado com um sistema que evita choques e vibrações e

permite um ajustamento para compensar a deriva e o desvio do avião enquanto este percorre a linha de vôo (Figura 1.7).

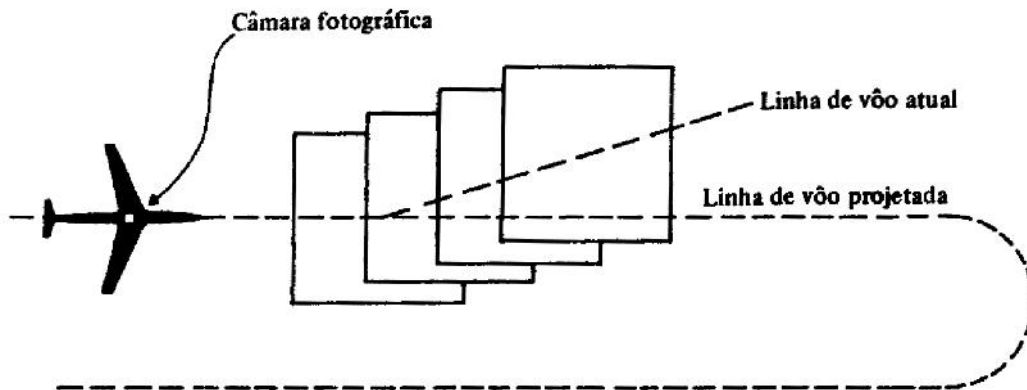


Figura 1.7 – Linha de vôo com deriva ("Drift")

- ✓ *Deriva* ("Drift") é o ângulo que o lado da foto faz com a linha de vôo correta.
- ✓ *Desvio* ("Crab") é o efeito da deriva. É observado na montagem das faixas.
- ✓ *Inclinação* ("Tilt") é a inclinação da câmara fotográfica no momento da exposição (Figura 1.9).

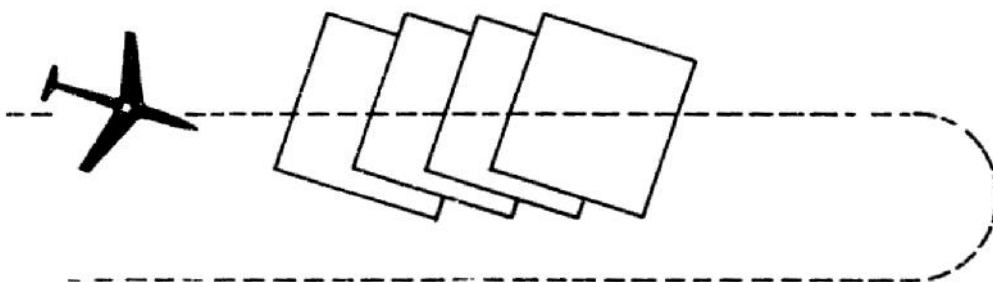


Figura 1.8 – Correção do rumo do avião sem correção da posição da câmara, provocando o desvio ("Crab")

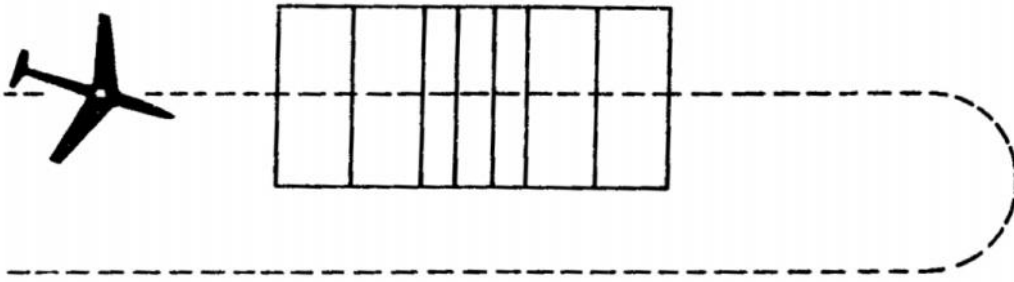


Figura 1.9 – Correção da orientação da câmara.



Figura 1.10 – Inclinação da fotografia aérea

As fotografias aéreas são tomadas de tal maneira que um mesmo objeto aparece em duas fotografias sucessivas, tiradas de ângulos diferentes. Com essas duas fotografias, faz-se chegar a cada olho uma imagem do objeto a ser estudado (Figura 10). Uma vez feita a fusão das duas imagens, obtém-se a percepção estereoscópica (3ª dimensão).

Cada posição do avião ao bater a foto corresponderá a cada um dos olhos e permitirá a visão estereoscópica, isto é, a visão do relevo da superfície fotografada. Cada jogo de duas fotografias, com essas características, é chamado estereopar. Conforme mostra a figura 11, o recobrimento horizontal (linha de vôo) é de 60% e o lateral é de 30%.

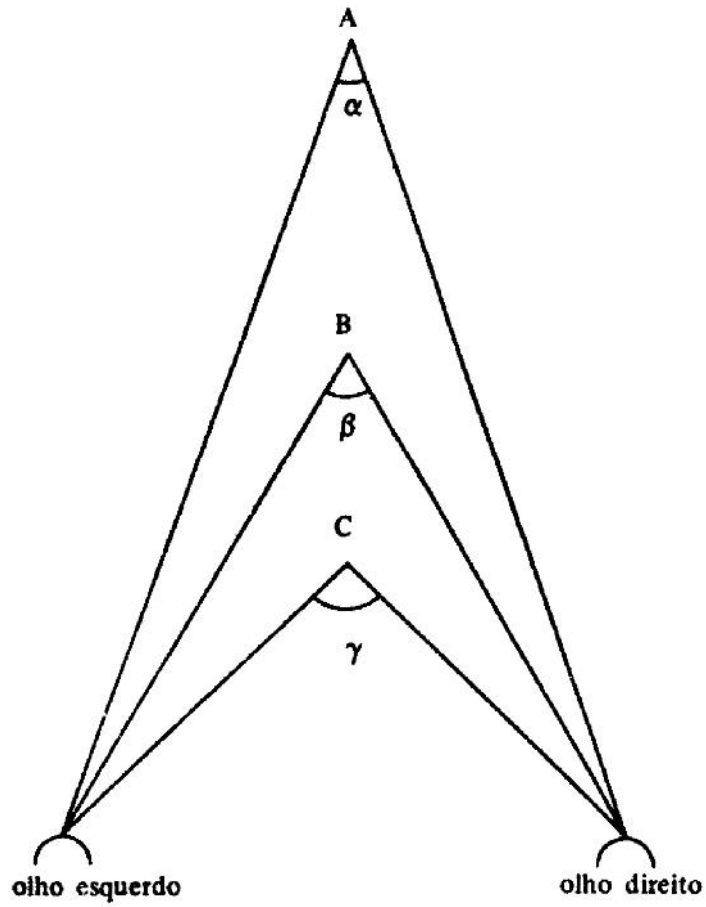


Figura 1.11 – Ângulos de visão dos objetos A, B e C.

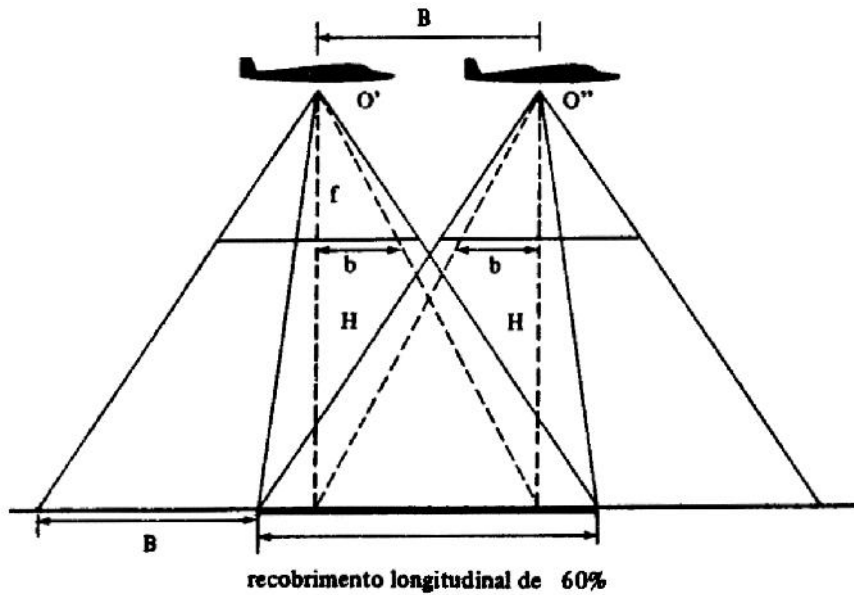


Figura 1.12 – Relações entre duas fotos com recobrimento longitudinal

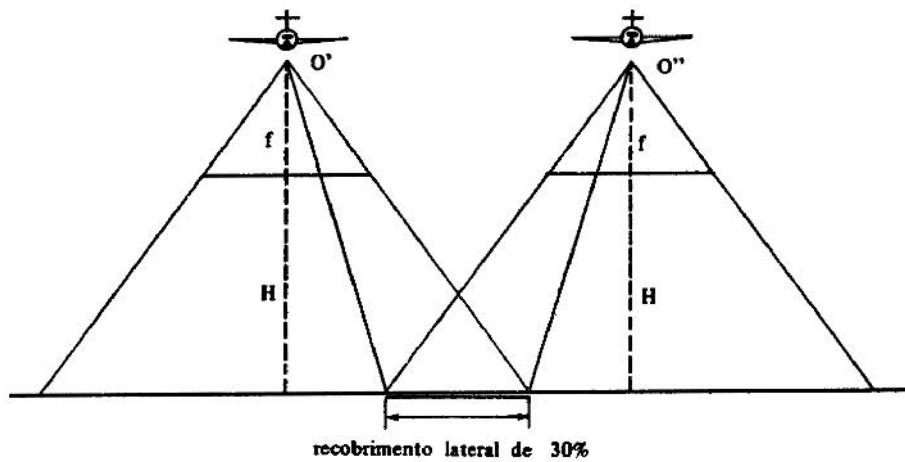


Figura 1.13 - Relações entre duas fotos com recobrimento lateral.

– **Métodos de Percepção Estereoscópica**

✓ *Visualização Anaglífica*

Um efeito bastante comum que pode ser produzido com um par estereoscópico de fotografias é o anaglífico. Este pode ser definido como a figura resultante da impressão ou projeção de um par estereoscópico em cores complementares (verde e vermelho) em superposição; de forma tal que a imagem vista em relevo ou em 3ª dimensão é obtida pela observação através de óculos com filtros nas ditas cores complementares.

✓ *Visualização Polaróide*

A visualização polaróide é usualmente obtida através do Vectógrafo. Este tipo de visualização em 3ª dimensão é obtido por meio da luz polarizada. Para a obtenção deste tipo de imagem, são feitas duas projeções correspondentes a duas imagens de um par estereoscópico de fotografias. Uma fotografia é iluminada e projetada numa tela polarizada, tendo um eixo de polarização vertical, a outra fotografia tem um eixo de polarização na horizontal, isto é, com 90° em relação ao outro. A imagem resultante é transformada numa simples impressão tridimensional.

– ***Imagem Estereoscópica (Estereograma)***

Um estereograma pode ser definido como um par estereoscópico de fotografias ou desenhos corretamente montado e orientado para uma observação estereoscópica. O conjunto pode ser fotografado novamente em branco e preto ou colorido e reproduzido.

– ***Escala dos Mapas e Fotografias***

A escala do mapa ou da fotografia é usualmente definida como a relação entre o comprimento de uma linha ou distância no mapa ou fotografia e a correspondente distância medida na Terra. É representada em termos de uma fração. Desde que a escala é expressa como uma relação com unidades de medidas similares, se a escala de um mapa ou fotografia é 1:5000; significa que 1 cm no mapa ou fotografia corresponde a 5000 cm na Terra (1 cm = 50 m).

• **Restituição**

Em áreas onde a superfície terrestre é plana, a escala das fotografias pode ser considerada como precisa para diferentes propósitos. Nesses casos, muitas vezes pode-se obter um mapa, fazendo-se uma cópia direta da fotografia; entretanto, não pode ser considerado como um mapa verdadeiro. Embora a fotografia aérea nos proporcione uma correta leitura de ângulos, as mudanças frequentes da escala horizontal nos impedem obter medidas precisas de distâncias. Assim, a alternativa é transferir os detalhes da fotografia para mapas planimétricos com escala uniforme. MAPA PLANIMÉTRICO é aquele que nos dá a posição horizontal correta de todas as características naturais e culturais do terreno. MAPA TOPOGRÁFICO é aquele que, além de nos dar a posição correta, nos dá a elevação das características naturais e culturais através das curvas de nível.

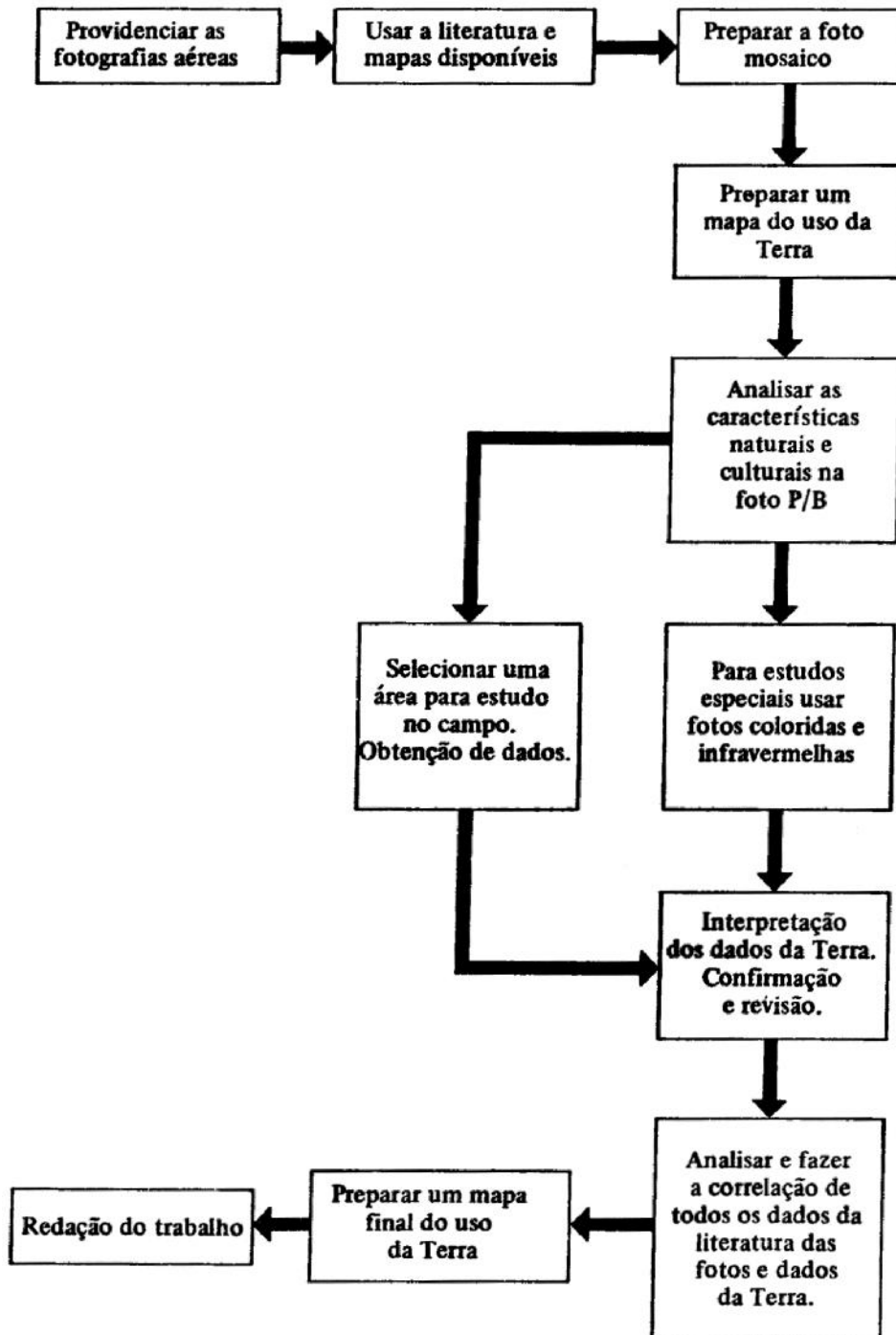


Figura 1.14 – Técnicas para investigação da superfície da terra

– *Reconhecimento de Campo*

Por maior que seja a capacidade do fotointérprete, uma visita à região, ou melhor, ao campo, permitirá a verificação da interpretação feita, a qual poderá ajudar no



estudo de outras similares. Se isso for feito por várias oportunidades, sem dúvida nenhuma desenvolverá cada vez mais seus conhecimentos.

– ***Identificação Topográfica***

O estudo do terreno é deveras importante para o fotointérprete. O terreno é que, em última análise, engloba o maior número de considerações no pronunciamento de uma decisão.

Deve ser feito o estudo da localização e condições de estradas, rios, represas, pontes, pântanos e outros aspectos importantes, tal como obstáculos, locais para ponto de apoio, etc..

Assim, as informações sobre o terreno devem conter esclarecimentos sobre:

- ✓ Forma do terreno
- ✓ Natureza do solo
- ✓ Vegetação
- ✓ Águas

O processo de estabelecimento da posição correta, em um mapa, das várias imagens fotográficas, executando as operações com a finalidade de corrigir os itens descritos acima, chama-se RESTITUIÇÃO.

O primeiro passo para efetuar a restituição será o de determinar uma rede, suficientemente densa, de pontos de controle planimétrico, isto é, de pontos facilmente identificáveis nas fotos e oportunamente dispostos, dos quais se conhece as exatas posições planimétricas do terreno. Depois de estabelecidos os pontos de controle e representados na FOLHA-BASE, na escala requerida, por meio de suas coordenadas, será possível transferir corretamente à folha os vários pormenores fotográficos de importância cartográfica.

Um levantamento completo no terreno, de tais pontos de controle, por meio dos métodos topográficos normais seria difícil, custoso e demorado. E, portanto, vantajoso aplicar um método de laboratório, por meio do qual, baseando-se em um número limitado de pontos de controle no terreno, seja possível estabelecer um número grande de pontos suplementares de controle.

O procedimento mais simples e mais comumente usado é da TRIANGULAÇÃO RADIAL GRAFICA.

– ***Mosaico***

Um mosaico aerofotográfico é a reunião de duas ou mais fotografias, recortadas e sistematicamente coladas para formar uma vista geral da área que foi fotografada. O mosaico dá a aparência de uma simples fotografia, mostrando entretanto toda área coberta. Os mosaicos são particularmente usados em estudos de recursos naturais. Áreas com depósitos de materiais usados em construção, tais como pedra, areia, cascalho e madeira, são freqüentemente determinadas através de estudos feitos em mosaicos.

Os mosaicos podem ser convenientemente agrupados em duas categorias gerais: controlado e não controlado. O mosaico controlado é uma reunião de fotografias retificadas, pela ajuda dos pontos de controle e triangulação radial. Com a precisão requerida das fotografias retificadas; todos os erros são eliminados e medidas reais podem ser obtidas diretamente sobre o mosaico. Com um mosaico não controlado, os detalhes das fotografias são acertados sem a ajuda dos pontos de controle e da triangulação radial. Neste caso somente a área central de cada fotografia deve ser usada. A escala do mosaico não controlado não é uniforme, de maneira que não devem ser feitas medidas de distâncias sobre os mesmos.

– ***Fotointerpretação***

Os objetos são reconhecidos usando-se descrições como: forma, tamanho, sombra, tonalidade, textura e posição topográfica. Os dados assim coletados são

analisados usando-se os fatos observados através de uma hipótese formulada e finalmente chega-se à significância.

Em certas atividades da fotointerpretação é de grande importância, distinguir-se e contar-se o número de determinado objeto. Para estudos sobre o tráfego deve-se contar o número de automóveis; no caso de um inventário florestal deve-se contar o número de árvores, bem como em operações militares deve contar o número de navios ou tanques. Como regra geral os objetos construídos pelo homem, tendo certa uniformidade (por exemplo, postes telefônicos) são mais facilmente identificados e contados do que características naturais com o mesmo tamanho (por exemplo, contar o número de árvores numa densa floresta).

As cartas constituem a base para o estudo do terreno, mas devem ser verificadas pelo reconhecimento aéreo, fotografias aéreas e reconhecimento terrestre. Mudanças no terreno ocorrem continuamente, em particular na rede rodoviária e na vegetação. Acidentes do terreno, tais como cristas, cursos d'água, florestas e cidades, dividem praticamente todo o terreno em zonas mais ou menos distintas. Tais zonas consistem freqüentemente em depressões compreendidas entre duas elevações ou espaços limpos entre duas florestas.

#### – *Forma do Terreno*

Quando se estuda o terreno, deve-se abordar a configuração do solo e seu conjunto, orientação geral das serras, forma, altitude e declive das elevações, trechos não montanhosos ou planos.

#### ✓ *Elementos*

Pode-se considerar a superfície topográfica, por mais complexa que seja, como um conjunto de elementos pouco numerosos, dos quais o mais simples é a vertente, que nada mais é do que o próprio terreno em declive. É comparável a um plano, embora seja de fato acidentada, ora por pequenas depressões por onde descem as águas, ora por partes salientes resultantes da maior resistência local à erosão.

✓ *Tipos de vertentes*

Há três tipos:      Plana ou Uniforme  
                                  Côncava  
                                  Convexa

Tabela 1.3 – Tipos de vertente

<b>VERTENTE</b>	<b>DECLIVIDADE</b>	<b>CURVAS DE NÍVEL</b>
<i>Plana</i>	Constante	Igualmente espaçados
<i>Côncava</i>	Diminui à medida que a encosta desce	Próximas no cume e afastados na parte baixa
<i>Convexa</i>	Aumenta à medida que a encosta desce	Espaçadas no cume e próximas na parte baixa

– *Ligações*

De três maneiras se pode, em geral, ligar duas vertentes: pela parte superior; pela parte inferior e; lateralmente.

✓ *Ligações pela parte superior*

Quando se ligam pelas suas partes superiores, formam uma linha de crista ou cumeada ou de divisão de água.



Figura 1.15 - Crista ou cumeada. Divisor de águas.

✓ *Ligações pela parte inferior*

Quando duas vertentes se ligam pelas suas partes inferiores, formam um talvegue ou linha de reunião das águas (Figura 16).



Figura 1.16 – Talvegue formado por 2 cristas.

✓ *Ligações pelas partes laterais*

Lateralmente, duas vertentes se ligam, ora em ângulo diedro convexo, ora em côncavo (Figura 1.16).

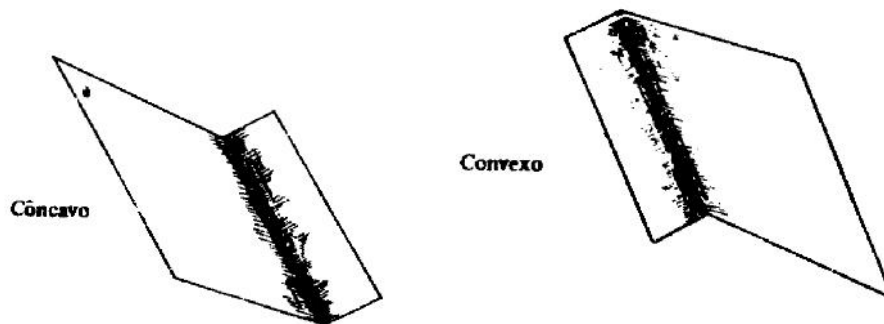


Figura 1.17 – Ligações pelas partes laterais

O primeiro desses modos provoca três formas, conseqüentes da combinação dos elementos comuns das vertentes originárias. Se as vertentes têm inclinações rápidas e uniformes provocando na sua representação curvas de nível cuneiformes, graças a um ângulo diedro pequeno por elas formado, tem-se um espigão (Figura 1.18).

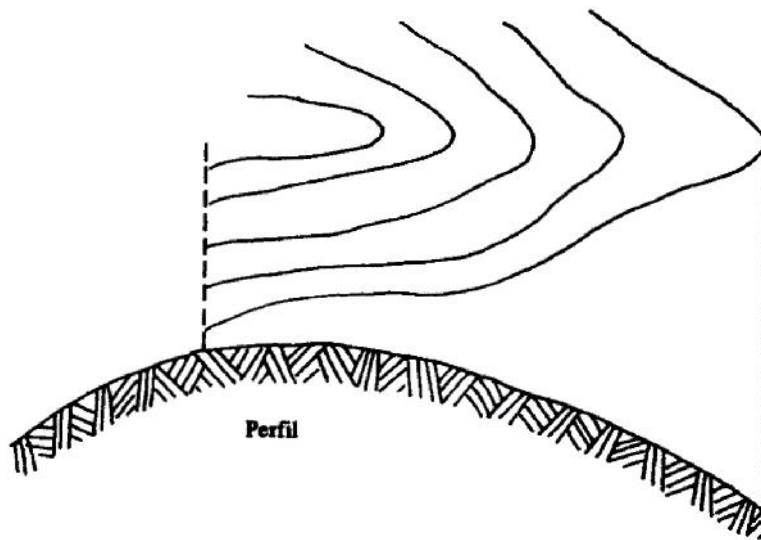


Figura 1.18 – Curvas de nível (Espigão)

Se elas são mais ou menos recortadas ou dobradas, ligando-se por uma crista abaulada, quando as curvas de nível acusam o mesmo arredondamento, tem-se o que mostra a Figura 18 (garupa).

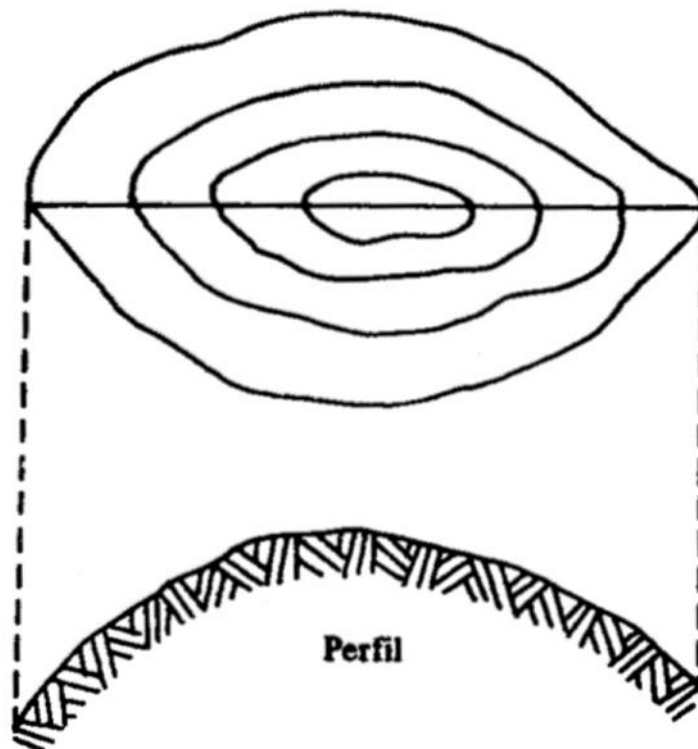


Figura 1.19 – Curvas de nível (Garupa)

Finalmente, se a linha de crista resultante da união das vertentes se apresenta com uma inflexão acusando uma elevação ou um cume mais ou menos pronunciado, tem-se o esporão (Figura 1.20).

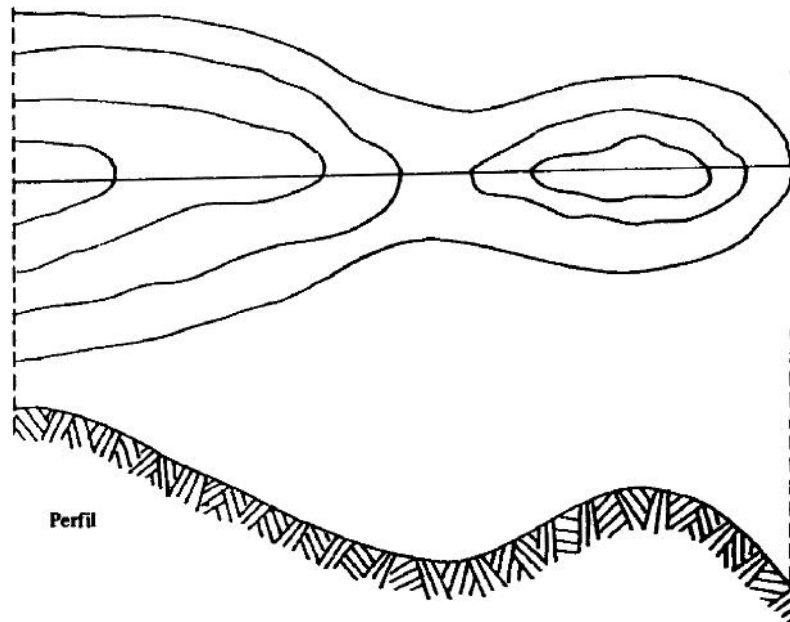


Figura 1.20 – Curvas de nível (Esporão)

Se as vertentes se ligam lateralmente mas, em ângulo diedro côncavo, provocam uma linha de reunião de águas, um verdadeiro sulco, mais ou menos profundo na encosta de uma elevação. É a *ravina* ou *grotá*.

– ***Formas Simples ou Elementares***

✓ *Elevações e Depressões*

Do exame de conjunto das formas que constituem o modelado atual da superfície da Terra verifica-se de modo geral que há duas formas elementares ou fundamentais: elevações e depressões, das quais, pela sua combinação, resultam as formas compostas ou derivadas.

As elevações são distinguidas graficamente das depressões pelo fato das curvas de nível de menor valor envolverem as de maior valor no primeiro caso e vice-versa no segundo (Figura 1.21).

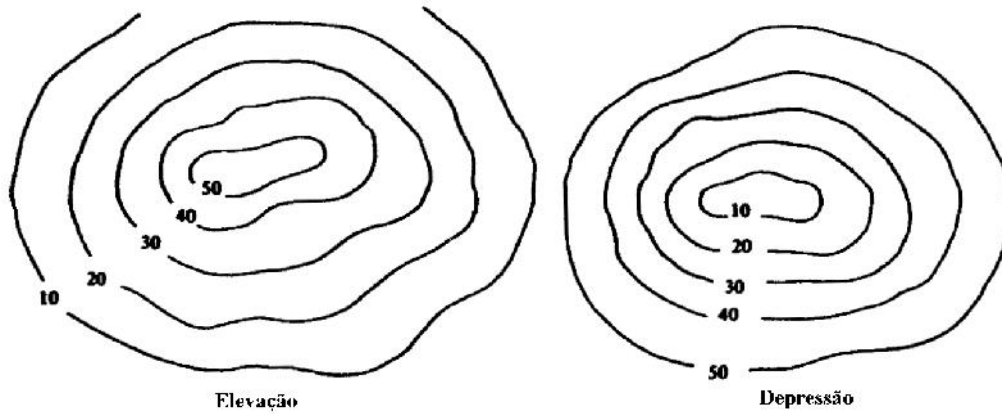


Figura 1.21 - Representação de uma elevação e uma depressão

A nomenclatura do terreno entre duas elevações, conforme sua extensão longitudinal e transversal, é *desfiladeiro*, *corredor* ou *garganta*.

O *desfiladeiro* é a passagem mais ou menos longa cujas vertentes apresentam fortes elevações, de acesso bastante difícil (Figura 1.22).

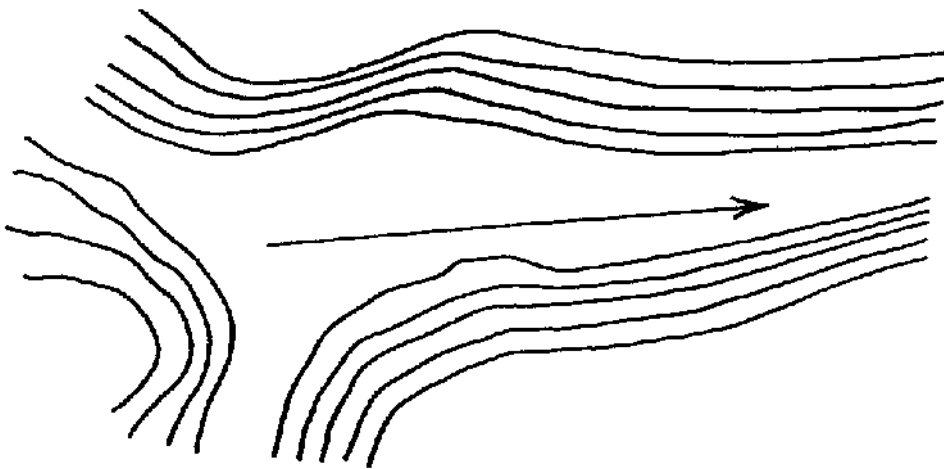


Figura 1.22 – Representação de um desfiladeiro



O *corredor* é caracterizado por uma passagem de extensão apreciável, sendo que as elevações que formam podem ou não ser acessíveis (Figura 1.23).

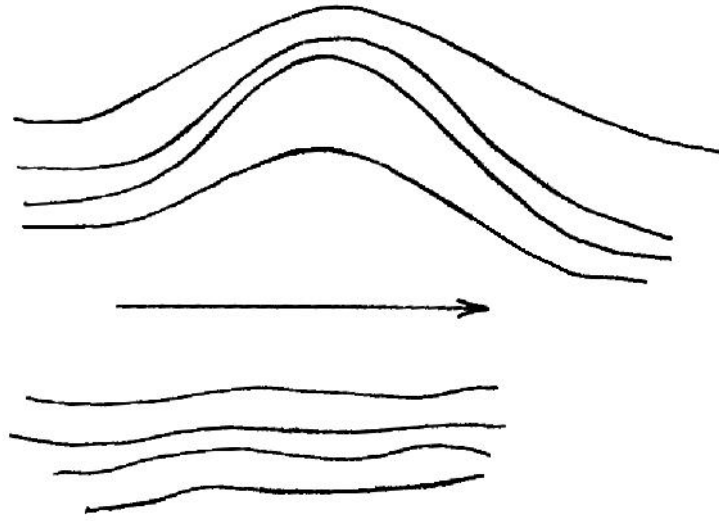


Figura 1.23– Representação de um corredor

Denomina-se garganta uma passagem curta e estreita. Convém notar que essas passagens, na acepção topográfica, permitem a comunicação de uma vertente para outra.

– ***Formas Compostas ou Derivadas***

- ✓ *Colina* - são elevações suaves e isoladas do terreno (Figura 1.24).

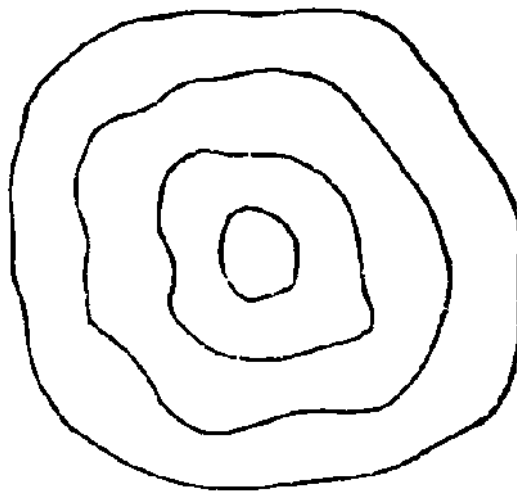


Figura 1.24– Representação de uma colina

✓ *Montes* - são elevações consideráveis e isoladas do terreno, geralmente abruptas e sem vegetação na parte superior, destacando-se dos solos vizinhos (Figura 1.25).

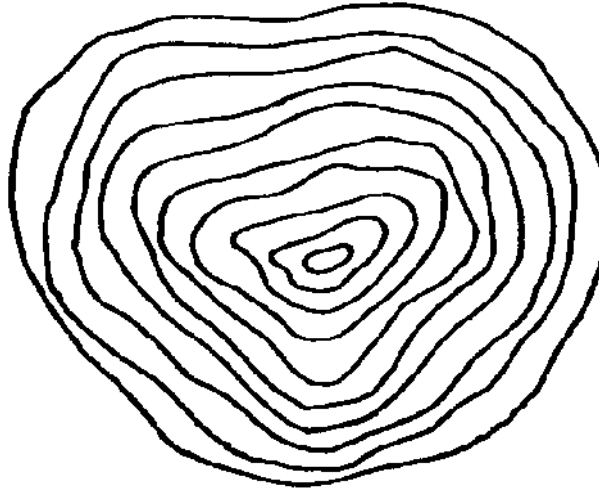


Figura 1.25– Representação de um monte

✓ *Morros* - são elevações de vulto mais modesto (300 a 700 metros de altura) tendo a parte superior quase sempre arredondada.

✓ *Outeiro* - de menor porte que a colina (nunca excede 200 metros). Sua forma se assemelha à colina, mas sua característica é apresentar-se isolada nas planícies ou nos planaltos.

#### – ***Tonalidade Fotográfica***

A tonalidade fotográfica é a quantidade de luz refletida por um objeto e registrada numa fotografia preto e branco. Os tons nestas fotografias são gradações do cinza, incluindo-se o preto e o branco, e o olho humano tem uma boa habilidade de distinção. A tonalidade depende não só do relevo e teor de umidade do material superficial, como também de fatores fotográficos, como combinação de filme e filtro, exposição e processamento fotográfico, dependendo ainda de fatores meteorológicos como névoa, ângulo do sol e sombras.

A despeito dos muitos fatores que podem alterar a tonalidade, esta é um elemento útil de interpretação. Por exemplo, estudando-se o padrão de fraturamento de

uma área e sabendo-se que ao longo das fraturas cresceu uma vegetação de grande porte (devido ao maior teor de umidade), a tonalidade correspondente constitui-se numa informação importante. Utilizando-se a tonalidade da vegetação como característica diagnóstico, estudos comprovaram que as informações são mais significativas para fotografias em escala pequena, quando se considera a tonalidade da vegetação como um todo, e não em árvores individuais.

Solos que possuem um maior poder de retenção de água, são mais argilosos e com maior teor de matéria orgânica. Na fotografia aérea, estes solos aparecerão mais escuros, tornando-se fácil a demarcação dos limites entre solos.

Outro elemento de influência é a própria cor do solo. As cores naturais dos solos se situam entre o vermelho e o amarelo, e entre o branco e o preto. Assim, o vermelho, vermelho-amarelo, amarelo, branco, cinza e preto são registrados em tons cinza diferentes, por refletirem a luz diferentemente.

#### ✓ *Cor*

O filme colorido aumenta em muito as possibilidades do processo fotointerpretativo. Pesquisas mostraram que o olho humano é capaz de distinguir mais de 2000 combinações diferentes entre cores, contra 200 tons diferentes de cinza do filme preto e branco, de onde se conclui que o filme colorido permite a identificação de um maior número de detalhes.

No estudo da vegetação, a cor apresenta-se como um dos elementos mais importantes. A aparência das plantas (e das superfícies vegetais) depende de sua interação com a radiação, sendo influenciada pela geometria das folhas, morfologia, fisiologia, composição química, solo e clima. Como já constatado, as folhas coriáceas refletem menos que as folhas suculentas e dentre os fatores internos a afetar a reflexão tem-se: variação na pigmentação, variação nas células do mesófilo, variação no teor de água e variação na epiderme das folhas. Na região do visível, as folhas apresentam uma baixa refletividade não diferenciada. Esta refletividade cresce com o aumento do comprimento de onda, apresentando já na região do infravermelho, uma sensível distinção. Esta distinção deve-se à quantidade de clorofila. Com exceção do vermelho,

o verde, o amarelo e o infravermelho são refletidos do mesófilo, emergindo da folha e conferindo-lhe a cor verde característica. A reflexão no verde é geralmente baixa (10 a 20%), mas devido à grande sensibilidade do olho humano para o verde, vê-se esta cor com grande precisão.

✓ *Textura*

A textura fotográfica é uma característica muito própria no estudo da vegetação, permitindo a partir desta, inferências sobre geologia e solos. Em uma área coberta de árvores, em fotografias de escala grande, as folhas das árvores contribuem para a textura dos ramos que são individualmente perceptíveis; em fotografias com escala intermediária, os ramos contribuem para a textura da árvore e em fotografias de escala pequena, as árvores contribuem para a textura da floresta.

Depósitos de cascalho, com ou sem vegetação, podem ser identificados e delimitados pela textura característica. Rochas ígneas intrusivas têm quase sempre textura notável devido ao cruzamento de muitas fraturas, quase sempre presentes. Superfícies de corrida de lavas podem diferir entre si pela textura, permitindo distinção entre vários derrames.

– *Padrão*

O padrão diz respeito ao arranjo espacial ordenado de aspectos geológicos, topográficos ou de vegetação. Para a fotointerpretação, o padrão refere-se à visão plana bidimensional dos elementos fotográficos. Quando os elementos de reconhecimento do padrão se tornam muito pequenos (fotos de escala pequena), passam a constituir uma textura fotográfica.

Padrões originários de distribuições especiais, apresentando-se como linhas retas ou levemente curvas, são freqüentemente de significação estrutural, e podem representar falhas, juntas, diques ou estratificação. As lineações são também ilustrações de padrão, que se originaram de um arranjo ordenado de segmentos de rios, árvores, depressões, etc., e podem se apresentar paralelas, cruzadas, convergentes, radiais, contínuas, descontínuas, etc..

Os blocos, são representados pelos padrões de vegetação, e podem ser "ordenados" (cafezal, pomares, eucalipto, etc.), "ao acaso" (vegetação natural), "maciços" (florestas, cerrado), "descontínuos", etc..

A drenagem talvez seja um dos elementos mais importantes do padrão, e vem a ser o modelamento da superfície do terreno sob ação das águas. Outros fatores que influenciam a drenagem são: relevo, manto vegetal, textura do solo, litologia e estrutura das rochas. Materiais relativamente impermeáveis (argilas, folhelhos), devido à textura fina, oferecem resistência à infiltração, favorecendo o deflúvio, criando um padrão de drenagem relativamente denso. Materiais relativamente permeáveis (conglomerados, arenitos), devido à textura grosseira, favorecem a infiltração, criando um padrão de drenagem pouco denso.

A rede de drenagem poderá estar submetida ao controle da estrutura subjacente e tipo de rocha, podendo revelar assim a atitude dos corpos rochosos e a disposição e espaçamento dos planos da fraqueza. Os cursos d'água, no entanto, podem estar sob influência da espessura e qualidade do material exposto. Nesse caso pode-se observar uma regra prática, com boa margem de aproximação. Para estudo de solos consideram-se, na rede de drenagem, canais até 3ª ordem e para estudos geológicos, canais de quarta ordem em diante. Segue-se, neste caso, a notação proposta por Horton, que considera os tributários menores e não ramificados como sendo de 1ª ordem, onde a união de dois canais de 1ª ordem daria um de 2ª e assim por diante. Neste caso, o rio principal teria a ordem mais elevada (Figura 1.26).

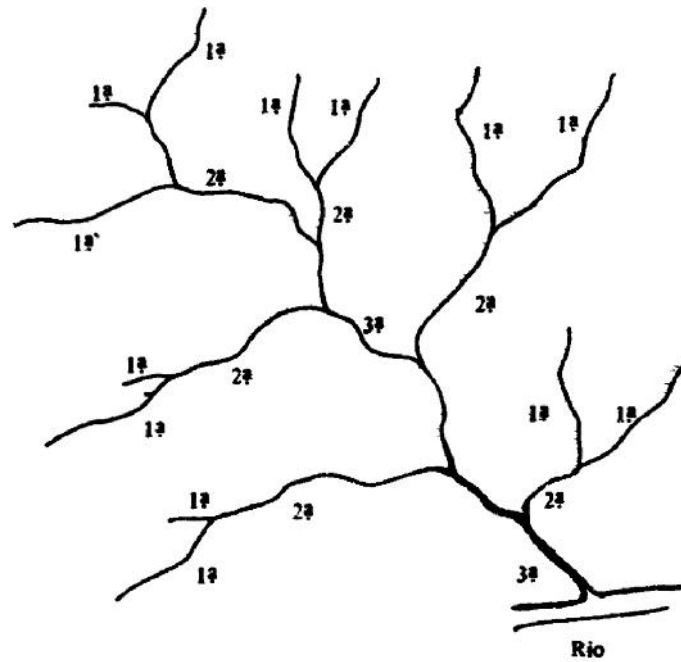


Figura 1.26– Notação da rede de drenagem, segundo proposição de Horton.

Modelo de drenagem seria o arranjo planimétrico dos cursos d'água, sugerindo uma tendência de arranjo. O estudo do modelo de drenagem é bastante útil embora seja difícil estabelecer regras generalizadas. Existem seis tipos básicos de modelos de drenagem: dendrítico, treliça, radial, paralelo, anular e retangular, como pode ser observado na figura 1.26. O modelo dendrítico se forma na presença de rochas que oferecem resistência uniforme na horizontal. O material pode ser constituído de depósitos inconsolidados ou de rochas compactas sedimentares, ígneas ou metamórficas e a estrutura pode ser simples ou complexa.

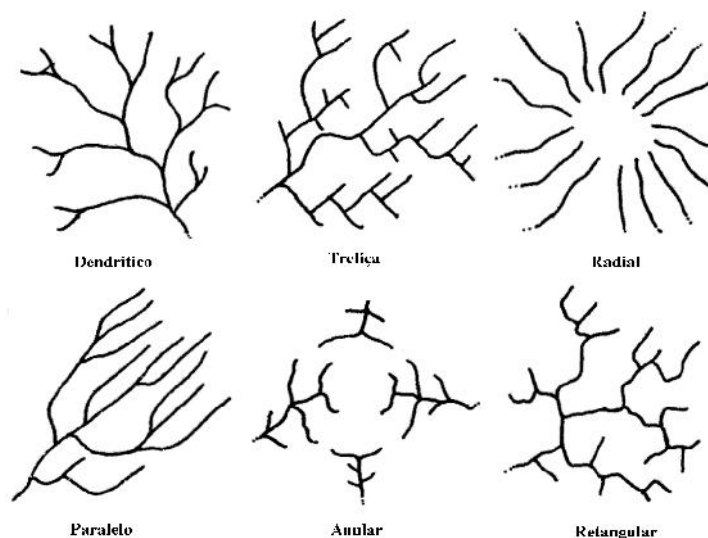


Figura 1.27– Padrões básicos de drenagem

– ***Forma***

A forma, como elemento de reconhecimento pode ser considerada como uma expressão topográfica ou de contornos. Na interpretação geológica, teria significância num sentido amplo, envolvendo o relevo ou expressão topográfica. A aparência é importante para identificar formas fisiográficas construcionais, tais como cones vulcânicos, dunas, terraços fluviais, depósitos glaciais e dobras alternadas. Em áreas submetidas a uma erosão pelas águas, em um determinado tempo, as rochas mais resistentes permaneceriam nas partes altas, e as menos resistentes estariam ocupando uma posição inferior.

Os sinais de erosão podem fornecer informações importantes para interpretação da classe textural, permeabilidade, profundidade, estratificação de camadas e outros atributos do perfil do solo. A utilidade das características da erosão na fotointerpretação envolve um primeiro lugar a forma dos perfis transversais, embora os perfis longitudinais ofereçam informações adicionais. Solos de textura grosseira apresentam no geral sulcos de secção transversal em forma de V e gradientes longitudinais curtos e abruptos. Solos de textura média apresentam sulcos de perfil transversal em forma de V bem aberto, fundo plano, raso e com gradiente longitudinal suave e uniforme. Solos argilosos mostram sulcos com secções transversais em forma de U bem aberto e gradientes longitudinais suaves.

Em termos gerais de fotointerpretação, apresentam formas características: 1) Cursos d'água - Linhas sinuosas contínuas de trajeto irregular que, segundo suas dimensões e escala da fotografia, podem apresentar ou não espelho d'água. Geralmente os cursos tributários atingem a principal, formando um ângulo cujo vértice aponta o sentido da corrente; 2) Pântanos e alagadiços - Áreas com predominância de contornos curvilíneos, geralmente associadas com cursos d'água; 3) Vegetação natural - Áreas de contornos irregulares e de aspecto variável, segundo o tipo e a idade; 4) Culturas - Formas retangulares ou em faixas, de aspecto variável segundo a idade.

– ***Vegetação e Uso da Terra***

Os padrões de vegetação referem-se ao complexo vegetal desenvolvido numa área. Inclui-se aqui a vegetação natural e as terras com cultura. Quanto à vegetação natural, as matas altas localizam-se em solos profundos e de boa fertilidade, passando pelos cerrados e chegando até os campos limpos, predominante em solos arenosos (Regossolos). Em terrenos cultivados, pode-se distinguir os solos profundos e bem drenados pela presença de pomares e os solos hidromórficos pela presença de hortaliças.

– ***Interpretação Litológica***

✓ Rochas Sedimentares

No caso das rochas sedimentares consolidadas, por causa da resistência diferencial à erosão das camadas sedimentares, pode-se perceber nas fotografias os padrões típicos em nervuras. Isto decorre do fato de que as camadas mais resistentes são deixadas em destaque e as menos resistentes são rebaixadas em virtude do intemperismo.

Quanto aos tipos de rochas, pode-se distingui-los principalmente pelas variações de cor e resistência à erosão. Cores vermelhas, amarelas ou marrons, são comuns em arenitos e folhelhos e aparecem nas fotografias pancromáticas em diferentes tons de cinza. Folhelhos e argilitos, se contiverem quantidades apreciáveis de matéria orgânica, aparecerão em tonalidades escuras. Os calcários apareceram em tons cinza claro ou até brancos, bem como as areias soltas e alguns arenitos.

✓ Rochas Ígneas

Quanto às rochas extrusivas, apenas os derrames relativamente indeformados são facilmente identificáveis nas fotografias. Se os derrames forem fortemente empinados, dobrados ou de qualquer modo perturbados, o reconhecimento e a interpretação tornam-se muito difíceis. Estas rochas quase sempre possuem formas fisiográficas diagnósticas. Os derrames basálticos podem mostrar tons escuros nas fotografias pancromáticas, e cores vermelhas nas fotografias coloridas.



As rochas intrusivas são de reconhecimento mais difícil, e são identificadas principalmente por outros critérios de reconhecimento, como a drenagem, textura e a grande variedade de relações estruturais com as rochas circundantes.

✓ Rochas Metamórficas

Grande parte do território brasileiro é formado por rochas metamórficas, e por serem de difícil interpretação, são as menos estudadas do ponto de vista aerofotográfico.

– *Interpretação Estrutural*

✓ Camadas Horizontais

Camadas quase horizontais ou planas podem ser reconhecidas com facilidade, quando diferentes tipos de rocha sedimentar exibem tons fotográficos ou cores diferenciáveis. Existindo rochas resistentes associadas com rochas não resistentes, as características de inclinação são quase sempre sugestivas de estratos horizontais. As rochas resistentes mostram encostas íngremes, e as menos resistentes apresentam ângulos menores de inclinação.

A drenagem das camadas planas ou quase horizontais é quase sempre dendrítica, desde que não haja controle de juntas ou falhas. Isto decorre da resistência uniforme à erosão, particularmente no sentido horizontal. A drenagem dendrítica no entanto sozinha não é suficiente para caracterizar rochas sedimentares dispostas em plano, visto que outros tipos de rochas, também com resistência uniforme à erosão, podem apresentar drenagem semelhante.

✓ Camadas Inclínadas

As fotografias aéreas podem mostrar numerosas expressões de mergulho de camadas sedimentares. Nas áreas cobertas com mata alta, a direção do mergulho frequentemente se destaca em consequência da visão de conjunto proporcionada pela fotografia aérea. Nas áreas onde os mergulhos são muito fracos, o exagero vertical proporcionado pelos estereoscópios permite rápida interpretação.

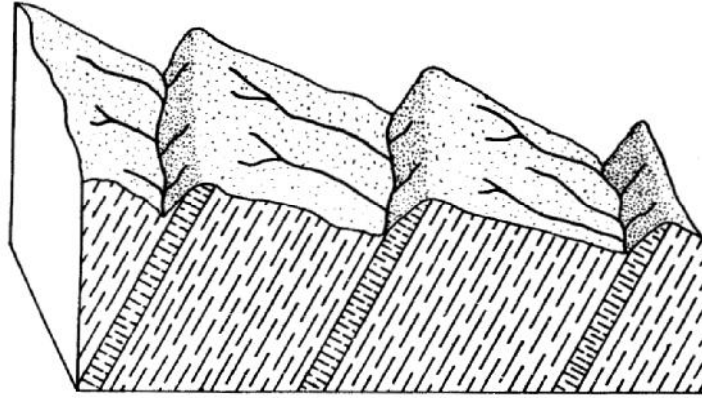


Figura 1.28– Drenagem segundo o mergulho das camadas. Tributários longos na vertente e mergulhos fortes.

Nas áreas de relevo suave, onde as camadas são mascaradas por material superficial ou vegetação, pode-se diagnosticar a direção do mergulho pelas características da drenagem. Onde os mergulhos são suaves, os rios tributários longos correm pelos declives estruturais abaixo, enquanto que os tributários curtos correrão pelos taludes de revés, conforme mostra a figura 1.29. No estudo de uma região a elaboração de um mapa básico de drenagem em um templeto fornecerá informações suficientes para se fazer uma análise da direção do mergulho baseada nas características dos cursos de água.

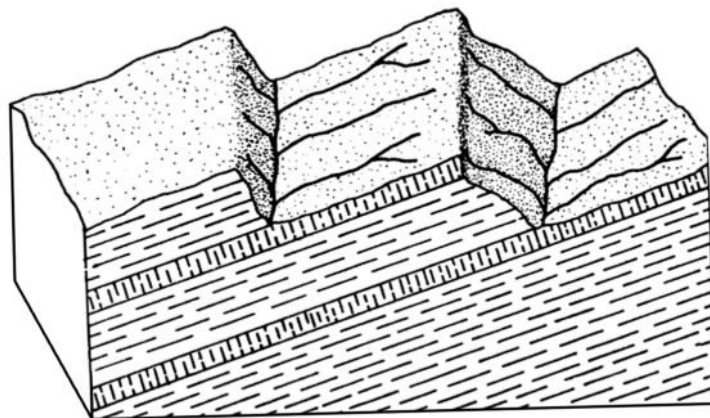


Figura 1.29– Drenagem segundo o mergulho das camadas. Tributários longos na vertente e mergulhos suaves.

Quando uma dobra se mostra bem exposta, é possível identificá-la facilmente. Nas regiões áridas ou semi-áridas, onde o manto de intemperismo e a vegetação são escassos, esta ocorrência é comum. No entanto, mesmo em locais cobertos por solos ou vegetação, é possível identifica-las, correlacionando entre si os vários indícios de

estratificação e de atitude das camadas, reveladas principalmente pelo estudo do relevo topográfico.

Características da drenagem auxiliam também na fotointerpretação. Assim, rios que correm em vales sinclinais são lentos e meândricos, e, ao contrário, rios que correm em vales anticlinais, apresentam-se mais entalhados e menos sinuosos.

#### ✓ Falhas

Normalmente o levantamento das falhas, é, mais facilmente realizado a partir de fotografias aéreas que no terreno, principalmente pela visão de conjunto proporcionada pelas fotografias. As falhas de ângulo aberto (plano de falha quase vertical) são mais facilmente diagnosticadas que falhas de ângulo fechado (quase horizontal).

As linhas indicativas de falhas podem caracterizar-se por alinhamento da vegetação, trechos retos de cursos de água, quedas de água através dos rios, mudanças na tonalidade fotográfica e cor do solo, mudança na textura da drenagem, mudança na tonalidade da vegetação ao longo de um acidente linear, alinhamento da topografia.

Discordância de estruturas dentro de diferentes tipos de rocha, associada com traços fortemente curvos ou irregulares do contacto de falha, oferece o melhor indício de falhas de ângulo fechado.

#### ✓ Juntas

Da mesma maneira que as falhas, as juntas normalmente aparecem nas fotografias aéreas com os acidentes lineares. Nas rochas sedimentares dispostas horizontalmente, ou suavemente dobradas, as juntas são inclinadas fortemente ou quase verticais, igual ou regularmente espaçadas. Aparecem nas fotografias aéreas como linhas interceptando-se quase em ângulo reto, embora as juntas se possam desenvolver numa única direção.

Em rochas elásticas de granulação fina, as juntas são em geral mais próximas, do que nas de granulação grosseira. As juntas podem se alargar devido ao

intemperismo e aparentar acidentes lineares distintos, podendo se confundir com as falhas.

Juntas em rochas ígneas são facilmente identificadas em fotografias aéreas, visto que com frequência se desenvolvem de 3 a 4 séries de juntas bem nítidas. As juntas em rochas metamórficas não são tão evidentes nas fotografias, principalmente para aquelas formadas previamente em rochas ígneas e sedimentares. Neste caso elas podem ser destruídas pela grande quantidade de energia envolvida no processo metamórfico.

#### ✓ Clivagem e Foliação

A clivagem e foliação apresentam-se com grande predominância nas rochas metamórficas. É difícil a diferenciação em fotografias aéreas.

#### ✓ Discordâncias

Na ausência de características diagnóstico, torna-se bastante difícil o estudo de discordâncias a partir de fotografias aéreas.

### **1.2.2 Sensores Imageadores**

Os imageadores são dispositivos eletro-ópticos que coletam a radiação eletromagnética proveniente da superfície, segundo um padrão geométrico regular; decompõem essa radiação através de prismas, grades de difração, filtros, detectores registram as intensidades em diferentes intervalos espectrais e usam esses valores para modular sinais. Sendo assim, os problemas de resolução geométrica estão subordinados à óptica do sistema e ao tempo de resposta dos detectores, e a resolução espectral é função do tipo de detector e de capacidade espectral. Grande parte das atividades atuais de sensoriamento usam imageadores como no caso do LANDSAT e SPOT.

Um problema comum para estes sistemas é a necessidade de uma fonte externa de radiação, o sol. Com isto, estes sensores estão limitados a operar em determinados

períodos do dia e estão muito sujeitos a condições atmosféricas, especialmente cobertura de nuvens. Os sensores de radar e a laser, por serem ativos (emitem e recebem o sinal), não precisam da luz solar.

- ***Sistemas Orbitais***

Apesar de existirem as plataformas terrestres (radiômetros de campo) e aéreas (câmaras fotográficas ou sensores em aviões e helicópteros), tratar-se-á com ênfase dos Sistemas Orbitais, ou seja, aqueles que adquirem dados através de sensores a bordo de satélites artificiais. Estes sistemas podem ser divididos, segundo suas aplicações, em três tipos: satélites meteorológicos, satélites de aplicação híbrida e satélites de recursos naturais.

- Satélites Meteorológicos

Os satélites meteorológicos são satélites de órbita geoestacionária, localizados em órbitas altas (36.000 Km acima da Terra) no plano do Equador, deslocando-se com a mesma velocidade angular e direção do movimento de rotação da Terra. Devido a isso, seus sensores coletam dados constantemente de uma mesma área da superfície terrestre. Têm-se como exemplos os satélites GOES – *Geostationary Operational Environmental Satellite*, operado pelo NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration* e METEOSAT – *Meteorological Satellite*, operado pela ESA – *European Space Agency*.

Os satélites de aplicação híbrida possuem esta classificação justamente por trabalharem com aplicações meteorológicas, oceanográficas e terrestres. Possuem órbitas polares, síncronos com o sol, ou seja, sua velocidade de deslocamento perpendicularmente ao plano do Equador é tal que sua posição angular com relação ao sol é constante ao longo do ano, possibilitando passar pela mesma região sempre no mesmo horário.

Dentre estes satélites, o mais importante é o NOAA, pertence a uma família de satélites projetada para adquirir informações meteorológicas. Ele permite a aquisição de uma imagem a cada 6 horas. Encontra-se inserido numa órbita com altitude que varia de 830 a 870 Km, com uma largura de faixa imageada de aproximadamente 2700 Km.

Estudos ambientais, como situação da camada de ozônio, chuvas ácidas ou alerta de acidentes como tufões, maremotos e furacões, podem ser feitos por este satélite. São os que possuem mais sistemas disponíveis. Devido à órbita quase polar, recobrem grande parte da totalidade da terra.

Os principais sistemas disponíveis são:

- Sistema LANDSAT

O LANDSAT 7 FOI lançado em 1999; com os sensores *ETM+* (*Enhanced Thematic Mapper*) e PAN (pancromático), operando com sete canais multispectrais e um canal PAN, respectivamente. A banda PAN consegue resoluções espaciais de até 15 m, possibilitando escalas de até 1:25.000. Os satélites LANDSAT 5 e 7 encontram-se a uma altura de 705 Km.

A operação do satélite em órbita é administrada pela NASA - *National Aeronautics and Space Administration* e a sua produção e comercialização de imagens fica sob os cuidados da USGS - *United States Geological Survey*. No Brasil, o INPE e algumas empresas privadas comercializam as imagens do LANDSAT 4, 5 e 7. Estas cenas cobrem uma área de 185 X 185 Km (34.225 Km<sup>2</sup>). Cada banda representa a resposta em uma certa faixa espectral. Uma foto em preto e branco é feita com uma banda, enquanto que uma foto colorida é feita com 3 bandas de acordo com as características a serem realçadas.

Para facilitar a identificação das imagens enviadas pelo satélite, foi definido internacionalmente um sistema de referência, conhecido como WRS - *World Reference System*. -, que nada mais é do que uma grade, espaçada de uma cena, recobrimdo o globo.

O mapa de referência WRS está coberto por pequenos círculos vermelhos, que representam os cruzamentos da grade WRS. Cada cena do satélite é centrada nestes cruzamentos. Os cruzamentos são identificados por números: *o número da órbita - base (ou simplesmente base) e o número do ponto*.

As imagens nem sempre mostram completamente a área, caso existam nuvens recobrimdo a região. A classificação de cada imagem é feita pela porcentagem de

nuvens que a recobrem. Uma cena livre de nuvens tem cobertura zero, enquanto que outra totalmente tomada pelas nuvens tem cobertura de 100% ou cobertura total.

A Tabela 1.4 apresenta as principais características e aplicações das bandas do LANDSAT.

O INPE recomenda as seguintes combinações para fotos coloridas:

**Bandas 1, 2 e 3:** imagens em cor natural, com boa penetração de água, realçando as correntes, a turbidez e os sedimentos. A vegetação aparece em tonalidades esverdeadas.

**Bandas 2, 3 e 4:** definem melhor os limites entre o solo e a água, ainda mantendo algum detalhe em águas profundas, e mostrando as diferenças na vegetação, aparece em tonalidades de vermelho.

**Bandas 3, 4 e 5:** mostram mais claramente os limites entre o solo e água, com a vegetação mais discriminada, aparecendo em tonalidades de verde-rosa.

**Bandas 2, 4 e 7:** mostram a vegetação em tons verdes e permitem discriminar a umidade, tanto na vegetação como no solo.

O mapeamento temático a partir de cada uma dessas bandas depende ainda das características da área de estudo (região plana ou acidentada); época do ano (inverno ou verão); ou de variações regionais (Nordeste, Sudeste, Sul, Amazônia, Pantanal). Os trabalhos de interpretação das imagens tornam-se mais fáceis quando o foto-intérprete tem conhecimento de campo.

Vale lembrar, que no caso do LANDSAT 7, pode-se fazer a combinação de 3 bandas multispectrais com a precisão da banda PAN, resultando em imagens sintéticas conhecidas como *Imagens de Fusão ou Merge*, com relevante ganho em termos de extração de informações.

Tabela 1.4 – Características e aplicações das Bandas do LANDSAT.

BANDA	INTERVALO $\mu\text{m}$	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DAS BANDAS DO LANDSAT
1	(0.45 – 0.52)	<p>Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos.</p> <p>Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides).</p> <p>Apresenta sensibilidade a nuvens de fumaça oriundas de queimadas e atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.</p>
2	(0.52 – 0.60)	<p>Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade.</p> <p>Boa penetração em corpos de água.</p>
3	(0.63 – 0.69)	<p>A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação e aquelas sem vegetação (exemplo: solo exposto, estradas e áreas urbanas).</p> <p>Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (exemplo: campo, cerrado e floresta).</p> <p>Permite a análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal.</p> <p>Permite o mapeamento de drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios com regiões com pouca cobertura vegetal.</p> <p>É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.</p>
4	(0.76 – 0.90)	<p>Os corpos d'água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos d'água.</p> <p>A vegetação verde, densa e uniforme reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens.</p> <p>Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel).</p> <p>Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia.</p> <p>Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais.</p> <p>Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto.</p> <p>Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas.</p> <p>Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (exemplo aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.</p>
5	(1.55 – 1.75)	<p>Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico.</p> <p>Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes de obtenção da cena pelo satélite.</p>
6	(10.4 – 12.5)	<p>Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.</p>
7	(2.08 – 2.35)	<p>Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia. Solos e Geologia.</p> <p>Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas.</p> <p>Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.</p>



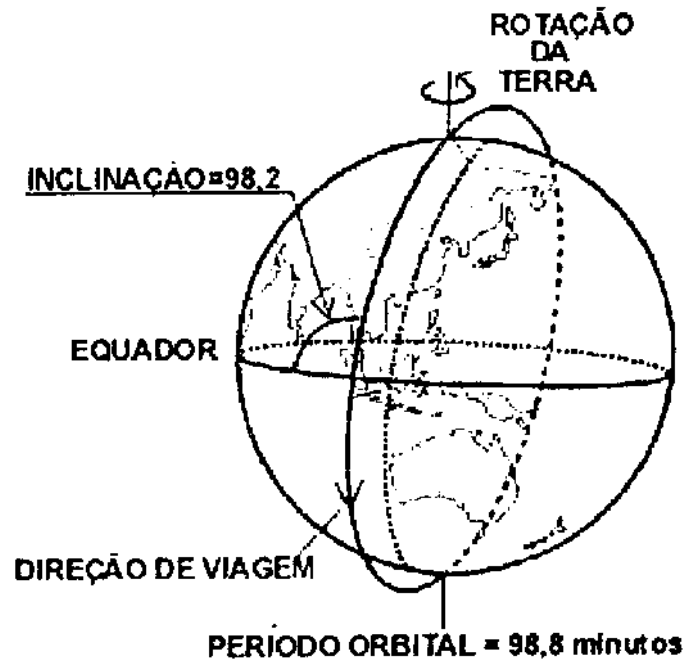


Figura 1.29 – Órbita do LANDSAT 7.

– Sistema SPOT

O programa SPOT – *Satellite Pour l'Observation de la Terre* - foi concebido como um sistema comercial, no qual as imagens são adquiridas apenas sob encomenda. Para atender à comercialização dos seus produtos foi criada a empresa privada SPOT Image, com sede na França e filiais pelo mundo inteiro, inclusive no Brasil.

O Brasil assinou um contrato para recepção dos dados SPOT em novembro de 1993. Por esse contrato, o INPE deixa de pagar pela transmissão de dados pelo satélite e a comercialização é feita por empresa licenciada pela SPOT Image. O INPE recebe os dados enviados pelo satélite conforme a identificação de interesses dos clientes da empresa distribuidora e esta paga ao INPE por imagem fornecida.

- ✓ O instrumento HRVIR dos satélites SPOT observa a superfície da Terra em 4 faixas do espectro eletromagnético, organizadas em dois modos espectrais de funcionamento:
  - Pancromático (P) - 10m de resolução;
  - Multiespectral (XS1, XS2, XS3, XS4) com 20m de resolução.

- ✓ O satélite SPOT apresenta características de repetitividade, isto é, observa a mesma área a cada 26 dias em visada vertical. Com utilização das possibilidades de visada lateral (27 para o leste ou para oeste - é possível baixar este período para 3 dias (9 vezes a cada ciclo orbital no Equador).
- ✓ Uma imagem inteira do satélite SPOT representa no solo uma área de abrangência de 60 x 60 Km com visada vertical. Sua visada lateral máxima (27), essa área chega a 60-80 Km (sendo deformada no sentido leste - oeste), conseguindo-se superposição entre as imagens e possibilitando obter a estereoscopia.

A Tabela 1.5 apresenta as aplicações dos satélites SPOT 2 e 3.

Tabela 1.5 – Principais aplicações dos satélites SPOT.

BANDA	INTERVALO $\mu\text{m}$	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DAS BANDAS DO SATÉLITES SPOT
PAN	(0,51 – 0,73)	Esse modo espectral produz imagens com uma única banda espectral que é restituída sempre em preto e branco. Ela privilegia a fineza geométrica da imagem e permite discriminar detalhes finos, do tamanho do pixel (ponto elementar da imagem) que é de 10 x 10m ou 100m <sup>2</sup> . É o modo mais aconselhável para trabalhar em estereoscopia para topografia, pois assim consegue-se maior precisão altimétrica.
XS1	(0,50 – 0,59)	Apresenta sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos d'água.
XS2	(0,61 – 0,68)	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação e aquelas sem vegetação (solo exposto, estradas e áreas urbanas). Permite a análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata, galeria dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.

(Continua)

Tabela 1.5 – Principais aplicações dos satélites SPOT.

(Continuação)

BANDA	INTERVALO $\mu\text{m}$	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DAS BANDAS DO SATÉLITES SPOT
XS3	(0,79 – 0,89)	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (exemplo: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.

A medida que a resolução melhora, os objetos menores podem ser melhor discriminados. Os sensores pancromáticos no satélite SPOT produzem imagens com 10m de resolução, fornecendo detalhes não disponíveis em outros sistemas civis. Cada um dos 6.000 detectores pancromáticos num sensor SPOT fornece nove vezes mais detalhes que um sistema de resolução de 30 x 30m (900m<sup>2</sup>), detectando objetos muito menores.

As imagens multiespectrais fornecem outra dimensão de detalhes, que é revelada através de suas bandas espectrais e do uso de cores. Quando as imagens pancromáticas e multiespectrais do SPOT são combinadas, obtêm-se os melhores resultados - o maior nível de detalhes de uma resolução de 10m (100m<sup>2</sup>) -, com o conteúdo de informações acrescido a partir de imagens coloridas (multiespectrais).

A resolução espacial serve como um denominador comum para a comparação de sistemas. No entanto, a habilidade de interpretar imagens e reconhecer feições não é determinada simplesmente pela resolução espacial, mas também pela forma das feições, textura e grande contraste em relação aos objetos circunvizinhos. Consequentemente, satélites de Sensoriamento Remoto civis provavelmente não detectam um urso polar (de qualquer tamanho) inserido numa geleira.

Contudo, a resolução espacial de 10m nas imagens pode revelar claramente feições lineares tais como rodovias, ferrovias e pequenos barcos com sua trilha de ondas, indicando a direção da viagem, sendo todas estas feições significativamente mais estreitas que 10m.

O SPOT permite uma restituição numa escala de até 1:20.000, abrindo grandes perspectivas para o Geoprocessamento.

– Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres

O INPE desenvolveu, em cooperação com a Academia Chinesa de Tecnologia Espacial, um satélite de observação da Terra, denominado CBERS - *Chinese Brazilian Earth Resources Satellite*, que foi lançado em 14/10/1999, na base chinesa de Taiwan, na primeira versão - CBERS-1.

O CBERS-1 é o primeiro satélite sino-brasileiro e seu protótipo foi construído no LIT - Laboratório de Integração e Testes do INPE, em São José dos Campos. Esse satélite tem capacidade de aquisição de imagens com especificações compatíveis com os atuais sistemas SPOT e LANDSAT.

A recepção dos dados do CBERS-1 é feita pelas estações de Pequim, Nanning e Uruqi, na China; e Cuiabá, no Brasil, onde foi instalada uma nova antena de rastreamento, de modo a permitir a recepção de todas as órbitas dos satélites sobre o Brasil, sem problemas de conflitos de horários de passagem com outros satélites.

O sistema de processamento atual tem capacidade de geração de produtos em quantidade e qualidade melhores que os sistemas em operação em Cachoeira Paulista, assim como facilidades de acesso às informações sobre os produtos disponíveis, catálogos e *quick-looks* (*préviews das imagens*), por usuários remotos, através de linhas telefônicas ou via internet.

Tabela 1.6 – Características do satélite CBERS-1.

SENSORES	CCD	IR-MSS	WFI
<b>BANDAS (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	0.51-0.73 (PAN) 0.45-0.52 0.52-0.59 0.63-0.69 0.77-0.89	0.50-1.10 (PAN) 1.55-1.75 2.08-2.35 10.40-12.50	0.63-0.69 0.76-0.90
<b>RESOLUÇÃO ESPACIAL (m)</b>	20	90 (PAN) 160 (Termal)	260
<b>RESOLUÇÃO TEMPORAL</b>	26 Dias	26 Dias	3-5 Dias
<b>LARGURA DA VISADA NO SOLO</b>	120 Km	120 Km	900 Km

– Satélites Indianos – IRS

A *Indian Space Research Organization* - ISRO desenvolve a série de satélites IRS, que iniciou as operações com o lançamento dos satélites IRS-1A em 1988. Os satélites IRS-1B (1991), IRS-P2 (1994) e IRS-1C (1995) estão em operação e são explorados comercialmente pela Empresa Indiana ANTRIX e pela *Space Imaging* a partir da compra da EOSAT - *Earth Observation Satellite Company*.

O IRS-P3 foi lançado em 1996, através de uma cooperação entre a agência indiana ISRO e a agência Alemã *German Aerospace Research Establishment* - DLR. Esta missão tem objetivos científicos e de cooperação tecnológica entre os dois países.

O satélite IRS-1C consegue precisão espacial de 5m gerando cartas na escala de até 1:20.000, sendo mais uma alternativa para fornecimento de dados.

– Satélite Japonês - JERS

O programa *Japanese Earth Resources Satellite* lançou o JERS-1 (ou Fuyo-1) em 1992, levando a bordo um radar de abertura sintética SAR, que opera na banda L e P, e um sensor óptico OPS, composto de dois radiômetros (um no visível e infravermelho e outro no infravermelho médio).

Aplicações dessas imagens em estudos geológicos na Amazônia mostram um grande potencial para este sistema. Seus dados ainda podem ser utilizados em estudos do uso do solo, agricultura, floresta, pesca e monitoramento do gelo no mar.

– Satélites Europeus - ERS

O programa ERS - *European Remote Sensing Satellite* - lançou, em 17 de julho de 1991, o satélite ERS-1, levando em sua carga útil um radar imageador (SAR - banda C, com polarização VV), capaz de observar a Terra mesmo em condições sem iluminação do sol ou com cobertura de nuvens. Esse satélite é administrado pela ESA - *European Space Agency* - e tem como principal objetivo o estudo de fenômenos oceanográficos (oceano e regiões de gelo).

– Satélite Canadense - RADARSAT

O satélite RADARSAT foi lançado em 4 de novembro de 1995 pela Agência Espacial Canadense (CSA) e utiliza, como o ERS-1 um radar de abertura sintética operando na Banda C, porém transmitindo e recebendo o sinal com polarização horizontal (HH), semelhante ao JERS. No entanto este programa foi concebido para ter características comerciais, operando sob responsabilidade de uma empresa privada, a *RADARSAT International Inc.* (RSI).

As características inovadoras do RADARSAT permitem aquisição de imagens em sete diferentes modos de operação, os quais incluem resolução espacial entre 8 (*FINE Mode*) e 100 metros (*SCANSAR Mode*), ângulo de incidência entre 10° (*Low Incidence Beam Mode*) e 60° (*High Incidence Beam Mode*) e largura da faixa imageada entre 50 e 500 Km.

Diferentemente dos sensores óticos passivos, que dependem da luz solar como fonte de energia eletromagnética, o radar SAR do RADARSAT é ativo, fornecendo sua própria fonte de iluminação. Neste sistema, um sinal de microondas é emitido para a Terra do lado direito do satélite, alcança a superfície, interage com ela e retorna (como sinal) ao satélite. O sinal retornado é posteriormente processado para criar uma imagem da superfície do terreno. Como o SAR não necessita da luz solar para operar, pode-se obter imagens em qualquer hora do dia ou da noite.

– IKONOS II

O IKONOS II foi lançado em 24/09/1999 na base da Califórnia, nos EUA, com imagens de alta resolução, até então só disponíveis para fins militares.

O IKONOS II tem as seguintes características:

- ✓ Com a resolução espacial de 1m no modo PAN, este sistema possui a melhor resolução possível entre as imagens comerciais;
- ✓ Possibilidade de combinação de imagens PAN (preto e branco) com dados multiespectrais para a geração de imagens coloridas com 1m de resolução;
- ✓ Produto para quem necessita de grande resolução espacial (identificar feições ricas em detalhes) mas não requer grande precisão cartográfica. A precisão cartográfica é obtida através da ortocorreção e/ou retificação das imagens com o uso de um MDT;
- ✓ Bandas espectrais no visível são mais largas (quando comparadas com LANDSAT 5 e 7), permitindo uma maior penetração na atmosfera e maior poder de discriminação dos alvos terrestres, principalmente da cobertura vegetal, áreas sombreadas e de corpos d'água;
- ✓ Imagens com 4 m de resolução espacial oferecem até 25 vezes mais informações que imagens com 20 m de resolução;
- ✓ Com imagens pancromáticas de 1m, é possível distinguir objetos do tamanho de 1m<sup>2</sup>;
- ✓ O IKONOS II tem capacidade de efetuar visadas no sentido de sua órbita e perpendicularmente à ela, aumentando a frequência de revisita e possibilitando a aquisição de pares estereoscópicos para Restituição Digital.

Tabela 1.7 – Características dos sistemas orbitais.

Satélite (Origem)	Sensor	Resolução				Largura da faixa
		Espectral ( $\mu\text{m}$ )	Espacial	Radiométrica	Temporal	
NOAA 15 (EUA)	AVHRR	0.58-6.68 0.73-1.10 3.55-3.93 10.3-11.3 11.5-12.5	1.1 km	10 bits	6 horas	2700 km
GOES 11 (EUA)	VAIN	0.65 3.9 6.7 11 12	1 km 13.8 km	8 bits	15 minutos	Até 1/3 da superfície terrestre
METEOSAT7 (EUROPA)	VIRR TIRR	0.40-1.05 10.5-12.5	2,5 km 5 km	8 bits	30 minutos	Até 1/3 da superfície
LANDSAT-5 (EUA)	Thematic Mapper™	0.45-0.52 0.52-0.60 0.63-0.69 0.76-0.90 1.55-1.75 10.4-12.5 2.08-2.35	30 m     120 m	8 bits	16 dias	185 km
LANDSAT-7 (EUA)	Enhanced Thematic Mapper + (ETM+)	0.45-0.52 0.52-0.60 0.63-0.69 0.76-0.90 1.55-1.75 10.4-12.5 2.08-2.35	30 m    60 m	8 bits	16 dias	183 km
	PAN	0.50-0.90	15 m	8 bits		
SPOT 2 e 3 (França)	HRV-XS	0.50-0.59 0.61-0.68 0.79-0.89	20 m	8 bits	26 dias (4 dias)	60 km
	PAN	0.51-0.73	10 m	6 bits		
SPOT 4 (França)	HRVIR	0.50-0.59 0.61-0.68 0.79-0.89	20 m	10 bits	26 dias (4 dias)	60 km
	PAN	1.58-1.75	20 m			
	VEGETATION	0.51-0.73 0.61-0.68 0.78-0.89 1.58-1.75 0.43-0.47	10 m 1165 km  Experimental	6 bits		2250 km
IRS-1B (Índia)	LISS II	0.45-0.52 0.52-0.59 0.62-0.69 0.77-0.86	36 m	7 bits	22 dias	146 km

(Continua)



Tabela 1.7 – Características dos sistemas orbitais.

(Continuação)

Satélite (Origem)	Sensor	Resolução				Largura da faixa
		Espectral ( $\mu\text{m}$ )	Espacial	Radiométrica	Temporal	
IRS-1C (Índia)	LISS III	0.52-0.59	23 m	7 bits	24 dias	142 km
		0.62-0.68				
		0.77-0.86				
		1.55-1.70				
	PAN	0.50-0.75	70 m	7 bits	3 dias	148 km
WIFS	0.62-0.68	5 m	7 bits	4 dias	70 km	
		0.77-0.86	188 m	7 bits		744 km
IRS-P3 (Índia e Alemanha)	WIFS	0.62-0.68	188 m	7 bits	5 dias	770 km
		0.77-0.86				
		1.55-1.75				
CBERS (Brasil e China)	CCD	0.45-0.52	20 m	8 bits	26 dias (3 dias)	120 km
		0.52-0.59				
		0.63-0.69				
		0.77-0.89				
	PAN	0.51-0.73	80 m	8 bits	26 dias	120 km
	IR-MSS	1.55-1.75				
		2.08-2.35				
		0.50-1.01	160 m	8 bits	3 dias	120 km
WFI		10.4-12.5				
		0.63-0.69				
		0.76-0.90				
JERS-1 (Japão)	SAR OPS	Banda L Banda P	18 m Experimental	8 bits	44 dias	75 km
ERS-1 (Europa)	AM-SAR	Banda C (5.3 Ghz)	30 m	16 bits	32 dias	100 km
RADARSAT (Canadá)	Standard Wide Swath	Banda C 5.3 Ghz	30 m	16 bits	24 dias	100 km
			30 m			150 km
			10 m			50 km
	Ext. Cover Low Incid.		35 m		170 km	
	Ext. Cover High Incid.		25 m		75 km	
	SAR Narrow SAR Wide		50 m		300 km	
			100 m		500 km	
IKONOS II (EUA)		0.45-0.52	4 m	11 bits	1,5 dia	13 km
		0.52-0.60				
		0.63-0.69				
		0.76-0.90				
	PAN	0.45-0.90	1 m		2,9 dias	13 km

## – Sensores de Radar

Um radar executa três funções básicas: transmite um pulso de microondas em direção a um alvo; recebe a porção refletida do pulso transmitido após este haver

interagido com o alvo (energia retroespalhada); e registra a potência, a variação temporal e o tempo de retorno do pulso retroespalhado.

A possibilidade de controlar os sinais em termos de intensidade, comprimento de onda, ângulo de incidência e polarização, torna estes sistemas bastantes abrangentes. Contudo, os sinais de radar são produzidos num intervalo limitado de frequências ou comprimentos de onda, o que limita suas características multiespectrais.

Os sistemas Canadenses RADARSAT, Europeu ERS e Japonês JERS trabalham com estes tipos de sensores.

#### – Sensores a Laser

Sistemas ativos a laser operam de modo similar aos sistemas de radar, mas não são imageadores. A propriedade medida é a luminescência, isto é, a capacidade que têm algumas substâncias em devolver radiação de comprimento de onda maior (menor energia) do que o da radiação incidente. Este fenômeno é observado em diversos minerais de importância econômica, óleos minerais, clorofila, corantes artificiais, etc. O produto destes sistemas é um perfil, ao longo da linha de vôo, da intensidade da luminescência em diferentes intervalos espectrais.

Estes sensores são de uso restrito, pois operam com pulsos de intensidade tão elevada que podem cegar animais ou pessoas em seu campo de visada. Por esse motivo, eles têm sido usados somente em regiões remotas e sobre os oceanos, para acompanhar manchas de vazamentos de óleos ou outras substâncias.

#### – Espectrômetros

Os espectrômetros medem o conteúdo espectral de um campo eletromagnético. Estes sensores são muito utilizados para identificação da composição química de objetos. No caso de operações a partir de aeronaves, alguns espectrômetros especiais captam e processam a radiação gama produzida por elementos naturais (urânio, tório e

potássio) ou artificiais ao longo das linhas de vôo, sendo usados principalmente para localizar recursos minerais ou para avaliar a extensão de acidentes nucleares.

Estes sistemas privilegiam, como o próprio nome diz, a resolução espectral. Entretanto, podem-se utilizar os espectrômetros imageadores para estudos em que também é importante a resolução espacial, como nos levantamentos litológicos.

– Radiômetros

Sensores privilegiam a captação de diferentes intensidades ou níveis digitais do campo eletromagnético dos objetos, em detrimento das resoluções espectrais e espaciais. Devido a isso, são utilizados para obter perfis de temperatura da atmosfera e dos oceanos.

Os radiômetros de microondas medem a temperatura, salinidade e rugosidade da superfície do mar através da neblina e à noite. Os radiômetros imageadores são utilizados para mapear as distribuições de temperatura.

## 2. DETECÇÃO DE IMPRESSÕES DE INSTRUMENTOS USADOS NA PRÁTICA DO DELITO

### 2.1 MODELAGEM FÍSICA DE IMPRESSÕES ATRAVÉS DE SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS

- *Parafina Histológica*

A parafina histológica, de aplicações biológicas, constitui uma substância inerte, sob o ponto de vista químico, utilizada na técnica de Iturrioz ou da luva de parafina, é de grande pureza, apresentando temperatura de fusão ao redor de 40°C; no estado líquido, presta-se para a obtenção de moldes de vestígios representados por massas produzidas pela atuação de instrumentos de crime em delitos patrimoniais, reprodução de dentes, de impressões de pneumáticos de veículos automotores em terrenos argilosos e arenosos, fraturas expostas, solados de calçados.

- *Gesso*

É o  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , composto pouco solúvel na água que, ao ser tratado com determinado volume de água, nas condições ambientais, origina uma massa plástica, adequada para a reprodução de vestígios sólidos. Os moldes tornam-se lisos e destituídos de porosidade ao serem submersos em parafina liquefeita.

- *Ceras*

Constituem ésteres de ácidos graxos superiores, com 24 a 36 átomos de carbono, e álcoois alifáticos superiores, de número par de átomos de carbono, com 16 a 36 átomos como os álcoois cetílico, carnaubílico, miricílico de etc. Consequentemente, são compostos da classe dos lipídios.

São importantes representantes a cera de camaúba, de origem vegetal, obtida das folhas de uma espécie de palmeira, constituída de cerotato de miricila; a cera de abelhas, provida de odor de mel, formada principalmente de palmitato de miricila; a

cera de lã ou lanolina, extraída da lã do carneiro, sendo dotada de odor característico e muito aderente e untuosa. Sob o ponto de vista químico é constituída pelos álcoois cerílico e carnaúbilico e pelos ácidos palmítico, carnaúbico mirístico, esteárico, cerótico etc.; o esperma de baleia ou impropriamente chamado, espermacete, encontrado na cavidade craniana do cachalote etc. É constituído essencialmente pelo palmitato de cerila, a cera da China ou cera de insetos da China, obtida de depósitos feitos por um inseto em determinadas árvores da Ásia, sendo seu componente principal o cerotato de cerila.

- *Silicone*

Constituem altos polímeros com estrutura comparável a do caucho ou outros materiais plásticos, razão pela qual a química dos silicones é puramente macromolecular. Resultam da policondensação de monômeros, os alquil ou aril silanodióis, de fórmula geral  $R-Si(OH)_2-R$  e de alquil ou aril silanotrióis, de fórmula geral  $R-Si(OH)_3-R$ . Os silicones podem apresentar-se no como um líquido relativamente viscoso ou no estado sólido, sendo estes últimos utilizados como materiais empregados na modelagem.

- *Argila*

Designação comum a diversos produtos naturais provenientes da desagregação de rochas feldspáticas; sob o ponto de vista químico são constituídos de silicatos de alumínio hidratados, sendo denominadas argilas plásticas as que formam uma pasta quando tratadas com água, adequadas para a fabricação de louça; outras modalidades de argila são as figulinas que se prestam para a confecção de tijolos e telhas; e as argilas esméticas que não se mostram apropriadas para a formação de pastas para modelagem.

- *Caolim*

Constitui variedade de argila, apresentando-se como um pó branco dotado de propriedades plásticas, de grande interesse para a indústria cerâmica, sendo a matéria-prima essencial para a confecção da porcelana.

- *Plastisol*

Designação que abrange mistura de resinas plásticas com plastificantes, estabilizadores e pigmentos, geralmente empregadas para modelagem de peças por imersão e fundição, ou revestimentos de materiais diversos. Contrariamente à maioria dos produtos fluidos destinados a revestimentos, os plastisóis, para sua aplicação e endurecimento, não requerem adição e conseqüente evaporação do solvente. A penetração do plastificante na resina transforma-a em plastisol, o qual, após o processo de cura, adquire forma de material sólido e homogêneo, com características gerais semelhantes as do plástico-base: flexibilidade, durabilidade e resistência à abrasão e aos agentes químicos.

- *Godiva*

Constitui uma massa plástica utilizada na confecção de moldes de arcadas dentárias. Sob o ponto de vista prático no campo da criminalística, os mais recomendados e apropriados materiais para a reprodução de moldes, no local do fato ou no laboratório, são o gesso de Paris e a cera, desde que convenientemente aplicados aos suportes onde se encontram os vestígios.

## **2.2 IMPRESSÕES DE SOLADOS DE CALÇADOS E DE RODAS E PNEUMÁTICOS DE VEÍCULOS**

Para estes tipos de vestígios, a modelagem em gesso constitui o melhor processo para a reprodução das mesmas quando tais vestígios foram produzidos em lama, neve e superfícies arenosas, verificando-se que a modelagem, tecnicamente obtida, esclarece melhor do que a impressão propriamente dita. Não é incomum a ocorrência de impressões de pneumáticos e de solados de sapatos, respectivamente, em locais de atropelamentos de animais com fuga do atropelante.

O mesmo se pode dizer sobre impressões produzidas por instrumentos de crime, empregados para violar sistemas de segurança de folhas de portas e de janelas. Sob o ponto de vista criminalístico, os peritos antes de se valerem da técnica de modelagem, deverão providenciar a fotografia com escala métrica das impressões de pneumáticos ou do solado de sapatos, utilizando filmes de baixo-contraste, medindo as dimensões da impressão, estudando a natureza do suporte em que a mesma se encontra e enquadrando-a, a fim de protegê-la; nos casos da impressão encontrar-se em terra ou areia secas, deve-se nebulizá-la com solução alcoólica de goma-laca, a fim de dar-lhe a necessária consistência para posterior tratamento com gesso.

As impressões de rodas ou de pneumáticos são levantadas através da fotografia e/ou da modelagem, por meio de gipsoplastia, como nos casos de pegadas produzidas por solados de calçados, procedendo-se análise comparativa entre as impressões incriminadas, levantadas no local, com as impressões testemunhas do veículo suspeito.

## **2.3 IMPRESSÕES DE INSTRUMENTOS DE CRIME**

Os instrumentos empregados na remoção ou destruição de obstáculos deixam impressões nesses suportes podendo, em alguns casos, permitir a identificação do instrumento que as produziu, sob a forma de amolgamentos e fraturas, devendo-se, quando possível, esclarecer se as impressões são recentes ou antigas, isto é, se são contemporâneas ao evento ou anteriores. Como norma de trabalho, em primeiro plano, deve-se fotografar a(s) impressão(s) em sua real dimensão no suporte onde foi(ram) observada(s), isto é, na superfície de móveis e/ou de imóveis. O exame das impressões

de instrumentos de crime ou de instrumentos utilizados para a prática do delito podem ser ultimados pelas seguintes técnicas:

- ✓ exame macroscópico;
- ✓ exame microscópico, realizado com aparelhos de óptica, como lupas, microscópio.

Geralmente o instrumento empregado na prática de crime patrimonial apresenta particularidades que ficam no suporte e que podem ser observadas pela incidência de luz oblíqua sobre a superfície e observação com lupas de sucessivos poderes de resolução.

As impressões da atuação de instrumentos em suportes fixos ou móveis devem ser objetos dos seguintes processos de registro:

- ✓ descrição minuciosa;
- ✓ fotografia métrica, a fim de dar-se perfeita concepção das reais dimensões da impressão, seguida de macrofotografia do suporte e de microfotografia para fixar particularidades da impressão, empregando-se luz direta e oblíqua;
- ✓ modelagem, que representa o mais adequado meio de levantamento. As impressões dos instrumentos de crime apresentam-se em baixo relevo e podem ser produzidas em suportes rígidos e moles.

Nos suportes rígidos a impressão mostra-se em baixo relevo. Levantando-se, pois, o molde negativo por meio de cera, argila ou gesso. No caso particular de madeira, tratar o suporte previamente com solução de parafina dissolvida em benzeno, utilizando pincel de cerdas macias; pela evaporação do solvente, a parafina atua como impermeabilizante, facilitando a remoção do molde negativo.

Nos suportes moles emprega-se, de preferência, o gesso de Paris ou a cera, obtendo-se, da mesma forma, o molde negativo.



Na obtenção do molde positivo, provenientes de moldes negativos de suportes rígidos ou moles, utiliza-se gesso, prestando-se o mesmo para os devidos confrontos com as impressões experimentais produzidas pelos instrumentos apreendidos no local do crime. Para proceder-se ao confronto pode ser adotada uma das seguintes técnicas:

- ✓ cotejar o instrumento com o próprio molde produzido em gesso;
- ✓ fotografar o molde e proceder confrontos através de assinalamentos de fotografias.

Nos estudos das impressões de instrumentos de crimes devem ser observadas as seguintes normas:

- ✓ posição das impressões;
- ✓ número de impressões;
- ✓ forma e profundidade das impressões.

O emprego de moldes das mãos tem como objetivo não o molde da superfície palmar e/ou de quirodáctilos, e sim a remoção de partículas não metálicas oriundas da combustão do explosivo iniciador e da mistura propelente, bem como de partículas metálicas oriundas da abrasão do projétil na alma do cano da arma de fogo quando da realização do tiro. Esta técnica é conhecida como prova da parafina, teste da parafina, teste de Iturrioz, teste da difenilamina, teste dermo-nitrato, dermonitratest ou teste da luva da parafina. Constitui um processo químico destinado a comprovar presença de corpúsculos residuais de combustão de pólvora da superfície e camadas intradérmicas das mãos de pessoa que procedeu o acionamento de arma de fogo.

### **3. MÉTODOS DE RECONHECIMENTO DE VESTÍGIOS DO DELITO**

#### **3.1 SUBSTÂNCIAS BIOLÓGICAS**

##### **3.1.1 Sangue**

Constitui a mancha de maior importância e a mais freqüente mente encontrada, particularmente nos locais de crimes contra animais interessando estudar a quantidade de manchas que permitirão estimar a quantidade de sangue perdida pelo indivíduo, sua distribuição no local, os diferentes tipos e a sua procedência, humana ou não-humana. O aspecto destas manchas varia com a antigüidade e o tipo de suporte em que foram produzidas; em tecidos absorventes e claros, as manchas de sangue tendem a adquirir coloração vermelho-escura ou acastanhada.

Se forem lavadas, a coloração tende ao róseo; nos tecidos escuros as manchas de sangue não são bem perceptíveis, razão pela qual há necessidade de aplicar-se-lhes reagentes químicos genéricos de orientação para acusar-lhes a presença, pelo fato destes ensaios apresentarem enorme sensibilidade.

Existem 5 mecanismos básicos de produção de manchas de sangue:

- *projeção*: ocorre quando o sangue atinge o suporte com determinado impacto, projetando-se em queda livre;
- *escorrimento*: dá-se quando o sangue entra em contato com o suporte e forma poças ou filetes lineares, em decorrência de sua movimentação pela ação da gravidade, ao se projetar sobre este suporte;
- *contato*: ocorre quando um segmento do corpo ou objeto ensangüentado toca um determinado suporte deixando a impressão da forma deste segmento ou objeto;
- *impregnação*: ocorre em suportes absorventes, nos quais o sangue se empapa e difunde, originando manchas uniformes e de bordas nítidas;
- *misto*: ocorre através de associação de mecanismos de contato e de impregnação dos principais objetivos relativos às manchas de sangue que exigem a intervenção de peritos são os seguintes:

- diagnóstico genérico ou de orientação, isto é, comprovar a probabilidade da mancha ser de sangue;
- diagnóstico específico, isto é, afirmar a que espécie animal o sangue da mancha pertence;
- diagnóstico individual, isto é, depois de comprovada a espécie humana do sangue, comprovar se é de determinado indivíduo.

De um complexo de reagentes apenas um pequeno número tem interesse prático no campo da perícia criminalística, considerando a sensibilidade que apresentam: são os reagentes da fenolftalina, da benzidina, da ortotolidina, da fluoresceína e do luminol.

Os ensaios químicos genéricos de certeza para sangue constituem ensaios que permitem afirmar a existência de sangue, humano e não-humano, inespecificamente. Estes ensaios baseiam-se na presença de uma macromolécula, a hemoglobina, molécula sempre constante e característica no sangue dos mamíferos.

Apesar de menor sensibilidade que, comparativamente, os ensaios químicos de orientação os ensaios de certeza para sangue são dotados de enorme sensibilidade e especificidade. Dão reações positivas sangue *in natura*, coagulado, hemolisado, putrefeito, seca sob forma de substâncias que não apresentem hemoglobina. Nessa modalidade destacam-se os microquímicos ou microcristofráficos, baseados na formação da molécula de hematina e do hemocromogênio. Dos ensaios os mais comuns em criminalística são os de Tercaman e Takayama.

### 3.1.2 Leite e Colostro

Constitui um produto de secreção das glândulas mamárias da mulher e de outras fêmeas pertencentes à classe dos mamíferos, elaborado a partir dos primeiros meses da gravidez e destinado a nutrir a cria na primeira fase da vida extra-uterina. A secreção láctea é estimulada por hormônios hipofisários.

São líquidos biológicos que apresentam quantidades variáveis de carboidratos, lactose, substâncias albuminóides representadas principalmente pela caseína, lactoalbuminas, lactoglobulinas, fosfatos, cloretos, citratos, lecitina, leucina, tirosina, uréia, lípidos e enzimas.

Apesar da composição do leite ser própria de cada espécie animal, contém sempre um carboidrato característico que é a lactose e de uma proteína que é a caseína. As manchas provocadas pelo leite e pelo colostro apresentam contornos sinuosos, de coloração amarelada ou acinzentada, mais escuras nas bordas.

Entre as técnicas químicas genéricas de reconhecimento do leite e do colostro, destacam-se: reação de guaiacol a 10% em solução alcoólica, reação da hidroquinona a 10% e a reação da pirocatequina a 10%.

### **3.1.3 Saliva**

Constitui um produto misto elaborado pelas glândulas parótidas, submaxilares, sublinguais e bucais, produzida por estímulos do sistema nervoso. A saliva mista contém 99,4% de água, baixo teor de glicose, cloreto de sódio, potássio e cálcio, tiocianato de potássio, ptialina, maltase, catalase, lipase, urease, protease, albumina, globulina, mucina, uréia, ácido úrico. As manchas de saliva apresentam coloração amarela-pálida, esbranquiçadas ou acinzentadas.

O diagnóstico químico de manchas de saliva é realizado através da pesquisa do tiocianato de potássio e da ação da ptialina ou amilase salivar sobre o amido.

### **3.1.4 Urina**

Constitui um produto de excreção que contém a maior parte dos catacólitos fixos do organismo. Forma-se nos rins por um triplice mecanismo conjugado de ultrafiltração glomerular e de reabsorção e de excreção tubular. A excreção da urina concorre para a manutenção dos equilíbrios hídrico, osmótico, ácido-base e iônico dos órgãos e humores.

A urina nas condições normais é um líquido límpido, de odor *sui generis* cuja cor varia do amarelo-claro ao amarelo-avermelhado, segundo as proporções dos pigmentos presentes (urocromo, amarelo; urobilina, vermelho).

Na urina encontram-se componentes de alimentares, derivados catabólicos e produtos de detoxicação. Quando iluminadas com a lâmpada de Wood apresentam fluorescência branco celeste (segundo Calabuig) ou alaranjada (segundo Leopoldo Gómez López), sendo esta fluorescência devida exclusivamente aos pigmentos da urina normal.

As manchas de urina podem ser quimicamente reconhecidas através da pesquisa do indicam ácido úrico, creatinina, uréia, cloretos e de substâncias redutoras. Técnicas permitem comprovar a presença de componentes orgânicos e inorgânicos normais contidos na urina, como o indicam, ácido úrico, creatinina, uréia e cloretos.

### 3.1.5 Suor

Constitui um produto de secreção das glândulas sudoríparas, hipotônico, de pH variável entre 5,00 e 7,50 atingindo sua elaboração diária praticamente o mesmo volume de água que o sistema renal.

Sob o ponto de vista químico, o suor apresenta em sua composição 99,2% a 99,6% de água e 0,4% a 0,8% de substâncias sólidas.

Na fração sólida, em cada 100ml, destacam-se glicose (0,006g), ácido láctico (0,15g), ácido úrico (0,0002g), ácido cítrico (0,0002g), uréia, albumina, alfa-aminoácidos, carbonatos, cloretos, fosfatos e sulfatos de sódio, potássio e cálcio.

Entre as técnicas de reconhecimento do suor, destacam-se: pesquisa do íon cloreto com  $\text{AgNO}_3$  a 10%, pesquisa do íon sulfato com  $\text{BaCl}_2$  a 10% e pesquisa do íon fosfato com  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$  e benzydina.

### **3.1.6 Matéria Fecal**

Constitui a fração de partículas alimentares não assimiladas ou não digeríveis, que se encontram misturadas a produtos de secreção de órgãos digestivos e eliminadas através do peristaltismo intestinal.

As fezes são constituídas de resíduos de alimentos protéicos, como carne e leite (fibras musculares, fibras colágenas, fibras elásticas), resíduo de alimentos hidrocarbonados (celulose, amido, clorofila, fibras vegetais), resíduos de alimentos lipídicos (ácidos graxos) e produtos do trato digestivo (secretórios, como a mucina, estercobilina e bilirrubina; parasitas como o áscaris, oxiuros, necator, ancilostorna; cristais de hematoidina, bilirrubina, colessterina, Charcot-Leyden, fosfato de amônio e magnésio).

As manchas de fezes apresentam odor característico, coloração acastanhada, esverdeada ou mesmo negra e forma variável que depende de circunstâncias e especialmente da consistência, razão pela qual seus contornos não são nítidos. Os métodos histoquímicos são os melhores para diagnóstico de fezes.

## **3.2 SUBSTÂNCIAS NÃO BIOLÓGICAS**

### **3.2.1 Tinta e Pintura**

Entre as manchas de natureza não biológica destacam-se as tintas, de grande interesse nos acidentes automobilísticos, particularmente nos atropelamentos.

Vestígio de grande importância da participação de veículos em ocorrências destes tipos são suas tintas, que aderem em suportes fixos como postes, muros ou em outro veículo, sob a forma de películas. A película deverá ser estudada preliminarmente ao microscópio como se fosse uma crosta de sangue. A seguir estudo minucioso deve ser realizado com a inclusão da película em parafina e cortada com o micrótomo, permitindo assim observar as camadas da pintura, sua coloração e inclusões. A identificação entre a tinta objeto de exame e a do veículo suspeito faz-se através do emprego de técnicas de espectrofotometria.

Os pigmentos que entram na composição das tintas são predominantemente substâncias inorgânicas: sais de chumbo, titânio, arsênio, cobalto, cromo, alumínio, cobre, zinco, mercúrio, podendo apresentar impurezas de ferro, bário, cálcio, estrôncio, silício etc. Os pigmentos são pesquisados através de espectrografia, fluorescência de raios X, espectrofotometria por absorção atômica.

Manchas desta natureza podem ser também encontradas em peças de indumento ou nas mãos de indivíduos suspeitos da prática de delitos patrimoniais decorrentes do atrito contra superfícies recém pintadas. O reconhecimento dos produtos graxos é realizado com tetróxido de ósmio que enegrecerá pela deposição de ósmio finamente dividido. O reconhecimento das resinas é realizado através de solventes próprios.

### 3.2.2 Lama e Lodo

Estas manchas permitem em alguns casos determinar o local ou locais onde o suspeito da prática de uma infração penal tenha estado. A comprovação da natureza química do material recolhido de sapatos, barra de calça, pneumáticos de veículos etc. analisado comparativamente com amostras recolhidas no local onde ocorrera o delito, representa prova convincente de que o suspeito estivera ou não nesse local ou locais.

Lama constitui mistura de argila embebida em água. Geralmente a lama apresenta-se com coloração mais clara que o lodo que representa lama mais antiga, apresentando detritos orgânicos, de cor mais escura, às vezes coberta de limo que é uma variedade de alga filamentosa própria de água doce. O material obtido do local ou locais constituem padrão de confronto para as seguintes análises que deverão ser realizadas:

No *Exame Microscópico* observam-se eventuais minerais que permitam definir um tipo de terra de modo a caracterizar se as amostras colhidas são ou não daquela área e não constituem materiais acidentais daquele terreno.

No *Exame Microquímico* trata-se a lama seca ou lodo seco ou o pó delas oriundo com HCl concentrado, em banho-maria, até conseguir-se a completa desagregação da amostra. Evapora-se então até secura, adicionando-se ao resíduo água

fervente, filtra-se a fim de separar o resíduo insolúvel de  $\text{SiO}_2$ . Evapora-se o filtrado até quase secura, acrescentando-se alguns ml de HCl concentrado. Com esta preparação há condições de serem realizados os seguintes ensaios:  $\text{AL}^{+3}$ ,  $\text{Sb}^{+3}$ ,  $\text{BA}^{+2}$ ,  $\text{CD}^{+2}$ ,  $\text{CA}^{+2}$ ,  $\text{CO}_3$ ,  $\text{Ci}$  e  $\text{Fe}^{+3}$ .

### 3.2.3 Pó

Constitui o produto dessecado, pulverulento, de distintas procedências. Este material colhido de sapatos, barra de calça, camisa, pneumáticos de veículos apresenta, como a lama, interesse criminalístico, apesar de não constituírem manchas propriamente ditas.

Para a coleta de pó de peças de indumento, deve-se colocá-las no interior de saco e sacudido repetidamente a fim de reunir o pó; outra técnica para coleta é aplicar um aspirador.

Considerando a grande variedade de pós, não é possível estabelecer um roteiro de exames. Todavia, pode-se considerar os seguintes tipos de pós:

- *profissionais*: estes pós dão uma idéia da atividade profissional exercida pelo indivíduo como são os casos de pó de tijolo, em serventes de pedreiro e pedreiros; pó de gesso, em escultores e marmoristas; pó de madeira, em madeireiros, marceneiros; resíduos de cola, em carpinteiros; pó de metais, em falsificadores de moedas;
- *resíduos orgânicos*: nas peças de indumento do suspeito da pratica de um delito poderão ser encontrados resíduos vegetais dessecados, típicos de uma determinada área, cuja caracterização poderá levar à confirmação da presença do suspeito no local do fato.

### 3.2.4 Produtos Residuais de Combustão de Explosivos de Armas de Fogo

Qualquer substância ou mistura de substâncias capazes de se transformarem quimicamente em gases, com extraordinária velocidade e considerável desenvolvimento de calor, produzindo elevada pressão e significativa capacidade de trabalho.



Nos cartuchos das armas de fogo há duas espécies de explosivos:

- explosivo iniciador, explosivo primário ou carga de espoletamento, representado por mistura de substâncias que possuem estruturas lábeis, isto é, ricas de energia interna e que por isso com facilidade se decompõem em substâncias estáveis, de baixo conteúdo de energia interna.

Os explosivos iniciadores têm como finalidade provocarem a decomposição química de outros explosivos. Constituem exemplos desta classe de substâncias o fulminato de prata, o fulminato de chumbo (II), a azida de chumbo (II), o trinitroresorcinato de chumbo(II), o guanilnitro-aminoguaniltetrazeno, diazodinitrofenol;

- explosivo secundário, explosivo propelente ou explosivo propulsor representado por mistura de substâncias simples e compostas têm por finalidade a produção de efeito balística, isto é, desalojamento do estojo e arremesso do projétil através da alma do cano e seu deslocamento em direção ao alvo.

Os propelentes constituem pólvoras de base simples e de base dupla.

#### *Manchas Produzidas pelos Produtos Residuais de Combustão dos Explosivos Contidos nos Cartuchos de Munição CBC*

Podem ser detectadas nas mãos do atirador, no corpo da vítima e em peças de roupa utilizadas pelo ofendido e são, sob o ponto de vista químico, pesquisáveis, principalmente através dos íons nitrito e nitrato.

### **3.2.5 Remanescentes de Incêndios**

A análise de remanescente de um incêndio inclui os acelerantes líquidos, mais freqüentes usados, e combustíveis sólidos, tais como parafina de vela e uma grande variedade de misturas químicas.

Em geral, estas misturas são constituídas por um agente oxidante, destinado a fornecer oxigênio para a combustão, tais como os nitratos, cloratos, percloratos, permanganatos, peróxidos, bromatos, cloretos, hipocloretos, nitritos, perborados, persulfatos, etc., e um combustível, açúcar, plástico, enxofre, fósforo, magnésio, alumínio, etc., misturas tidas como verdadeiros explosivos. Os oxidantes são compostos químicos cuja molécula contém oxigênio que ao se combinar com as substâncias combustíveis, através da reação de combustão, desprendem calor.

Alguns agentes oxidantes ao entrar em contato com combustíveis orgânicos, tais como terebentina, óleos vegetais, óleos combustíveis, etc., provocam aquecimento, podendo ocorrer a ignição. Alguns combustíveis reagirão com um agente oxidante, alguns cm outros.

No laboratório, o ponto de partida consiste no isolamento das substâncias inflamáveis das amostras e obtenção da máxima quantidade possível de acelerante puro ou de alta concentração, feita por técnicas de extração. A maneira normal de isolar um acelerante de outros materiais, geralmente sólidos tais como entulhos de construção, cinzas e escórias de materiais diversos, é destilar o líquido do resíduo. O líquido assim obtido pode ser submetido a uma destilação fracionada, resultando purificado, separado de outros constituintes.

A seguir, faz-se uma averiguação das características organolépticas, isto é, cor, aspecto, odor, já que grande parte dos produtos empregados como acelerante da combustão tem odor próprio, o que serve de orientação.

A terceira parte da análise consiste em uma marcha analítica, podendo-se lançar mão de métodos clássicos de química analítica qualitativa orgânica ou de métodos instrumentais físico-químicos. A seleção do(s) método(s) de análise depende do tipo presumido de acelerante, a quantidade da amostra e dos recursos instrumentais disponíveis.

Numerosas técnicas físico-químicas de análise têm sido empregadas, incluindo espectrometria no infra-vermelho e espectrometria de massa, entretanto o procedimento mais difundido é mesmo o da cromatografia gasosa, que divide o líquido em seus componentes separados ou frações, cada um correspondendo a uma curva de composição que serve de comparação. A cromatografia é um dos mais versáteis e mais

usados métodos analíticos aplicados na separação e identificação de misturas simples e até de misturas altamente complexas, baseada na adsorção, na partição ou na combinação desses dois fenômenos.

Em complemento, outros métodos físicos, geralmente dentro da capacidade do laboratório de criminalística podem ser procedidos, incluindo a tornada do ponto de ebulição. De todos esses procedimentos laboratoriais, a informação simples mais importante é a constatação da presença de um líquido inflamável estranho presente no local do incêndio.

Por fim, vem a parte mais delicada - a interpretação dos resultados. Os resultados obtidos serão específicos em alguns casos e, em outros, caracterizados somente por classe. A caracterização específica ocorrerá quando o composto ou mistura de compostos tem uma única característica de identificação. A objetividade é a característica principal de um perito. Dessa maneira, evitará posições unilaterais, sempre prejudiciais ao raciocínio pericial.

Na chegada ao local, o perito poderá encontrar muitos *experts* com uma variedade de opiniões sobre a causa e a origem do incêndio. Estas opiniões devem ser ouvidas com prudência e atenção, pois alguma coisa pode ser de valor para o perito. A habilidade do perito de prescrutar com mente aberta, analisar e compreender cada parte da investigação, irá determinar o *valor da informação*.

O dimensionamento do local deve ser feito para a confecção da correspondente *planta*. Na maioria das vezes, por mais aprimorada que seja uma *descrição*, por mais ampla que seja uma *fotografação*, torna-se difícil, até mesmo, impossível, procedermos à análise de uma dada situação sem uma representação técnico-gráfica. Vê-se, pois, que um desenho é indispensável, mesmo porque, este é, como que, uma minituarização da imagem espectral do local. Seguramente, uma planta reproduz o local sem distorções ou interpretações tortuosas, bem assim, os comportamentos transcorridos de uma maneira global e precisa.

Alguns vestígios orientam a definição da *temperatura máxima presumível* atingida num local de incêndio. Estas informações, às vezes, são necessárias para uma comparação com a temperatura máxima teórica presumível atingida pela combustão dos materiais em função do potencial térmico dos mesmos e das condições de fornecimento

de oxigênio. Deficiências de oxigênio desaceleram a combustão. Abundância de oxigênio propicia rápidas combustões completas. Um brusco enriquecimento de oxigênio, como por exemplo, devido à destruição de portas e outros fechamentos e/ou a ruptura de vidraças, ativam energicamente a combustão, inclusive, dos gases não comburidos ou comburidos parcialmente, podendo com isto, provocar explosões localizadas com acompanhamento de chamas de grande comprimento.

As fusões, destruições de materiais, bem assim, a mudança da cor superficial das estruturas de concreto podem orientar as temperaturas atingidas. Estes dados padrões constam em inúmeros manuais técnicos e a mudança da cor do concreto normal, segundo o *Underwriters Laboratories*, obedece à seguinte escala:

Tabela 3.1 – Mudança de cor com temperatura (°C)

COR	°C
Rosa	300
Roxo	550
Vermelho pálido	600
Cinza esbranquiçado	650
Amarelo alaranjado	950
Amarelo claro	1000

A propagação do fogo, seja num material isolado ou num local, será sempre função da constituição dos combustíveis, das temperaturas atingidas e da aeração (ventilação). Por isto, o perito deve conhecer as propriedades dos materiais em exame, confrontando-as com o sistema de ventilação local. Deve se observar a direção predominante do vento e considerar, quando for o caso, a progressiva ruptura dos vidros das portas e janelas, que ocorre com a temperatura por volta de 100°C.

A forma da carbonização da parte externa de um indicativo irá mostrar o sentido original de progressão do fogo. É importante comparar sempre a profundidade da carbonização no nível superior da superfície com a parte de baixo, bem assim, uma face com a face oposta. Uma maior carbonização no lado de um objeto, em relação ao lado oposto, indicará que o fogo originou-se no plano baixo daquele lado.

Um outro tipo de carbonização que pode ser de valor para o perito é a chamada *linha de atuação do calor*, pequenas marcas mais ou menos Situadas no mesmo nível,

encontradas nas paredes do setor sinistrado, indicando a distância até a qual o intenso calor, efetivamente, atuou. Estes delineamentos se manifestam pela formação de bolhas, descoloração ou cozimento das superfícies das paredes, pelo desprendimento de azulejos, facilmente afetados pelo fogo, ou ainda, pela fusão e deformação de lâmpadas, instalações elétricas e hidráulicas e adornos.

Com o intuito de determinar a origem de um incêndio no espaço, o perito deve primeiramente, localizar a área compartimental em que teve início. Um incêndio consome material combustível. Normalmente, a área estará exposta ao calor e às chamas por um período de tempo mais longo. Portanto, a carbonização e a destruição serão maiores neste local. Logo, a origem é usualmente encontrada onde a estrutura é mais severamente destruída.

Encontrada a área compartimental da origem do incêndio, o passo seguinte é encontrar o foco de fogo. Frequentemente o foco de fogo estará localizado na parte mais baixa da área, podendo assumir formas físicas características e bem definidas em função do comportamento natural do fogo.

Algum foco de fogo que se evidencia na área externa poderá indicar a localização do foco interno. Usualmente, o foco interno é encontrado em estreita correspondência com o foco externo.

A tendência do calor em um incêndio, é aumentar, à medida que a combustão se desenvolve. O incremento de calor é proporcional à qualidade e à natureza do material comburido. À proporção que aumenta, ocorre a pirólise e a carbonização dos materiais combustíveis. Com a continuação da pirólise, a carbonização vai se aprofundando. O resultado é um cone (cone invertido ou 'V'), que se constitui no ponto de maior interesse para o perito. Configurações desse cone, em geral, ficam visíveis em superfícies verticais. A parte inferior e menor do cone invertido indicará a origem do fogo, referencialmente.

O fogo não tem origem ao acaso. Situado o foco de fogo, caberá ao perito estabelecer a sua verdadeira causa. O fato ou fenômeno, que o originou, o agente da sua gênese. Isto se faz tendo em mente as propriedades comportamentais do fogo no material e as circunstâncias do lugar e do momento. Muitos Incêndios têm causa atribuída a curto-circuito elétrico e outros fenômenos correlatos, assim como muitos

incêndios são acompanhados por estes fenômenos, consequência da posterior degradação dos dielétricos.

Uma multiplicidade de pontos curto-circuitados pode ser um vestígio de que foram produzidos após a generalização do incêndio. Fiação protegida por eletroduto, embora passíveis de curto-circuito, raramente causam incêndio.

Nos incêndios associados a gases, tais como GLP, o perito deverá orientar-se pelos limites de explosibilidade dos combustíveis e pelas equações estequiométricas do processo de combustão.

O exame genérico do local de incêndio e, em particular, dos pontos atingidos, compreende o estudo das trajetórias do fogo, das gradações de intensidade nas combustões localizadas e confrontadas com a natureza dos materiais combustíveis, suas situações, disposições espaciais e as ocorrências fenomenicamente cognoscíveis, capazes de patrocinar a origem dos eventos.

Segundo a natureza do combustível, os incêndios são tecnicamente classificados em:

- INCÊNDIOS DE CLASSE A OU INCÊNDIOS COMUNS

Este tipo de incêndio é o que envolve combustíveis que deixam resíduo sólido, promovendo a formação de fumaça e cinzas. Exemplos: incêndios com queima de madeira, tecidos, papéis, couro, etc.

- INCÊNDIOS DE CLASSE B

Este tipo de incêndio é o que ocorre em combustíveis líquidos. Exemplos: incêndios decorrentes da combustão do etanol, éter comum, gasolina, querosene etc., não deixam resíduos. Os combustíveis líquidos podem ser classificados em voláteis e não voláteis.

Um combustível é considerado volátil quando, nas condições ambientais de temperatura e pressão emite, vapores inflamáveis. Exemplos: gasolina, nafta, éter comum, hexano, tolueno, benzeno.

Um combustível é considerado não volátil quando, nas condições ambientais de temperatura e pressão não emite vapores. Exemplos: óleo combustível, óleo diesel, óleo lubrificante etc.

- INCÊNDIOS DE CLASSE C

Este tipo de incêndio ocorre em correntes elétricas ou equivalentes elétricos. Exemplos: queima de geradores, motores, tomadas de corrente etc.

- INCÊNDIOS DE CLASSE D

Este tipo de incêndio é aquele que se manifesta em ligas metálicas combustíveis. Exemplos: ligas de magnésio de zircônio etc.

- INCÊNDIOS DE CLASSE F

Este tipo de incêndio é o que ocorre em combustíveis que deixam resíduos (cinza), envolvendo paralelamente os incêndios de classes A, B e C. Exemplos: cinemas, teatros, fábricas, hospitais, escolas, veículos automotores, poços de petróleo, navios, matas etc.

- INCÊNDIOS NATURAIS

Os incêndios naturais de etiologia física podem ser provocados pelas descargas elétricas silenciosas ou raios. Os incêndios de etiologia biológica são representados pela ação de bactérias termogênicas. Os incêndios de etiologia físico-química compreendem as combustões espontâneas, fenômeno que ocorre com moléculas de estruturas lábeis, como o são os hidrocarbonetos insaturados e as gorduras de origens

animal e vegetal quando armazenadas em determinados recintos confinados. Na realidade há substâncias químicas que sofrem lenta oxidação em presença do ar e liberam discretas quantidades de calor: não ocorrendo a dissipação deste calor, a temperatura se eleva até atingir o ponto de ignição do material, incendiando-se.

A combustão espontânea dá-se principalmente quando a substância química se encontra granulada ou particulada, de modo a apresentar grande superfície em contato com o O<sub>2</sub> do ar e existir considerável quantidade de material estocado; deste modo há concentração de calor, progressivamente aumentando até toda a massa inflamar-se. Os compostos sensíveis à entrarem em combustão espontânea podem ser divididos em dois grupos:

- ✓ Óleos e gorduras animais ou vegetais; os óleos de linho, cânhamo, de algodão, de noz, de peixe oxidam-se rapidamente em contato com o O<sub>2</sub> do ar, em reação exotérmica sensível; por outro lado, os óleos de oliva, de amêndoa, de nabo silvestre são menos oxidáveis que os primeiros, porém também suscetíveis de se inflamarem, particularmente em contato com trapos, pó de carvão vegetal, serragem.
- ✓ carvão de madeira, hulha, lignita podem inflamar-se espontaneamente, pois absorvem O<sub>2</sub> quando expostas ao ar, especialmente quando estes materiais se encontram em estado pulverulento; o calor favorece e acelera a reação química que se desenvolve com substâncias em elevado grau de subdivisão.

A combustão espontânea, além de sua etiologia química, pode também ter uma origem biológica, quando ocorrem fermentações provocadas por microorganismos ou mais precisamente pelos fermentos ou enzimas por eles produzidos; tal fenômeno bioquímico é exotérmico, verificando-se que a temperatura lenta e progressivamente se acelera, crescendo paralelamente o processo fermentativo, de modo a provocar a inflamação no material em fermentação.

Há determinadas substâncias químicas capazes de se inflamarem no ar, isto é, sofrerem combustão espontânea; é o que ocorre com o fósforo branco que tem a



propriedade de inflamar-se espontaneamente em presença do O<sub>2</sub> do ar; o mesmo ocorre com pó ou limalha de alumínio, de magnésio ou zinco sob o efeito da umidade da atmosfera. Um composto que merece menção especial é a cal viva ou cal virgem (CaO), óxido incombustível que reage com a água originando o hidróxido de cálcio e desenvolvendo considerável quantidade de calor.

O tema, causa de incêndio, dá margem ao estabelecimento de critérios classificatórios deste evento. Deste modo, as mais destacadas causas de incêndio podem ser resumidas em:

- ✓ naturais, compreendendo as combustões espontâneas decorrentes de processos físicos, químicos e biológicos; os agentes externos naturais (descargas elétricas atmosféricas, erupções vulcânicas, terremotos, a luz solar, inundações) e os agentes externos acidentais (atrito, acidentes em laboratórios, quedas de aeronaves, colisões de veículos automotores) acidentes elétricos (sobrecargas em instalações elétricas);
- ✓ acidentais culposas, implicando em ações ou omissões imprudentes, negligentes ou imperitas, as modalidades culposas de incêndios envolvem os ocasionados por falta de habilidade, desconhecimento, omissão ou descuido do agente;
- ✓ propositais dolosas, decorrentes de ação ou omissão delituosa ou mórbida.

As modalidades dolosas de incêndios podem ter diversas etiologias: encobrir outro delito, lucros decorrentes de seguros, vingança.

#### – FONTES DE IGNIÇÃO

A identificação da fonte de ignição é um dos objetivos básicos da perícia de incêndios, etapa de fundamental importância para a satisfatória conclusão dos trabalhos. Quando se localiza o foco de fogo e se determina a fonte de ignição, praticamente a perícia está concluída.

O processo de verificação do foco de fogo original está diretamente relacionado com a fonte de ignição, razão pela qual o ponto de origem e a fonte de ignição constituem a base para a reconstituição da eclosão do incêndio, bem como da determinação de sua causa e categoria.

Algumas dessas fontes de calor podem ser simultaneamente encontradas em praticamente todas as edificações, entretanto, há de se assinalar que, normalmente, só uma representa o agente ígneo patrocinador do evento, só uma contribui para a gênese do sinistro. O trabalho pericial consiste em determinar, provando sob critérios incontestes, qual delas é responsável pelo início do fogo. Nesta objetivação, a seleção e eleição são contempladas pela coincidência ou proximidade do foco de fogo com a fonte de ignição. Vejamos as mais comuns fontes de ignição, aduzindo como elas se manifestam e a maneira prática como podem ser verificadas.

✓ *Fricção*

O calor produzido mecanicamente ou, simplesmente, calor mecânico, é o calor de fricção gerado quando duas superfícies em movimento relativo se atritam entre si, sendo o calor produzido em decorrência do princípio da conservação da energia, pela conversão de energia cinética em energia térmica.

Qualquer parte fixa ou móvel de um equipamento, em contato com parte móvel, produz calor mecânico. Desta forma, correias transportadoras, tornos, fresas, estampadoras, retificadoras e outras máquinas ferramentas podem ser fontes de ignição.

A fricção pode ser também o antecedente causal de um fogo de natureza elétrica. Se dois cabos energizados roçam entre si por tempo suficiente para destruir o isolamento, os condutores se curto-circuitam, gerando calor para iniciar um incêndio. Assim sendo, o eixo dos motores, por exemplo, são construídos para girar sobre rolamentos, de modo a reduzir a fricção e o calor que esta gera. Se um rolamento está defeituoso ou insuficientemente lubrificado, a fricção entre o eixo e o rolamento pode gerar o necessário calor para ignizar combustíveis próximos, incluindo-se componentes do mesmo motor.

Nos motores, o mais comum é que o calor mecânico se gere nos rolamentos. Deve-se inspecionar a carcaça dos rolamentos, onde poderão ser constatados os sinais da combustão estendendo-se até fora do rolamento defeituoso. As correias de transmissão são projetadas para trabalharem a uma determinada tensão específica, de modo a se moverem adequadamente com as polias, minimizando a fricção. Se a correia está demasiadamente distendida, desliza e fricciona com as polias, novamente podendo produzir suficiente calor para eclodir um incêndio. Também pode engripar o eixo, provocando o superaquecimento do motor e sua ignição.

Se há conjectura de que uma correia provocou um incêndio, deve-se examinar as partes internas dos remanescentes, onde devem ser evidenciadas queimaduras. A própria polia deve mostrar descoloração por alta temperatura ou queimaduras superficiais. O foco de fogo baixo deve se achar nas circunvizinhanças da correia, todavia, a correia pode se queimar e cair no solo, causando uma combustão abaixo do nível de friccionamento.

#### ✓ *Impacto*

Por si só, um impacto pode provocar a explosão de produtos de pouca estabilidade, aqui incluindo-se os explosivos e uma série de produtos químicos como o acetileno. O choque entre certos metais ou entre alguns destes e outros materiais produz faísca. Se um caminhão ou vagão-tanque de transporte de líquidos inflamáveis colide, o choque pode romper o tanque ao mesmo tempo em que se gera suficiente calor de fricção para inflamar o combustível.

Da mesma forma, quando recipientes com gases liquefeitos se rompem e a pressão interna se iguala à pressão atmosférica, o calor que está armazenado no líquido produz uma rápida vaporização de parte do líquido, ocorrendo uma característica explosão com liberação de pressão (bleve) ou seja, explosões de vapores em expansão e líquidos em ebulição.

Naqueles casos em que haja rompimento de tanques ou de outros recipientes, o impacto, frente ao calor dele advindo, pode ser considerado como potencial fonte de ignição. Dificilmente o perito consegue provar objetivamente que um impacto foi a

causa de um incêndio porque é de difícil detecção e de caracterização, vez que o impulso dos corpos que colidem os arremessam para fora do sítio de choque, e as explosões que, nesses casos, normalmente acompanham os incêndios, destroem provas e dispersam remanescentes.

✓ *Energia Solar*

Um feixe de luz incidindo sobre a região central de uma lente esférica convergente, paralelamente ao eixo óptico, emerge formando um cone que converge para um ponto (foco) localizado sobre o eixo óptico, onde se concentra. Os raios do sol, que chegam à terra praticamente paralelos, podem ser concentrados no foco de uma lente convergente, permitindo a combustão de matérias de baixo ponto de inflamação.

Uma lupa, por excelência, e uma garrafa, um vaso com água, o vidro de uma janela, e, praticamente qualquer objeto transparente, que opticamente podem ser consideradas como rudimentares lentes esféricas convergentes, em certas condições, concentram os raios solares sobre material combustível, aquecendo-o durante certo tempo. Quando a temperatura alcança o ponto de inflamação, eclodem incêndios.

Ervas secas, folhas de papel ou elementos de construção em madeira podem pirolizar-se e ter os vapores destilados ignizados pelos raios solares concentrados. Para se positivar a energia solar como causa de incêndio deve-se determinar a hora aproximada em que a inflamação se produziu, o ângulo de incidência dos raios solares na lente e as posições relativas entre o foco de fogo, necessariamente constituído por material de fácil ignição, e a trajetória dos raios refratados.

✓ *Combustão Espontânea*

Certos combustíveis podem se inflamar como resultado de aquecimento interno espontâneo em consequência de um processo exotérmico no qual a taxa de calor produzido é maior do que a taxa de calor dissipado nas imediações.

Chama-se combustão espontânea ao processo físico-químico através do qual determinados materiais se inflamam sem o concurso de uma chama ou faísca de ignição. O corpo absorve oxigênio do ar atmosférico ou de outros corpos e com isso se aquece de tal modo que é atingido o ponto de inflamação e assim o corpo se inflama sem o concurso de uma chama ou faísca.

Em linhas gerais, o processo começa com a lenta absorção de oxigênio. A oxidação é exotérmica e, se o lugar em que ocorre não for suficientemente ventilado, de modo a permitir a acumulação de calor, a temperatura aumenta progressivamente devido à êxtase do calor, até ser atingido o ponto de inflamação do material. Vê-se, pois, que as combustões deflagradas em razão de uma influência física exterior não se enquadram nessa classe de fenômeno.

Rigorosamente, qualquer processo de inflamação conseqüente da adução de calor externo não pode ser considerado combustão espontânea. Assim, casos de combustão resultantes da decomposição interna do corpo, devido à influência dos raios solares, não são considerados como combustão espontânea, a menos que a deflagração por decomposição tenha se dado exclusivamente devido a fatores intrínsecos, bem assim, não é combustão espontânea a deflagração por influência física exterior, embora o corpo se inflame sem a ação de uma chama direta quando é atingido o ponto de ignição. Por outro lado, a atividade bacteriana pode auxiliar a combustão mas não a pode deflagrar porque as bactérias morrem com aproximadamente 70°C.

Quadro 3.1 - Substâncias químicas capazes de provocarem combustões espontâneas

SUBSTÂNCIA	TENDÊNCIA PARA COMBUSTÃO ESPONTÂNEA	ACONDICIONAMENTO	PRECAUÇÃO CONTRA AQUECIMENTO ESPONTÂNEO	OBSERVAÇÕES
Alfafa (alimento)	Alta	Sacos, fardos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ evitar umidade excessiva;</li> <li>▪ transportar em carros hermeticamente fechados</li> </ul>	faíscas, respingos quentes, cigarros acessos, podem provocar “fogo surdo” por alguns dias, antes de se irromper em labaredas
Amendoim (pele vermelha)	Alta	Sacos de papel grosso, latas e caixotes	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ evitar armazenamento mal ventilado</li> </ul>	trata-se da parte do amendoim entre a casca e o próprio amendoim.
Bacalhau (óleo de bacalhau)	Alta	Tambores, latas e vidros	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ evitar contato com trapo, estopa, tecidos ou outros materiais combustíveis fibrosos</li> </ul>	materiais orgânicos impregnados são extremamente perigosos e devem ser guardados em recipientes e locais seguros.
Carvão vegetal	Alta	Sacos e montes	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ guardar frio;</li> <li>▪ suprimento de ventilação;</li> <li>▪ evitar molhagem seguida de secamento</li> </ul>	carvão de madeira dura deve ser cuidadosamente preparado e envelhecido.
Milho para alimentação	Alta	Sacos de papel	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ o material deve ser tratado cuidadosamente para manter-se ao abrigo de umidade e “curtido” antes da estocagem</li> </ul>	usualmente contém apreciável quantidade de óleo, o qual tem a tendência mais ou menos elevada para se aquecer.
Peixe (alimento)	Alta	Sacos e montes	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ conservar umidade de 6% a 12%;</li> <li>▪ evitar exposição ao calor</li> </ul>	perigoso se seco em demasia ou empacotado acima de 38°C.
Peixe (óleo)	Alta	Tambores, tanques e vidros	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ evitar contato com materiais combustíveis fibrosos</li> </ul>	a tendência ao aquecimento varia com a origem.
Peixe seco	Alta	Sacos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ evitar umidade</li> </ul>	carregamento ou estoque de peixe seco antes de refrigerado é bastante suscetível de aquecimento.
Tinta a óleo	Alta	Tambores, latas e vidros	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ evitar contato com trapo, estopa, tecidos ou materiais combustíveis fibrosos</li> </ul>	materiais orgânicos impregnados são extremamente perigosos e devem ser guardados em recipientes e locais seguros.

Comprova-se, na prática, que as substâncias com estrutura molecular instável tendem para a combustão espontânea. Entre elas estão os hidrocarbonetos insaturados e as gorduras vegetais e animais. Contudo, esta só se manifesta se a decomposição interna ocorrer com uma velocidade que permita um aquecimento crescente. É necessário que existam condições externas para que este calor possa se estagnar e absorva oxigênio e para tal deve apresentar uma superfície relativa suficientemente grande.

Com materiais sólidos, dois fatores principais favorecem à combustão espontânea. Primeiro, o material deve ser suficientemente poroso para permitir o oxigênio permear através da massa e, segundo, ele deve produzir carvões rígidos quando submetido à decomposição térmica.

O fenômeno é normalmente associado com massas relativamente grandes de material e sua principal característica é que a combustão inicia profundamente dentro do material onde é maior o efeito do auto aquecimento. Isto dará um aumento da onda de combustão sem chama que vagarosamente se propagará para fora do material.

Em sólidos a granel, a combustão se inicia como uma reação sem chamas dentro do material e se propaga vagarosamente para fora. O fogo inicialmente é profundamente assentado e embora ele possa liberar uma combustão flamejante quando assoma através da superfície, deixa para trás evidências da prolongada queima interior.

Em linhas gerais, para que a combustão espontânea ocorra é necessário que as seguintes condições sejam satisfeitas:

- que o material tenha tendência para a combustão espontânea;
- o material tem que oferecer uma grande superfície relativa para permitir a adequada e suficiente absorção de oxigênio;
- as condições de armazenamento devem ser de forma a impedir a dissipação do calor;
- o material deve ter baixo ponto de inflamação.

Antes de se concluir que um determinado material sofreu combustão espontânea, outras fontes de ignição devem ser afastadas e essas condições observadas.

✓ *Descargas Atmosféricas*

A maneira pela qual uma nuvem se eletriza e acumula a quantidade de carga elétrica necessária para produzir um raio é assunto que ainda não está devidamente esclarecido.

Entre as várias teorias explicativas do fenômeno destacam-se as de Simpson, Elster e Geitel, segundo as quais, em linhas gerais, a formação de cargas elétricas atmosféricas deve-se a um conjunto de fenômenos entre os quais figuram as correntes ascensionais de ar úmido, coadjuvadas pelo calor e pelos atritos entre mínimas gotículas de água, originando potenciais de milhões de volts nas nuvens.

Estas cargas são predominantemente positivas na parte superior das nuvens, negativas nas partes inferiores, e tendem a se descarregar para a Terra ou para outras nuvens, dependendo da rigidez dielétrica do ar.

A parte inferior da nuvem, carregada negativamente, induz cargas elétricas positivas no solo, estabelecendo um campo elétrico intenso entre a nuvem e o solo. Quando a rigidez dielétrica do ar é superada pelo gradiente de tensão, o evento se inicia com uma descarga-piloto que passa da nuvem para a Terra, seguindo trajetórias em ziguezague através das regiões de maior condutividade elétrica, apresentando o aspecto de uma árvore invertida. Esta etapa não é contínua mas da ordem de 50 metros, com intervalos estimados em 100 microssegundos entre eles, e com velocidades de aproximadamente 1.500 quilômetros por segundo.

A descarga-piloto provoca a ionização do ar ao longo do percurso. Assim, através da região ionizada, produz-se uma segunda etapa, uma descarga elétrica chamada de descarga principal, podendo o processo ocorrer repetidas vezes.

Portanto, o raio é um fenômeno atmosférico resultante do acúmulo de cargas elétricas em uma nuvem e a conseqüente descarga sobre o solo terrestre ou sobre qualquer estrutura que ofereça condições favoráveis para tal. Além dos conhecidos



efeitos ópticos e sonoros, respectivamente, o relâmpago e o trovão, o raio também apresenta efeitos elétricos, térmicos e mecânicos.

O relâmpago, visualizado como um clarão, resulta de descargas elétricas entre as nuvens ou entre uma nuvem e a Terra, é o efeito luminoso das correntes elétricas nos meios gasosos provocado pela ionização do ar. Por outro lado, estima-se que a temperatura no interior de um raio chega a 30.000°C. Tal gradiente aquece o ar com tamanha intensidade e em curtíssimo lapso de tempo, que este se expande explosivamente, produzindo uma onda sonora de grande amplitude, denominada trovão, efeito sonoro do raio.

Dentre os efeitos elétricos do raio encontram-se a mudança no fluxo de corrente, a indução de cargas, a ionização da atmosfera, a produção de ozônio e a magnetização do ferro.

Os efeitos térmicos, normalmente coadjuvados por efeitos mecânicos, são, principalmente, responsáveis pelas deformações e grandes estragos, observando-se entre estes: rupturas, estilhaçamento pelo deslocamento do ar, fusão e volatilização de metais e de outras substâncias, vitrificação da sílica da areia e a súbita expansão do vapor d'água, esta diretamente responsável por desmoronamentos de paredes e de estruturas e pelo cisalhamento de árvores e de peças de madeira devido à brusca evaporação da seiva ou da umidade que contenham.

#### ✓ *Eletricidade Estática*

Cargas eletrostáticas formam-se sempre que duas superfícies em contato, e portanto, se atritando, entram em movimento relativo. Estas cargas escoam rapidamente para a terra logo que se formam, entretanto, se a carga é formada em material não condutor ou em material insuficientemente ou não aterrado, ela persiste por certo tempo, determinando um campo elétrico e, conseqüentemente uma diferença de potencial. Quando esta atinge determinado gradiente para vencer a rigidez dielétrica do meio, a carga se descarrega por meio de faísca, causando a inflamação de materiais combustíveis.

Exemplos de materiais não condutores são os tecidos, plásticos e a maioria dos hidrocarbonetos líquidos.

✓ *Eletricidade Dinâmica*

Entre as causas comuns de incêndios elétricos destacam-se curtos-circuitos e arcos elétricos devidos a contatos defeituosos, conexões soltas, condutores quebrados e falhas de isolamento. Igualmente, condutores e motores sobrecarregados são fontes de inflamação.

Por outro lado, os criminosos usam sistemas elétricos para que incêndios provocados pareçam acidentais e a distinção de um incêndio elétrico entre acidental criminoso é algo realmente difícil para o mais experiente perito.

✓ *Brasas, Faíscas e Chama Aberta*

A mais comum fonte de ignição é a chama aberta tal como a de um fósforo, isqueiro, vela e a brasa de um cigarro. Quando num foco de fogo não se verifica nenhum agente ígneo, a chama aberta haverá de ser considerada como possível fonte de Inflamação.

Algumas vezes, a eclosão por chama aberta fica evidenciada pela parafina derretida de uma vela, pela presença de palito de fósforo ou pelo filtro de um cigarro em brasa, todavia, há de se concordar com a possibilidade dessas evidências materiais terem sido consumidas pelo fogo, dificultando, sobremaneira, a classificação do incêndio entre acidental e proposital, de qualquer forma, nunca se descurando de que estas são responsáveis por grande parte dos incêndios intencionais.

Estas chamas abertas, a brasa de um cigarro ou as faíscas têm energia de ativação suficiente para atingir o ponto de inflamação dos materiais. Faíscas elétricas representam uma descarga de corrente elétrica através do ar enquanto que faíscas reais (ou tipo partícula) consistem em pequenos fragmentos de materiais sólidos queimando ou em brasa, movimentando-se no ar.

### 3.2.6 Remanescentes de Explosões

- *Eletrização e Fluxo de Líquidos*

O escoamento de líquidos por tubulações industriais é sempre em regime turbulento – as partículas do fluido movem-se aleatoriamente em todas as direções. O escoamento é causado por bombas hidráulicas, equipamentos que transferem energia de uma determinada fonte para o líquido, em consequência do que este se desloca de um ponto para outro através do conduto.

No escoamento turbulento, com o movimento desordenado das partículas do líquido, ao contrário do que ocorre quando o escoamento não é turbulento (regime laminar), há fricção do líquido com a superfície interna das paredes do conduto, de modo que, quando um líquido flui de um ponto para outro do conduto, parte da energia conferida pela bomba se dissipa devido ao contato da camada fluída com as paredes rígidas da tubulação, que oferecem resistência de atrito ao movimento do fluido, fenômeno denominado perda de carga por fricção (H) que é função da forma, do tamanho, da rugosidade da superfície interna do conduto com o qual o líquido entra em contato, da velocidade de circulação do mesmo e da viscosidade deste, matematicamente representada pela equação de D'Arcy-Weisbach:

$$H = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (\text{equação 3.1})$$

onde:

- H = perda de carga por fricção
- F = fator de resistência;
- L = comprimento do tubo;
- V = velocidade de escoamento;
- g = aceleração da gravidade;
- D = diâmetro da tubulação.

Quando um produto refinado de petróleo flui, em regime turbulento, através de uma tubulação, uma carga de eletricidade estática pode se acumular no líquido.

- *Vaporização dos Líquidos*

Quando um líquido se evapora num espaço de dimensões limitadas, tais quais os tanques de armazenamento de combustíveis de petróleo, este ficará ocupado pelo vapor que se forma.

A vaporização continua até um certo ponto quando parte das moléculas vaporizadas se chocam com a superfície do líquido, voltando a fazer parte deste. Portanto, quando um líquido se evapora num espaço confinado, dois processos opostos se verificam na operação. O processo de vaporização que tende a passar o líquido ao estado de vapor; o processo de condensação que tende a levar de novo o vapor produzido ao estado líquido. Neste ponto, há uma verdadeira correspondência caracterizada pelo conceito de pressão de vapor, isto é, a pressão em que um líquido e o seu vapor podem existir em equilíbrio dinâmico.

É importante ressaltar que a produção de vapor é proporcional à temperatura, posto que aumenta a pressão de vapor. A pressão de vapor, isto é, a pressão exercida pelas moléculas de vapor; logo, qualquer aumento de temperatura provocará aumento na pressão de vapor, já que intensificará a formação de vapor, servindo tal assertiva para demonstrar porque as operações de baldeação de derivados de petróleo são mais perigosas em ambientes com temperaturas mais elevadas, assim como mais perigosas no verão do que no inverno e mais, durante o dia do que à noite.

Igualmente, vapores inflamáveis podem ser produzidos naturalmente em recipientes que contenham ou tenham contido petróleo, tais como tanques de gasolina de automóveis ou outros depósitos como os tradicionais tambores metálicos de 200 litros; em recintos confinados, em caminhões e vagões-tanques e em navios petroleiros. No primeiro caso, quando fica um espaço livre acima da superfície do produto, possibilitando a formação de vapores; no segundo caso, os vapores são emanados dos resíduos que ficam impregnados nas paredes internas dos depósitos.

- *Combustão de Vapores Inflamáveis*

Para haver uma combustão é condição necessária e suficiente a existência de combustível e oxigênio em determinadas proporções e de uma fonte de calor para desencadear o processo, isto é, fazer com que seja atingida a temperatura de ignição do combustível - temperatura na qual um material combustível começa a queimar.

Pelo fato da combustão ser uma reação química, implicando em íntima mistura dos elementos reagentes, os gases e vapores combustíveis, por se misturarem mais facilmente com o oxigênio do que os combustíveis sólidos e líquidos, são mais favoráveis à combustão, produzindo combustões rápidas e até explosões.

Sendo a combustão uma reação química, está sujeita as leis ponderais que relacionam as massas das substâncias que participam das reações químicas, determinando concentrações limites em que o fenômeno pode se desencadear.

Então, para que uma massa de vapores combustíveis se inflame é necessário que esteja numa determinada concentração no exato momento em que uma fonte de calor, tal como uma centelha elétrica, faz com que seja atingido seu ponto de ignição. Quanto mais próximo da proporção correta, definida pela Lei de Proust, tanto mais rápida e completamente ocorre a combustão. De modo contrário, quanto mais nos afastamos da proporção estequiométrica, tanto mais lenta e difícil se torna a combustão, até que se chega a limites máximos e mínimos além dos quais não se tem combustão, chamados de limites de inflamabilidade e definindo uma faixa ou intervalo, no qual, definitivamente, a combustão ocorre.

Pelo exposto, verifica-se, sempre, na prática, formação de cargas elétricas pelo escoamento de derivados de petróleo em tubulações e formação de vapores inflamáveis acima da superfície do líquido por ocasião do carregamento do veículo.

Devido à pequena condutividade elétrica de alguns produtos refinados, a quantidade de carga dissipada é pequena. Se a quantidade de carga gerada é maior, fica no líquido uma significativa quantidade de carga. Acumula-se, então, um potencial de várias centenas de volts, com correntes de descarga de alguns microamperes, os quais podem gerar uma centelha entre a superfície do líquido e um acessório qualquer.

### 3.2.7 Gases de Interesse Criminalístico

- *GÁS CARBÔNICO*

Fórmula:  $\text{CO}_2$ . Ocorrência na atmosfera terrestre: 0,27% a 0,036%, em volume. Ocorrência na água: em mananciais de águas efervescentes. Ocorrência em depressões do terreno de determinadas regiões:

Sob o ponto de vista fisiológico pode provocar dispnéia, vômito, desorientação quando presente em concentração de 5% na atmosfera do ambiente em que o indivíduo respira durante cerca de 30 minutos; em concentração de 10%, produz estes mesmos efeitos em poucos minutos. Em concentrações entre 12 e 15%, o indivíduo entra rapidamente em inconsciência e a 25% em volume no ambiente onde o  $\text{CO}_2$  se encontra, provoca a morte por atuar sobre o centro respiratório, anestesiando-o e paralisando-o; nestas circunstâncias, há cianose, respiração lenta, podendo ocorrer choque e parada cardíaca. Se houver permanência do indivíduo por determinado espaço de tempo em ambiente onde o  $\text{CO}_2$  se acumula, como câmara subterrânea, porão de navio, mina próxima de local onde se desintegra matéria orgânica, silo, poço ou caverna, a pessoa sofrerá convulsões, coma, acidose e distúrbios respiratórios. Os efeitos fisiológicos dependem da concentração, do tempo de exposição, da temperatura, da umidade, do estado de saúde, etc.; o  $\text{CO}_2$  sob pressão sublima, convertendo-se em um sólido branco chamado neve carbônica ou gelo seco, na temperatura de  $-78,5^\circ\text{C}$ .

- *METANO*

Fórmula:  $\text{CH}_4$ . Forma-se pela decomposição bacteriana da matéria orgânica na ausência do ar nos pântanos; sob a forma de gás grisú nas minas de carvão; como componente, de maior importância, do gás natural nos campos petrolíferos; acha-se na composição do gás de iluminação (cerca de 36%), encontrando-se no intestino do gado vacum e do homem.

Apesar de ser atóxico é um gás incompatível com a respiração ocasionando asfixia mecânica se um indivíduo for exposto, à atmosfera de  $\text{CH}_4$ . Em altas concentrações é narcótico na ausência de ar.

## Identificação química

- ✓ oxidação catalítica da mistura  $\text{CH}_4$  e  $\text{NH}_3$ ; origina-se HCN que pode ser identificado pelos ensaios de Gastaldi, Schoembein, Guignard etc. Pela identificação química do HCN, indiretamente identifica-se o  $\text{CH}_4$ .

- *CLORO MOLECULAR*

Fórmula:  $\text{Cl}_2$ . Não se acha livre na natureza em função de sua elevada reatividade. O  $\text{Cl}_2$  é um gás amarelo-esverdeado, de odor penetrante e irritante, mais denso que o ar atmosférico, pouco solúvel na água (100g de água a  $0^\circ\text{C}$  dissolvem 1,46g de  $\text{Cl}_2$ , originando a chamada água de cloro); é liquefeito na temperatura de  $-33,7^\circ\text{C}$  na pressão ambiente e congela a  $-102^\circ\text{C}$  sob a forma de sólido de cor amarelo-pálida.

Quimicamente, o  $\text{Cl}_2$  combina-se com a maioria dos elementos químicos, formando compostos binários chamado cloretos; reage igualmente com vários compostos, pondo em liberdade outros elementos como o  $\text{O}_2$ ,  $\text{Br}_2$ ,  $\text{I}_2$ .

Sob o ponto de vista fisiológico, o  $\text{Cl}_2$  foi o primeiro dos gases a ser utilizado na guerra química: em 22 de abril de 1915.

A intoxicação aguda por inalação de quantidades elevadas, o que significa dizer na proporção de 1% no ar, já expõe o indivíduo à morte, provocando sensível irritação das mucosas, pele azulada, suores frios, pulso fraco e a morte. A intoxicação crônica freqüente em operários de fábricas de produtos químicos, laboratórios químicos, indústrias de alvejamento de tecidos e de papel, estampagem e desinfecção, provoca catarro e outras afecções do aparelho respiratório, queimadura no estômago, irritação: a pele fica esverdeada e as mucosas se inflamam; observa-se também lacrimejamento constante e tosse persistente. A agressividade do  $\text{Cl}_2$  é tão intensa que os vegetais expostos a uma atmosfera deste gás ressecam e perecem. O  $\text{Cl}_2$  pode ser reconhecido através do papel de fluoresceína

O papel de filtro assim preparado muda a coloração de amarelo-esverdeada para rosa devido à formação de eosina. O  $\text{Cl}_2$  pode ser reconhecido pela reação de

Villiers, isto é, pela solução acética de anilina; o  $\text{Cl}_2$  torna esta solução intensamente azul. O  $\text{Cl}_2$  reage com a o-tolidina conferindo-lhe coloração amarela.

- *DIÓXIDO DE ENXOFRE*

Fórmula:  $\text{SO}_2$ . Este gás se encontra nas emanções provenientes dos vulcões e nas proximidades de centros industriais, originando-se na combustão da hulha que contém impurezas de enxofre. Sob o ponto de vista físico, é um gás incolor e incombustível, dotado de odor picante e irritante; seu odor lembra a osso ou cabelo queimado; nas condições ambientais de pressão e temperatura é muito solúvel na água: a  $0^\circ\text{C}$  e 1 atm, em determinadas condições climáticas, encontrando-se o ar úmido e em baixa pressão, faz com que o  $\text{SO}_2$  permaneça na atmosfera das cidades, provocando intoxicações coletivas; sob o ponto de vista químico, o  $\text{SO}_2$  reage com a água originando um ácido fraco, o  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ; sob o ponto de vista fisiológico, o  $\text{SO}_2$  é tolerado no ar até 5ppm; em 400ppm provoca intoxicação grave e 1.000ppm provoca morte em pouco tempo. Este gás causa irritação das mucosas e das membranas, dispnéia, tosse, respiração tipo asmática; aos olhos pode determinar edema palpebral, conjuntivite e queda do epitélio córneo com queratite; à pele provoca edema e flictema.

Para detectá-la no ar atmosférico emprega-se papel de filtro embebido em solução aquosa de amido saturado de solução de KI a 1%: em presença de  $\text{SO}_2$  o papel de filtro assim tratado adquirirá cor azul.

- *DIÓXIDO DE NITROGÊNIO (VAPOR NITROSO)*

Fórmula:  $\text{NO}_2$ . Encontrado acidentalmente no ar atmosférico em decorrência da combustão de substâncias que contenham nitrogênio, como combustíveis para foguetes, explosivos, cigarros, adubos. O  $\text{NO}_2$  constitui o único dos gases oxigenados do nitrogênio dotado de cor: é vermelho-acastanhado. Os demais ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$ ).



O  $\text{NO}_2$  constitui um poderoso tóxico, provocando intoxicações agudas raras e crônicas mais frequentes aos profissionais das indústrias de explosivos, laboratórios químicos, derivados nitrados; combustão de películas radiográficas etc.

Pesquisa na atmosfera através da utilização do papel de tornassol azul umedecido com água: o  $\text{NO}_2$  reage com a água acidificando o papel que de azul passa a vermelho.

- *MONÓXIDO DE CARBONO*

Fórmula:  $\text{CO}$ . Presença no ar atmosférico: como gás poluente, particularmente das descargas de tubulações de veículos automotores a gasolina e diesel; os gases de escape de motores de combustão interna, particularmente de veículos automotores, contém entre 1% e 8% de  $\text{CO}$  em decorrência de combustão incompleta, sendo que esta proporção depende da riqueza da mistura ar + vapor do combustível.

- *ARSINA ou ARSENAMINA*

Fórmula:  $\text{AsH}_3$ . Ocorrência: só como poluente do ar junto a determinadas áreas industriais. Composto extremamente tóxico, capaz de provocar a morte do homem em atmosfera que contenha 3mg/l em decorrência de anoxia ou edema pulmonar; provoca igualmente ação hemolítica, razão pela qual provoca problemas respiratórios pelo rompimento de membrana de hemácias, conduzindo a estado de progressiva anemia.

- *ESTIBINA OU ESTIBAMINA*

Fórmula:  $\text{SbH}_3$ . É um gás preparado no laboratório pela reação química de  $\text{HCl}$  diluído com liga zinco-antimônio ou magnésio-antimônio, constitui um gás incolor de odor aliáceo, pouco solúvel na água mas bem solúvel no etanol, sulfeto de carbono e outros solventes orgânicos.

- *FOSFINA OU FOSFAMINA*

Fórmula:  $\text{PH}_3$ . Forma-se de pequena fração de matéria orgânica fosforada em decomposição. A fosfina é um gás incolor de odor que lembra o do peixe em decomposição; é insolúvel na água, no que se diferencia do  $\text{NH}_3$ . Ao homem se mostra tóxico na proporção de 1/4.000 e a 2% é mortal.

- *GÁS CIANÍDRICO, CIANIDRETO, CIANETO DE HIDROGÊNIO, METANONITRILO ou FORMONITRILO*

Fórmula:  $\text{HCN}$ . Ocorrência em inseticidas, na água de louro cereja, nas amêndoas amargas, em plantas forrageiras como o sorgo e grão-de-bico, em caroços de pêssogo, cereja, damasco, ameixa, maçã; na mandioca brava etc.

- *GÁS SULFÍDRICO, SULFIDRETO ou SULFETO DE HIDROGÊNIO*

Fórmula:  $\text{H}_2\text{S}$ . Encontra-se naturalmente nas águas sulfurosas, nos gases que emanam da cratera dos vulcões e na decomposição anaeróbica da matéria orgânica que contenha enxofre na molécula.

O  $\text{H}_2\text{S}$  é um gás incolor, de odor desagradável que embora o de ovos em decomposição, perceptível no ar inclusive na proporção de 0,002mg/l; se liquefaz comprimindo-o na temperatura ambiente.

Sob o ponto de vista fisiológico, é um composto extremamente tóxico quando inalado puro ou mesmo na proporção de 1/200, podendo conduzir o homem à morte. Seu efeito sobre os animais, particularmente sobre os pássaros, constitui uma técnica biológica para detectá-lo em ambientes na proporção de 1 parte do gás para 500 de ar, analogamente ao que sucede em ambientes contaminados com  $\text{CO}$ .

### 3.2.8 Substâncias Farmacodependentes

Critério psiquiátrico, as substâncias farmacodependentes são classificadas em psicolépticas, psicoanalépticas e psicodislépticas.

- *PSICOLÉPTICOS*

São substâncias químicas, naturais ou artificiais, que exercem tropismo psicológico, isto é, que são suscetíveis de modificar a atividade mental, retardando-a. São principalmente representadas pelos barbitúricos.

- *PSICOANALÉPTICOS*

São substâncias químicas artificiais que aumentam a atividade mental. São principalmente representadas pelas anfetaminas.

- *PSICODISLÉPTICOS*

São substâncias químicas naturais e artificiais que desestruturam a atividade mental, provocando quadros clínicos semelhantes ao das psicoses. São representados pelo etanol, cocaína, LSD-25 e maconha.

- *Psicolépticos - Barbitúricos*

Constituem produtos sintéticos. São obtidos pela reação de condensação da uréia com o ácido malônico. Constituem fármacos depressores do SNC, assimiláveis por via oral e parenteral, e excretados por via urinária. No cadáver, sua presença é detectada no conteúdo gástrico, urina, sangue, fígado e rins.

A reação de Dille-Koppanyi é o ensaio apropriado para a identificação de derivados barbitúricos (barbital, fenobarbital, amobarbital, secobarbital, etc.) desenvolvendo reação de coloração azul ou violeta.

A reação de Ekkert é o ensaio recomendado para identificar diversos barbitúricos (veronal, ipral, neonal, nembutal, amital, luminal, dial), desenvolvendo distintas colorações.

– *Psicoanalépticos - Anfetaminas*

Constituem produtos sintéticos, como os barbitúricos. Constituem fármacos estimulantes do SNC, assimiláveis por via oral e parenteral e excretados pela urina. No cadáver sua presença é detectada no conteúdo gástrico, urina, sangue, fígado e rins.

A reação de Marquis é o ensaio apropriado para o pervitin. Com esta anfetamina, o reagente de Marquis desenvolve coloração alaranjada, que depois passa à cor castanha.

– *Psicodislépticos Euforizantes*

- ✓ Álcool Comum, Etanos, Álcool Etílico ou Metilcarbinol

O etanol contido nas bebidas alcoólicas conduz o indivíduo à uma intoxicação, aguda ou crônica, oriunda de sua ingestão abusiva. O etanol constitui um depressor do SNC, assimilado por via oral e cerca de 10% é excretado pelos pulmões. Pode ser dosado no ar alveolar, no sangue, na saliva e na urina.

- ✓ Ópio

Constitui o produto natural da dessecação do látex do fruto imaturo do vegetal *Papaver somniferum L.* O Ópio contém cerca de 25 alcalóides, dos quais os mais importantes são a morfina, a narcotina, a papaverina, a codeína, a tebaína e a narceína.

## ✓ Morfina

Constitui o mais importante alcalóide do ópio, tanto pela sua ação terapêutica quanto pela intensidade dos efeitos tóxicos. Atua sobre o SNC exercendo ação narcótica manifestada por analgesia, sonolência, alterações do humor e obnubilação mental. Pode ser introduzida no organismo humano por via oral, retal e parenteral e sua excreção, no indivíduo vivo, dá-se nas primeiras 24 horas, em sua quase totalidade, através da urina. No cadáver pode ser detectada no sangue, urina e vísceras. Constituem ensaios de identificação da morfina: Reação de Marquis e Reação do Nitrato de Prata.

## ✓ Heroína

Constitui um sólido branco cristalino ou amorfo, solúvel em água destilada. Os efeitos no organismo humano são similares aos provocados pela morfina, da qual representa um derivado, porém são mais intensos e nocivos. Pode ser introduzida no organismo por via oral e parenteral e sua excreção dá-se, principalmente, pela urina sob a forma de morfina conjugada. Constituem ensaios de identificação da heroína: Reação de Wachsmuth e Reação do Ácido Nítrico Concentrado.

## ✓ Cocaína e Crack

A cocaína constitui o mais importante alcalóide natural extraído das folhas do arbusto cientificamente designado por *Erythroxylon coca*. A cocaína refinada constitui um sólido branco, cristalino, de odor aromático, pouco solúvel na água destilada e totalmente solúvel em solventes orgânicos como o etanol, éter comum e clorofórmio. É introduzida no organismo humano por via respiratória, oral e parenteral. Atua sobre o SNC, excitando-o e, sobre as fibras nervosas, impedindo a transmissão dos impulsos nervosos. Sua excreção ocorre pela urina, saliva, bÍlis e fezes. Constituem ensaios de identificação da cocaína e do crack: Reação de Reichard e Reação de Marquis.

– *Psicodislépticos Despersonalizantes*

✓ Maconha

Constitui um arbusto da espécie *Cannabis sativa*, L., variedade *Cannabis indica*, L., de origem asiática, de cujo exsudato resinoso dos brotos da planta fêmea se extraem diversos princípios ativos como o ácido canabinóico, canabinol, canabidiol e tetrahidrocanabinol, sendo este último o mais ativo sob ponto de vista fisiológico. Pode ser introduzido no organismo por via respiratória e oral, e excretada pela urina e fezes. Constituem ensaios de identificação da maconha: Reação de Beam e Reação de Duquenois-Mustapha.

### 3.2.9 Tóxicos

- *Tóxico Orgânico*

- Tolueno

Constitui líquido incolor, de odor característico, menos denso que a água na mesma temperatura, solvente orgânico empregado na indústria. O tolueno é comum ente utilizado como solvente em adesivos plásticos e de borracha, de efeitos embriagantes quando inalado. Constitui ensaio de identificação do tolueno: Reação de Marquis.

- *Tóxico Inorgânico*

- Cianeto de Potássio

Constitui um poderoso tóxico para o organismo humano: quantidades da ordem de 0,3mg a 0,4mg/kg, conduzem o indivíduo à morte. Por ingestão reage com o suco gástrico, em cuja composição há ácido clorídrico, liberando gás cianídrico, constituindo o emprego deste sal comumente utilizado na prática do suicídio. Sendo um sal formado de ânion de ácido muito fraco e de cátion de base muito forte, sofre hidrólise liberando cianidreto de odor de amêndoas amargas.

O íon cianeto ( $\text{CN}^-$ ) sob o ponto de vista fisiológico reage com o ferro III da citocromoxídase ou fermento de Warburg, formando um composto estável que provoca a paralisação da respiração celular, dando-se então hipóxia histotóxica. Constitui ensí'tio de identificação do cianeto:

### 3.2.10 Poluentes Orgânicos Persistentes (POP)

Existem muitas substâncias consideradas Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), oriundas de várias famílias de compostos químicos. A persistência no ambiente varia de composto para composto, podendo, porém, durar anos ou décadas no solo ou no sedimento, e vários dias no ar. São lipossolúveis e, em compartimentos aquáticos, ligam-se às partículas, aos sólidos, ou a matéria orgânica, não permanecendo na fase aquosa. Dissolvem-se em lipídios nos organismos, ao invés de entrar no meio aquoso, e armazenam-se no tecido adiposo. Esta característica confere-lhes persistência na biota e, por apresentarem um metabolismo lento, os POPs acumulam-se na cadeia alimentar.

Podem volatilizar-se e atingir a atmosfera a partir do solo, das plantas e dos compartimentos aquáticos. Devido à sua resistência às reações de degradação no ar, viajam longas distâncias até se depositarem novamente. Este ciclo de volatilização e deposição pode acontecer repetidas vezes, daí a possibilidade de se acumularem em locais onde nunca foram usados ou formados. No ar, esses compostos podem separar-se entre partículas e aerossóis, dependendo da temperatura e das propriedades físico-químicas dos compostos. Esta combinação entre a estabilidade e a propensão a formarem gases, em certas condições ambientais, possibilitam longos transportes atmosféricos.

- *Dioxinas*

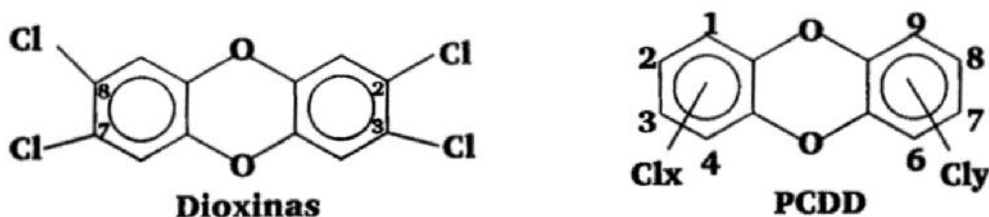


Figura 3.1 – Estrutura química das dioxinas

O termo dioxinas relaciona-se a um grupo de compostos químicos que compartilham certas semelhanças químicas estruturais, características biológicas e mesmo mecanismo de ação. Existem várias centenas daqueles compostos pertencentes a três famílias intimamente relacionadas: as dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD), os dibenzofuranos clorados (DFC ou PCDF) e algumas bifenilas policloradas (PCB). Algumas vezes o termo dioxina é também usado em referência específica à mais tóxica e à mais estudada, 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina (TCDD). Os PCDD e DFC são produzidos, não intencionalmente, como subprodutos de várias atividades humanas e a partir de processos naturais, ao contrário dos PCB, que são produzidos exclusivamente pelo homem, e apresentam propriedades comerciais definidas.

Existem também outros compostos da família das dioxinas e furanos que apresentam bromo em sua estrutura química: as dibenzo-p-dioxinas polibromadas (PBDD) e os dibenzofuranos polibromados (PBDF), que são compostos tricíclicos aromáticos quase planares. Em teoria, podem existir 75 PBDD e 135 PBDF, além de um amplo número de congêneres halogenados mistos - 1.550 dibenzo-p-dioxinas bromadas/cloradas (PXDD) e 3.050 dibenzofuranos bromados/clorados (PXDF). Até o momento, apenas um pequeno número destes compostos foi caracterizado devido a complexidade dos métodos analíticos e dificuldade na obtenção de padrões analíticos de referência.

As dioxinas são compostos sólidos, cristalinos, que apresentam elevado ponto de fusão, baixa solubilidade em solventes apolares e são praticamente insolúveis em água. Apresentam-se como líquido claro de coloração marrom, e são termicamente bastante estáveis, pelo impedimento estereoquímico causado pela presença dos diversos átomos de cloro.

Podem apresentar-se na forma de agulhas incolores e de cristais brancos. As emissões de PCDD e PCDF podem partir de quatro fontes, citadas a seguir:

- Processos de produção de compostos químicos, por exemplo na produção de fenóis clorados e na oxicloração de misturas, na produção de alguns solventes clorados, ou na produção de celulose e papel.



- Processos de combustão e processos térmicos, incluindo incineração de lixo, queima de combustíveis sólidos e líquidos e no processamento térmico de metais.
- Processos biogênicos, que podem formar aqueles compostos a partir de precursores. Alguma evidência desta formação pode ser observada na compostagem.
- Reservatórios, tais como antigos aterros de resíduos contaminados, solos e sedimentos.

Tabela 3.2 – Formação de PCDD e PCDF a partir de processos térmicos.

Precursor	Condições	Produtos formados
Sais de 2,4,5-T	Pirólise	2,3,7,8-tetraCDD
2,4,5-T (vegetação)	Pirólise	Não forma TCDD
	Queima	Não forma TCDD
Cl-fenato	Queima	PCDDsa + PCDEs
PCBs	Pirólise	PCDFsb
PCBzc	Pirólise	PCDFs + PCDDsd
Éteres Cl-Difenílicos	Pirólise	PCDFs + PCDDs
Cl-Alcanos (Parafinas)	Pirólise	PCDFs
PVC	Pirólise	PCDDs + PCDFs

Fonte: WHO, 1980.

- a = PCDDs formados pela dimerização e descloração inespecífica  
 b = outros produtos: hexa- e pentaCB  
 c = benzenos policlorados  
 d = outros produtos: PCB , naftalenos policlorados

As liberações diretas dos PCDD e PCDE podem ser:

A partir de fontes estacionárias, associadas às indústrias ou fontes difusas ou dispersas, em sua maioria relacionadas ao uso ou aplicação de compostos que contêm PCDD e PCDF, em ambas as fontes, existe a possibilidade de os PCDD e PCDF serem transportados para localidades distantes do ponto inicial de emissão. Para que haja liberação no ar, são necessárias algumas condições que podem estar presentes tanto individualmente, quanto em combinações: processos que utilizem temperaturas acima

de 200°C, ou combustão incompleta; presença de carbono orgânico e cloro; presença de produtos que contenham PCDD e PCDF. Alguns exemplos daquele tipo de liberação são: processos de combustão; operações de processamento de metais, tais como fundições; operações de secagem e branqueamento; processos térmicos, como pirólise, reciclagem de cinzas, craqueamento.

Através de descarga de efluentes industriais, lixiviação de locais contaminados, resíduos dispostos em aterros, aplicação de praguicidas. Exemplos são: na produção de celulose e papel, na indústria têxtil, de madeira, de couro.

As fontes relacionadas a essa liberação são de dois tipos: decorrentes da aplicação direta no solo de produtos contaminados, ou de depósitos no solo, devido ao caminho ambiental. Exemplos são a aplicação de lodo de esgoto em fazendas; aplicação de praguicidas no solo e em culturas; em conservantes de madeira: no descarte direto de resíduos contendo PCDD e PCDF no solo.

Através da formação de subprodutos como em clorofenóis, pentaclorofenol, 2,4,5-T, PCB. Este tipo de liberação foi muito importante no passado, por ter sido responsável por diversos casos de contaminação.

Uma infinidade de processos podem transferir PCDD e PCDF para resíduos. Os possíveis tipos de resíduos que contenham estes compostos podem ser classificados de acordo com a sua origem, uma vez que estão presentes sempre como subprodutos, tais como: lixo municipal, industrial, resíduos perigosos, lixo hospitalar; subprodutos de processos de combustão e térmico; produção de resíduos e produtos residuais, tais como resíduos de síntese de compostos químicos, resíduos de praguicidas, resíduos de óleos de transformadores, resíduos de estações de tratamento de água.

Em resumo, os maiores contribuintes para a liberação das dioxinas no ambiente são os processos de combustão, tais como incineração de lixo comercial ou municipal e queima de combustíveis, tais como madeira, carvão ou óleo. Podem as dioxinas também ser formadas na incineração do lixo doméstico e em incêndios florestais. Entre outras fontes de produção de pequenas quantidades de dioxinas, estão os processos de branqueamento da polpa e do papel, alguns tipos de indústrias químicas, além de fumaça de cigarro e incineração municipal de resíduos sólidos e de lixo hospitalar; fundições de cobre; incêndios florestais: aplicação no solo de lodo de esgoto:

misturadores de cimento; usinas e indústrias que usam o carvão como fonte de energia; queima de madeira em residências; branqueamento da polpa de madeira ir base de cloro; queima de lixo doméstico em quintais.

O Brasil não produz industrialmente nenhum dos POPs; porém, as dioxinas e furanos, por serem considerados subprodutos, são produzidos de forma não intencional.

As fontes de contaminação da água incluem as lixiviações causadas pela chuva, a deposição do ar e as descargas de efluentes a partir de processos industriais. As fontes de contaminação do ar são as causadas pela combustão de lixo e de combustíveis. A presença das dioxinas no solo é causada pela deposição através do ar e pelo processo de aplicação de resíduos oriundos de tratamento de águas.

O transporte e a distribuição ambiental são processos complexos que envolvem múltiplas fontes, reservatórios, fluxos e depósitos (sinks).

A Figura 3.2 ilustra os fluxos de contaminação de dioxinas entre os diversos reservatórios ambientais, que incluem o transporte da dioxina no ar através de vapores e de partículas contaminadas; o transporte de partículas suspensas na água contaminada com dioxina; o transporte a partir do solo pelos ventos e através dos processos de erosão pela água; o transporte pela biota através da troca na cadeia trófica e pelo comércio de material contaminado. Os reservatórios incluem o solo, o sedimento e os produtos industriais que contêm dioxinas temporariamente estocadas, mas que podem ser liberadas no ambiente. Os depósitos (sinks) representam os locais de armazenamento e isolamento das dioxinas no solo íntegro e no sedimento profundo, que podem ser deslocadas a longo prazo. O reservatório representa uma fonte mais disponível que o depósito.

Os PCDD podem ser transportados pelo ar. No famoso acidente de Seveso, onde se observou a formação de uma nuvem tóxica contendo TCDD.

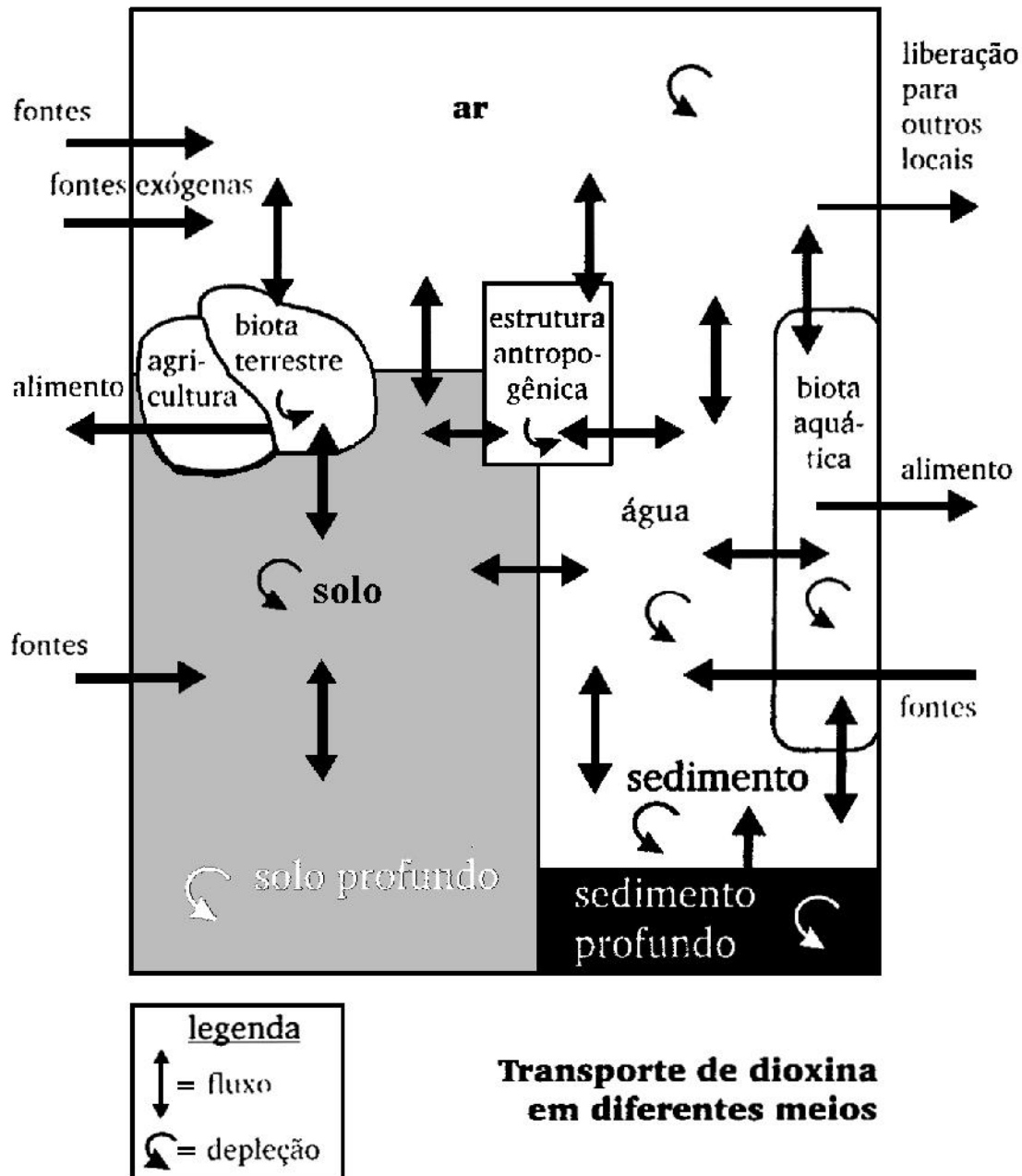


Figura 3.2 - Fluxos de contaminação das dioxinas entre os diversos reservatórios ambientais  
 Fonte - USEPA, 2002.

As formas prováveis de transporte do PCDD a partir do solo são as seguintes: para o ar através de partículas de poeira contaminada; a partir da erosão de solo, transportados para a água de superfície; por lixiviação, do solo para as águas de superfície, e para o ar via volatilização. A primeira forma é considerada a mais importante, em termos de mecanismo de transporte, de todas as outras descritas acima, devido à baixa solubilidade em água e à volatilidade desses compostos. No entanto,

observa-se que as plantas acumulam pequenas quantidades de TCDD em todos os estágios de crescimento. Em peixes e crustáceos, avaliados em áreas contaminadas no sul do Vietnã expostas a altas concentrações do Agente Laranja, os níveis observados foram 18 a 810 ng/kg.

Em diversas espécies de peixes do mar Báltico, os teores de PCDD variavam de 29 a 0,2 pg/g. Este é um local de interesse, pois não apresenta fontes de contaminação de dioxinas e serve como comparação.

Os níveis de PCDD em animais terrestres puderam ser avaliados no acidente de Seveso, onde mais de 81.000 animais viviam na zona contaminada. A maioria era coelhos, aves, entre outros pequenos animais, além de gado (suínos, eqüinos, ovinos e caprinos). Muitos deles morreram ou foram mortos, sendo que grande parte analisada apresentou valores variando de 1 a 633 ng/kg.

PCB do tipo dioxina representam um componente importante de TEQ no meio ambiente. Especificamente em produtos de origem animal, e em peixes, os PCB dominam o STEQ ingerido por humanos. Isto, por sua vez, leva a uma elevada carga corpórea residual em humanos com PCB-TEQ maiores que os associados aos PCDD/Fs. Os indivíduos que consomem quantidades consideráveis de peixes, aparentemente estão sujeitos a elevada exposição de TEQ por PCB do tipo dioxina. Este fato tem implicações importantes na avaliação da exposição, em estudos nos quais existia uma preocupação prévia apenas com os PCDD-e PCDF. Ao contrário destes compostos, os PCB do tipo dioxina não são controlados na cadeia alimentar. Assim, as fontes de exposição são pouco definidas.

Para as fontes que tenham altas chaminés e/ou cuja pluma atinja elevadas altitudes (por exemplo, fundições de cobre, misturadores de cimento, plantas de sinterização), apenas uma pequena fração das emissões de PCDD/F são depositadas localmente (menos de 10% dentro dos 100 km). Outras fontes, como incineradores de lixo municipal, incineradores de lixo hospitalar e diesel usado em caminhões, levam a uma grande fração de PCDD/F depositado localmente: no entanto, a maior parte destas emissões de PCDD/F tendem a ser transportadas além dos 100 km. Embora o impacto local deva ser levado em consideração, aparentemente o potencial de dispersão deve ser avaliado para todos os tipos de emissões.

A biodisponibilidade dos PCDDs depende da matriz à qual estão associados e das vias de exposição. Na literatura consultada não foram encontrados dados sobre a dose absorvida em exposições humanas por quaisquer vias. Nos estudos durante os quais foram administradas a roedores doses únicas ou repetidas de 2,3,7,8 TCDD, observou-se que metade da dose era absorvida pelo trato gastrointestinal. A meia-vida de eliminação foi estabelecida entre 12 e 94 dias em diversos roedores, e em um ano em tecido adiposo de macaco rhesus.

A Figura 3.3 ilustra o esquema da biotransformação das dioxinas. Atualmente, considera-se que a via mais significativa de exposição a 2,3,7,8-TCDD, para a população em geral, resulta da incineração de lixo municipal e de outros processos de exaustão de automóveis que usam gasolina aditivada com chumbo tetraetila. Os alimentos, particularmente peixes, são considerados como uma fonte secundária de exposição.

A exposição ocupacional dá-se pelas vias inalatória e dérmica, entre os bombeiros e os trabalhadores envolvidos em processos de limpeza de locais onde ocorreram incêndios de transformadores à base de PCB, em processos de incineração, e entre os trabalhadores envolvidos com a produção dos praguicidas hexaclorofeno, triclorofenol, ou de outros compostos que contenham pequenas impurezas de TCDD.

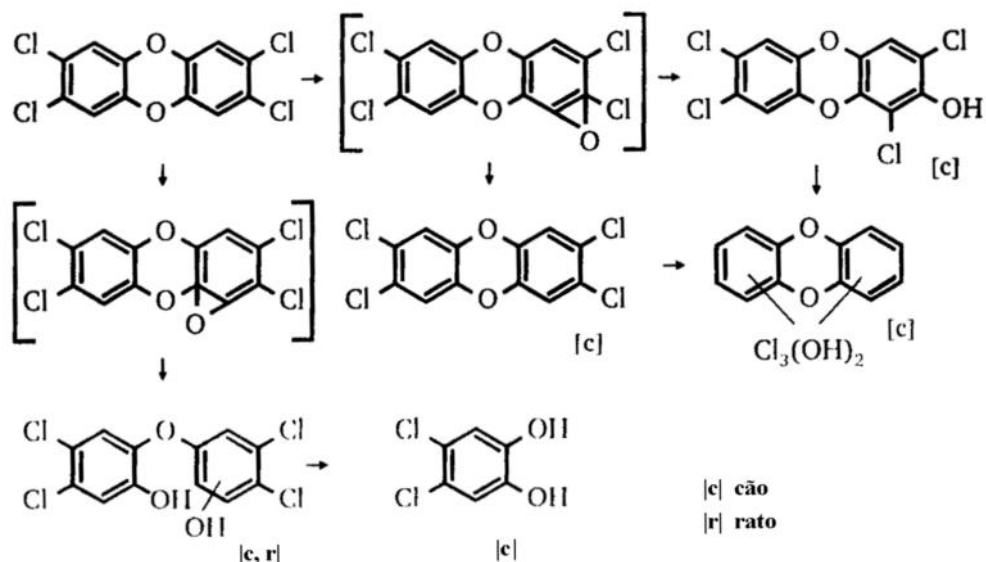


Figura 3.3 – Esquema da biotransformação das dioxinas proposta por POIGER, BUSER (1993)

A exposição ao PCP e seus derivados, por meio da cadeia alimentar, é considerada como a mais significativa via de ingestão de PCDD/Fs para a população não exposta ocupacionalmente. A ingestão de leite e seus derivados, obtidos de vacas criadas em pastos tratados com resíduos sólidos industriais, têm o potencial de elevar a média de ingestão diária de PCDD/Fs em, aproximadamente, 40%.

A toxicidade do TCDD depende, aparentemente, do fato de as quatro posições laterais da molécula estarem ocupadas com os átomos de cloro. A toxicidade é diminuída com a substituição lateral e ampliada com o aumento de substituições de cloro na molécula. Os sintomas observados em intoxicações por TCDD são vários e variam quali e quantitativamente entre as espécies, e de tecido para tecido. Existem também diferenças de sensibilidade entre sexos e entre faixas etárias. Outra característica interessante relacionada à toxicidade da TCDD é que ela induz uma toxicidade retardada, de duas semanas a dois meses, observada em todas as espécies e comprovada igualmente em humanos. A teoria sugerida no evento inicial da toxicidade induzi da pelo TCDD é a de que ele se ligue ao chamado receptor Ah. O complexo, seja de origem citosólica ou nuclear, exerce sua ação no núcleo acionando uma resposta pleiotrópica que inclui a indução das oxidases de função mista. Porém, essa indução enzimática de per se não deve ser a causa da toxicidade e das mortes observadas nesse tipo de exposição. Embora a toxicocinética seja diferente entre as espécies, não se pode a ela unicamente imputar a explicação das diferenças observadas na variação de sensibilidade entre as espécies. Além dos efeitos mediados pela interação com o receptor Ah, existem outros mecanismos que tentam explicar a toxicidade do TCDD, entre eles as diferenças em toxicocinética, ou seja, em termos de diferenças em taxas de distribuição, biotransformação e eliminação; o comprometimento de sistemas normais de regulação celular; o desequilíbrio hormonal; a regulação de peso corpóreo; as funções da membrana plasmática; o comprometimento no armazenamento de vitamina A; a peroxidação lipídica. Estes mecanismos foram estudados por diversos pesquisadores, em diferentes espécies animais.

Nos EUA, o *National Response Center*, deve ser notificado no caso de liberação para o ambiente de quantidades superiores a 0,454 kg.

No período do acidente de Seveso, o ar urbano foi monitorado, através da avaliação de poeiras, no sentido de se estabelecer se partículas contaminadas com

2,3,7,8 TCDD teriam se dispersado para além da área atingida. Os níveis encontrados foram de 0,17 a 0,50 pg/ml.

PCDD podem ser encontrados em níveis de ng e pg no ambiente. A maior parte da população está exposta a baixos níveis residuais desses composto no ar, através do consumo de alimentos, ou pelo contato através da pele com material contaminado, como por exemplo praguicidas clorados, herbicidas, solos contaminados ou fluidos de transformadores que contêm PCB. Para a população em geral mais de 90% da ingestão diária de dioxinas e produtos do tipo dioxinas estão relacionados com ingestão de alimentos, particularmente carne, produtos lácteos e peixes. Em frutas e verduras, os teores tendem a ser muito baixos.

A ingestão máxima média para o 2,3,7,8-TCDD foi estimada para residentes da região dos grandes lagos americanos, que consomem peixe regularmente, e variou de 0,39 a 8,4 µg/dia.

O FDA recomenda que não sejam excedidos os níveis em ar, água, solo e alimentos e que não sejam ingeridos peixes e frutos do mar que contenham 2,3,7,8 TCDD em níveis superiores a 50 ppt.

Estas recomendações já causaram, no passado, o fechamento de diversos locais de pesca comerciais e recreacionais. A EPA recomenda que não sejam excedidos os níveis em água e que as crianças não ingiram mais do que 1 ng de 2,3,7,8 TCDD por litro de água/dia, ou mais do que 0,01 ng/L/dia em exposições de longo prazo. Este valor não deve ser maior que 0,04 ng/L em água potável consumida por indivíduos adultos. A legislação americana relacionada ao *Clean Air Act* de 1990, indica que a EPA deve estabelecer padrões para as emissões de poluentes tóxicos. Os PCDDs são classificados como poluentes perigosos para o ar, suspeitos de causar sérios problemas à saúde. As dioxinas são consideradas como poluentes tóxicos, e os níveis que podem resultar em aumento de risco de câncer durante toda a vida são estimados em  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$  e  $10^{-7}$ .

É conhecido no Brasil o caso da planta de produção de hexaclorociclohexano (HCH), no Rio de Janeiro, estabelecida com a finalidade de produzir produtos químicos para o controle de vetores. Esta planta quando foi fechada, em 1955, deixou em torno de 300 toneladas de resíduos expostos a céu aberto. BRAGA *et al.* (2002) analisaram



amostras de solo e de leite de vacas de fazendas vizinhas à fábrica. As amostras de solo, do local da fábrica, apresentaram concentrações de PCDD/F da ordem de 13.900 ng I-TEQ/kg, enquanto amostras de solos das áreas circunvizinhas à fábrica ficaram na faixa de 0,19 a 2,08 ng I-TEQ/kg. Os níveis de PCDD/F nas amostras de leite de vaca variaram de 4,1 a 6,5 ng I-TEQ/kg de gordura do leite.

A determinação de dioxinas em substratos humanos é difícil e cara. Os métodos analíticos atuais utilizam a cromatografia gasosa de alta resolução acoplada à espectrometria de massa (GC-MS; HRGC-MS-MS). Esta determinação pode ser realizada em amostras de sangue, tecido adiposo e leite materno, porém não de forma rotineira. Os níveis de 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina em lipídios são inferiores a 10 pg/g no sangue e no tecido adiposo, variando de 3 a 7 ppt. Valores mais elevados indicam exposição anterior a teores acima dos níveis normais.

A NIOSH recomenda que este composto seja tratado como um carcinógeno potencial para humanos e que a exposição a ele seja reduzida ao menor nível possível; além disso, considera a 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina como um potencial carcinógeno ocupacional.

Em casos de exposição aguda pode-se observar: sensação de queimação nos olhos, nariz e na garganta. Além disso, podem ser observados sinais e sintomas de cefaléia, tontura, visão turva, dores musculares e nas articulações, comprometimento da coordenação muscular, astenia, náuseas, vômitos, desordens emocionais, nervosismo, irritação e intolerância ao frio (HSDB, 2002; USEPA, 1998). É freqüente o aparecimento de cloracne, um tipo de erupção na pele. Os sintomas tais como prurido, vermelhidão e inchaço, podem ser observados semanas ou meses antes da erupção aparecer e podem durar de alguns meses a até 15 anos. As dioxinas podem causar disfunção no sistema imune, ulcerações, neuropatia periférica, anomalias hepáticas e pancreáticas. além de lesões nos sistemas circulatório e respiratório.

Como as dioxinas podem estar presentes como contaminantes, a maior parte dos episódios de exposições está relacionada a misturas contendo baixos níveis do composto em questão. Nestes casos, existe sempre a possibilidade dos outros componentes contribuírem para a toxicidade.

Após um período de latência de várias semanas, podem manifestar-se cloracne, porfíria cutânea tardia, hirsutismo e hiperpigmentação da pele. São, também, observados outros sinais e sintomas, tais como dano hepático e polineuropatias, além do aumento de lipídeos sanguíneos, que podem persistir por algum tempo.

O TCDD é um provável carcinógeno humano e tem sido associado a sarcomas do tecido mole. As evidências em relação a outros tipos de câncer são mais limitadas. A EPA, ao avaliar este composto, estabeleceu o limite superior para casos de câncer na população em geral como sendo de 1:1.000.

O TCDD não é um genotóxico direto, produzindo, geralmente, resultados negativos na maioria dos ensaios de genotoxicidade. Entretanto, o complexo receptor aril-hidrocarbono-TCDD pode ligar-se a seqüências específicas de DNA na região conhecida como *enhancer* ou amplificadora. Isso induz a seqüência pleiotrópica da expressão genética cujos produtos podem ativar pró-mutágenos. As dioxinas podem ser consideradas como teratógenos humanos, especificamente associadas à displasia ectodermal, ao SNC, assim como a malformações cardíacas e ósseas.

A IARC classifica o TCDD como pertencente ao Grupo 1, considerado agente carcinogênico para humanos; entretanto, classifica as outras dioxinas no Grupo 3, ou seja, não carcinógenos para humanos. Decorrente da exposição aguda ao TCDD, observam-se conjuntivite, irritação e queimação. Desordens cardiovasculares, tais como aterosclerose e infarto do miocárdio já foram sugeridos, mas não conclusivamente demonstrados.

Pode-se ainda observar dispnéia, além de neuropatia periférica, com comprometimento sensitivo e fraqueza nas extremidades inferiores, neuropatia central, confusão mental, cefaléia e tontura. Os sintomas iniciais são os gastrintestinais caracterizados por dores, anorexia, náuseas e vômitos.

Em relação aos efeitos na musculatura esquelética, é comum o aparecimento de mialgia na exposição ocupacional. As dioxinas afetam vários sistemas hormonais. Foram observados casos de teste de tolerância à glicose alterada e diabetes melito. Na exposição crônica ocupacional ao TCDD, foram igualmente observados casos de alterações na tolerância à glicose. Foram também associados à exposição aguda às dioxinas os efeitos psíquicos de fadiga, desordens emocionais, irritação e nervosismo.

Em relação às exposições crônicas, foi inconclusiva a associação da exposição ao Agente Laranja, em alguns veteranos do Vietnã, e o estresse pós-traumático.

- *Endrin*

A estrutura química do endrin pode ser observada na Figura, a seguir.

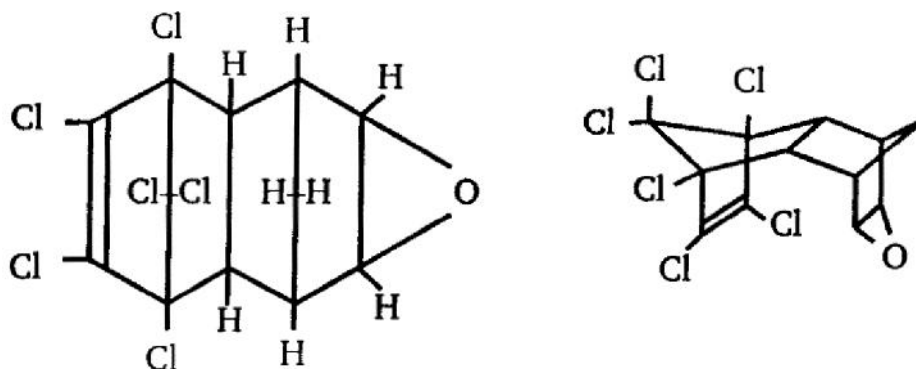


Figura 3.4 - Estrutura química do endrin  
Fonte - UNEP, 2002.

O endrin foi usado em vários países, como inseticida, rodenticida e avicida, bem como em culturas de algodão, trigo e maçã. Seu uso declinou devido à crescente resistência desenvolvida pelos insetos. Como para a maioria das outras substâncias químicas potencialmente tóxicas, informações atualizadas sobre produção ou uso de agrotóxicos são freqüentemente difíceis de se obter; assim, estimativas quantitativas atualizadas sobre a produção de endrin são virtualmente impossíveis de serem acessadas. No entanto, os fabricantes de produtos químicos dos Estados Unidos podem legalmente produzir agrotóxicos, proibidos ou não registrados naquele país, para exportação.

O endrin não é produzido no Brasil; todas as formulações aqui utilizadas foram preparadas com o produto importado. Por outro lado, a inexistência no Brasil de um código aduaneiro específico para o endrin não permite a recuperação de informações históricas sobre as importações do mesmo. Porém, por um período significativo, cerca de 42 formulações contendo endrin como princípio ativo foram comercializadas no país.

No Brasil, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, autoriza a comercialização do endrin e produtos relacionados, apenas para uso em atividade de preservação de madeira, sendo proibida a sua utilização na agricultura e em campanha de saúde pública.

A fonte principal de exposição humana ao endrin é o alimento; porém, acredita-se que, atualmente, a ingestão se encontra abaixo da ingestão diária aceitável (IDA) recomendada pelo *Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues* (JMPR). Dados de monitoramento recente não estão disponíveis, porque a maioria dos estudos recentes não inclui o endrin na relação de substâncias cujos resíduos são monitorados nos alimentos; este fato é explicado pela proibição e/ou restrição do uso do endrin por vários países, inclusive o Brasil.

As indústrias e instalações de processamento e o uso agrícola do endrin foram as principais fontes de contaminação de águas superficiais e sedimentos. Não há registros de descargas diretas de endrin em corpos d'água superficiais.

Com relação às fontes de contaminação atmosférica, as emissões de instalações de produção e processamento de endrin, e de aplicações agrícolas eram as fontes primárias de contaminação atmosférica. Durante o período em que o endrin foi extensivamente usado na agricultura, cerca de 33% do praguicida aplicado volatilizavam-se no período de 11 dias, após o qual a evaporação cessava. O uso de endrin na agricultura foi a principal fonte de contaminação do solo e do sedimento aquático.

O endrin é extremamente persistente quando liberado no solo. É adsorvido fortemente às partículas do solo e tende a ficar imóvel devido ao seu elevado valor do seu coeficiente de partição baseado no carbono orgânico ( $K_{oc}$ ), igual a 34.000.

Uma vez no solo o endrin pode ser transportado para corpos d'água superficiais por enxurrada de águas pluviais ou de irrigação. Por sua natureza hidrofóbica e por sua forte sorção pelas partículas do solo, o endrin, em condições de uso normal, apresenta probabilidade de atingir as coleções de água subterrâneas.

Diferentemente de outros organoclorados, a volatilização do endrin não se intensifica após ocorrência de chuvas; porém, pequenas quantidades do endrin presente no solo podem sofrer transporte atmosférico adsorvidas a partículas de poeira.

Devido aos elevados valores das constantes log K<sub>oc</sub> e log K<sub>ow</sub> (4,53 e 5,34-5,6, respectivamente), quando liberado na água, o endrin é fortemente adsorvido ao sedimento.

Com base no baixo valor da constante da lei de Henry, entre  $4,0 \times 10^{-7}$  e  $5,4 \times 10^{-7}$  atm.m<sup>3</sup>/mol, pode-se concluir que a partição do endrin em sistema água-ar é muito baixa. Na atmosfera, o endrin, por suas características físico-químicas, encontra-se associado com partículas sólidas. Entretanto, pequenas quantidades podem existir na fase de vapor.

A bioconcentração do endrin é significativa em organismos aquáticos. Fatores de bioconcentração são da ordem de 80 em organismos de água doce, e de 49.000 em organismos marinhos.

As principais vias de introdução do endrin no organismo humano são a oral, a respiratória e a cutânea. Por ser substância lipossolúvel, o endrin atravessa rapidamente as membranas biológicas de caráter lipoprotéico.

Diferentemente de seu estereoisômero (o dieldrin), o endrin é biotransformado rapidamente em animais e pouco se acumula nos tecidos adiposos, comparativamente aos outros compostos de estruturas químicas similares.

A formação do anti-12-hidroxiendrin, juntamente com os conjugados glicuronídeos e os sulfatos, parece ser a principal via de biotransformação do endrin tanto em animais quanto em humanos.

A tempo de meia-vida do endrin varia entre 1-6 horas, dependendo da dose. O *steady state* (quando a quantidade excretada é igual à quantidade de ingresso no organismo) é atingido em seis dias. Animais do sexo masculino excretam endrin, e seus produtos de biotransformação, via bile muito mais rapidamente do que as fêmeas, resultando em acúmulo menor no tecido adiposo dos machos.

Resíduos de endrin têm sido encontrados no sangue somente de indivíduos com sinais de intoxicação, ou com exposição excessiva recente. Parece ser eliminado rapidamente do organismo humano minutos e 12 horas após a exposição e incluem dores de cabeça, náuseas, vômitos, fraqueza dos membros inferiores e convulsões, podendo levar o indivíduo ao óbito.

A Figura 3.5, ilustra os principais produtos de biotransformação do endrin.

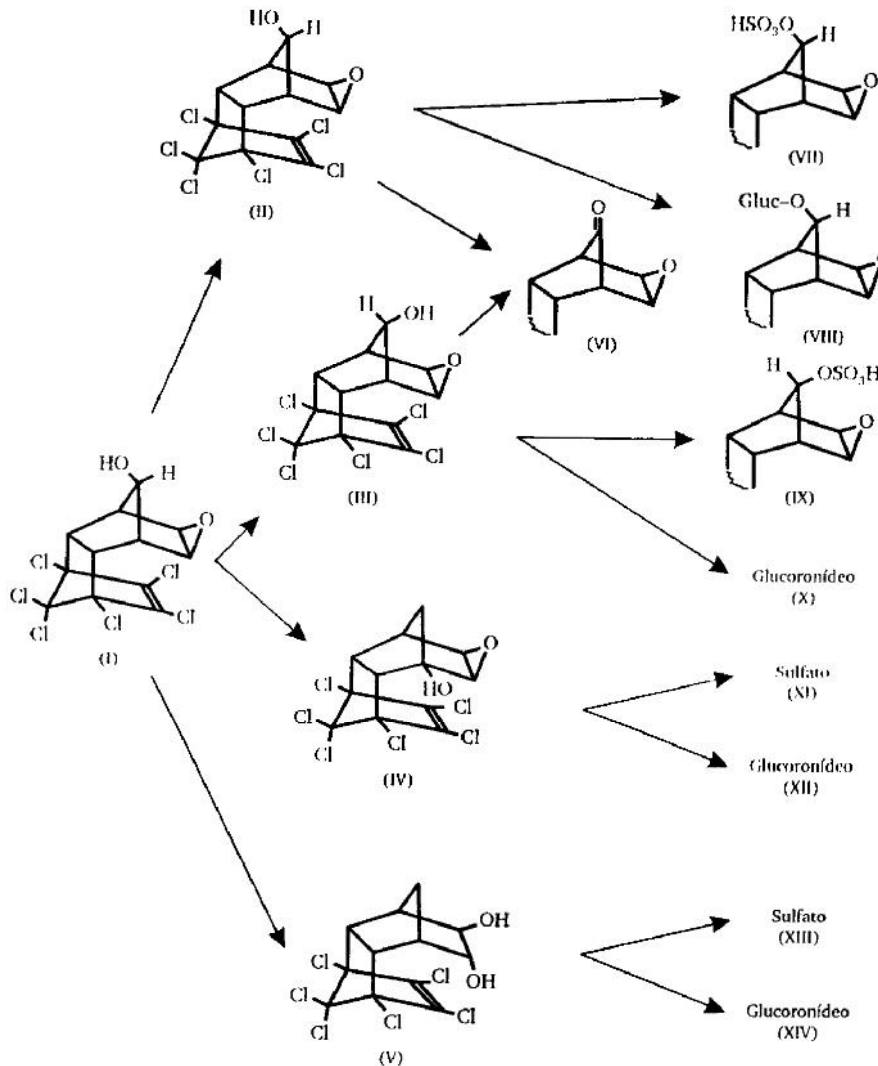


Figura 3.5 - Esquema proposto para a biotransformação de endrin.  
Fonte: EHC 1992.

Os compostos organoclorados podem causar depressão respiratória e sensibilizar o miocárdio aos efeitos das catecolaminas, levando a fibrilação ventricular e parada cardíaca. A depressão respiratória pode provocar acidose metabólica. Os sinais e sintomas de intoxicação por endrin ocorrem em níveis sanguíneos acima de 0,05 µg/mL.

A base neurológica dos sinais da intoxicação é a inibição da função do ácido gama-aminobutírico (GABA). De forma semelhante a outros inseticidas do grupo dos organoclorados, o endrin também é hepatotóxico. Estimula igualmente sistemas enzimáticos na biotransformação de outros xenobióticos.

A dose de referência (RfD) para o endrin é de 0,0003 mg/kg/dia. De acordo com a USEPA, a ingestão desta dose ou abaixo dela, durante toda a vida, não resultaria em ocorrência de efeitos crônicos adversos ao ser humano. A dose de referência não é uma estimativa direta do risco, mas um ponto de referência quanto à possibilidade de ocorrência de efeitos adversos potenciais. Quantidades acima da dose de referência não implicam necessariamente em ocorrência de efeito adverso sobre a saúde humana.

Não foi estabelecida uma concentração de referência (RfC) para o endrin, por inalação.

Tabela 3.3 - Dose de referência (RfD) para exposição crônica do endrin, via oral.

Efeito crítico	Doses experimentais	UF	MF	RfD
Moderada lesão do fígado; Convulsões ocasionais	1 ppm (NOEL) (0,025 mg/kg/dia)	100	1	3,10 <sup>-4</sup> mg/kg/dia
Ensaio com cães	2 ppm (LOAEL)			
Via oral	(0,05 mg/kg/dia)			

Fonte: IRIS, 1993.

RfD (Reference Dose) ou Dose de Referência; NOEL (*No-Observed-Effect-Level*) ou DNEO (dose de nenhum efeito observado); LOAEL (*Lowest-Observed-Adverse-Effects-Level*) ou a mais baixa dose ou nível em que se observam efeitos adversos; UF (*Uncertainty Factor*) ou FI (fator de incerteza); MF (*Modifying Factor*); FR (fator de restrição ou de incertezas científicas).

A ingestão oral de alimentos é a fonte primária de exposição da população em geral. A ingestão de água contaminada, a inalação de ar contaminado e o contato dérmico com solos contaminados são outras fontes de exposição. Entretanto, essa exposição está bem abaixo da IDA - ingestão diária aceitável ou ADI (*acceptable daily*

*intake*) estabelecida pelo comitê misto FAO/OMS (0-0,0002 mg/kg/dia) e exposição não constitui risco à saúde para a população em geral.

O nível máximo de endrin em água potável (MCL), estabelecido pela EPA – *Environmental Protection Agency* dos Estados Unidos, é de 0,0002 mg/L.

No Brasil, para a água destinada ao abastecimento doméstico (Classes especial, 1 e 2), os teores máximos permitidos de endrin são de 0,004 µg/L; para a água de Classe 3 (destinadas também à irrigação de culturas arbóreas, cerealistas e forrageiras, e à dessedentação de animais), os teores máximos permitidos de endrin são de 0,2 µg/L; para a água da Classe 5 (águas salinas) os teores máximos permitidos são de 0.004 µg/L (CONAMA, 1986).

A Portaria N° 1469 do Ministério da Saúde, de 29 de dezembro de 2000, determina em 0,6 µg/L a concentração máxima de endrin em água potável. A Tabela 3.4 contém valores limites e notações referentes ao endrin, de acordo com diferentes entidades.

Tabela 3.4 - Limites de exposição ocupacional para o endrin, de acordo com diferentes entidades

Entidade	Valores	Observação
OSHA	0,1 mg/m <sup>3</sup> - PEL-TWA	8 h/dia; 40 h/semana; notação: pele
NIOSH	0,1 mg/m <sup>3</sup> - REL-TWA	10 h/dia; 40 h/semana; notação: pele
ACGIH	0,1 mg/m <sup>3</sup> - TLV-TWA	8 h/dia; notação: pele

Fontes: NIOSH, 1996; ACOIH, 1986

*OSHA* – *Occupationnal Safety and Health Administration*; *NIOSH* - *National Institute for Occupational Safety and Health*; *ACGIH* – *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*; *PEL* - *Permissible Exposure Limit*; *REL* - *Recommended Exposure Limit*; *TLV* - *Threshold Limit Value*; *TWA* - *Time Weight Average*. (A notação pele indica que a via cutânea de exposição, incluindo as membranas mucosas e ocular, contribui para a exposição total do organismo).

- *Dieldrin*

O dieldrin apresenta fórmula molecular C<sub>12</sub>H<sub>8</sub>Cl<sub>16</sub>, e peso molecular de 380,93. Sua fórmula química está apresentada na Figura 35.



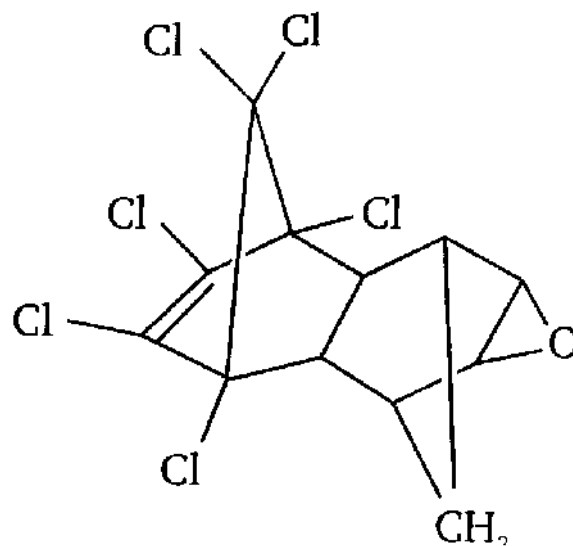


Figura 3.6 - Fórmula estrutural do dieldrin  
Fonte: WHO, 1991.

O dieldrin é um produto não inflamável e não corrosivo, mas pode ser decomposto em altas temperaturas produzindo fumo, e gases tóxicos. É um composto de origem sintética, não ocorrendo naturalmente na natureza. É um metabólito do inseticida aldrin e foi utilizado intensamente como inseticida nos Estados Unidos e em outros países, no tratamento de sementes (milho, algodão), nas lavouras antes das colheitas (beterraba, cebola, frutas e flores ornamentais) e até mesmo durante a estocagem dos produtos.

O seu uso como inseticida foi proibido nos Estados Unidos em 1970, mas, em 1972, foi liberado para uso no combate a cupins e formigas. O cancelamento total do seu uso naquele país ocorreu em 1987.

No Brasil, o Ministério da Saúde proibiu o uso dos inseticidas organoclorados, entre eles o dieldrin, em 1985. Este composto continuou, entretanto, sendo produzido no país, com finalidade de exportação, até 1990. Em 1993, o uso deste inseticida foi totalmente proibido no país.

O dieldrin é um dos compostos mais persistentes no ambiente, sendo altamente resistente à biodegradação e à degradação abiótica. A persistência do composto no ambiente, como no caso de vários outros Poluentes Orgânicos Persistentes - POPs, poderia ser explicada pelo fato de não ser um produto natural e, conseqüentemente, existirem poucos mecanismos microbiológicos e químicos que possam destruí-lo

efetivamente. Em decorrência disto, e devido às suas propriedades físico-químicas (baixa hidrossolubilidade, alta estabilidade e semivolatilidade), o dieldrin apresenta característica de bioacumulação e biomagnificação no ambiente.

O composto pode ser encontrado no ar, no solo, na água, no ar, na fauna (peixes, aves e mamíferos), na flora e nos alimentos como resultado de contaminações ambientais, anteriores ou atuais, decorrentes das diversas utilizações do inseticida. Segundo dados da *Agency for Toxic Substance and Disease Registry - ATSDR*, concentrações de 0,4 ppb e 57 ppb são encontradas, em média, nas águas superficiais e no solo contaminado, respectivamente.

A presença do dieldrin no ambiente pode ser, ainda, resultado de vazamentos acidentais de recipientes utilizados na estocagem do composto ou da transformação ambiental do aldrin em dieldrin, levando ao aparecimento deste último inseticida em locais anteriormente contaminados com seu precursor.

Por ser pouco hidrossolúvel, o dieldrin é encontrado em pequenas concentrações nas águas superficiais, sendo, também, pouco lixiviado pelas chuvas para as águas subterrâneas. Nos rios, lagos e outros mananciais aquáticos, o composto concentra-se nos sedimentos. É lentamente volatilizado das águas superficiais, embora a volatilização seja o mecanismo mais importante para a eliminação ambiental do composto. Este processo pode ser atenuado pela adsorção do dieldrin aos sedimentos ou em partículas sólidas suspensas na água.

O dieldrin liga-se fortemente às partículas do solo, permanecendo inalterado no local por vários anos. A adsorção do composto no solo e sedimentos, que já é forte, torna-se maior em locais ricos em matéria orgânica.

O dieldrin pode, entretanto, percorrer longas distâncias, ligado à poeira ou distribuído pelos ventos. A meia-vida biológica do composto no ambiente varia de 3 a 10 anos (em média cinco anos), mas, em condições tropicais, esta eliminação é aumentada. Aproximadamente 90% do inseticida podem ser volatilizados em cerca de 30 dias nestas condições.

As plantas extraem o inseticida do solo contaminado concentrando-o, principalmente, em suas partes aéreas. O dieldrin é, dentre os inseticidas do grupo

Drins, o que mais rapidamente é translocado do solo para as plantas, provavelmente por ser pouco solúvel na água do que os outros componentes do grupo.

Observa-se, para o inseticida, fatores de bioconcentração em organismos aquáticos que variam de 400 a 68.000, demonstrando ser de moderado a significativa o grau de bioacumulação em espécies aquáticas. Dados apresentados na tabela abaixo demonstram este fato.

Tabela 3.5 - Fator de bioacumulação do dieldrin presente em águas contaminadas, determinado em diferentes espécies de organismos aquáticos.

Espécie	Dieldrin na água (µg/L)	Tempo de exposição (dias)	Fator de bioacumulação
<i>Poecilia reticulata</i>	0,8 a 4,2	32	12.500*
<i>Cottus perplexus</i>	0,017 a 0,86	32	13.300*
<i>Scenedesmus obliquus</i>	1,5 a 20	14	1.300**
<i>Daphnia magna</i>	2,1 a 12,8	6	14.000**
<i>Rana temporaria</i>	0,8	2	387,7*

Fonte: UNEP, 2000.

\* quantificado utilizando-se todo o animal

\*\* quantificado no peso seco do animal

Os peixes e outros animais concentram grande quantidade do inseticida em seus organismos, principalmente em tecidos ricos em lipídios. O valor do logFBC, determinado em peixes, variou de 3,38 a 4,8, enquanto em sapos das espécies, *Rana pipiens* e *Xenopus laevis* este valor manteve-se entre 1,57 e 3,33. Dentre os peixes, a truta (*Oncorhynchus mykiss*) foi a espécie que apresentou maior logBCF ou seja, 5,36. A concentração do dieldrin nos tecidos de animais, que se alimentam de outros animais contaminados, é muitas vezes superior àquela encontrada em peixes ou animais que se alimentaram com plantas contaminadas.

As principais vias de exposição do homem ao inseticida são a oral, a pulmonar e a cutânea. A absorção oral, ou pelo trato gastrintestinal (TGI), pode ocorrer quando da ingestão de alimentos e água contendo o dieldrin, ou pelo contato da boca com objetos contaminados. Menos freqüente, atualmente, são os casos de tentativas de suicídio por ingestão do inseticida.

O dieldrin, tanto em solução quanto em pó, é absorvido principalmente no intestino delgado, penetrando em seguida na circulação porta. A absorção intestinal é

lenta, mas pode ser aumentada na presença de dieta rica em lípidos. Outros fatores que podem contribuir para uma maior absorção intestinal do composto são o estado de jejum e o conteúdo de fibras na alimentação. O pico sanguíneo do composto, após a absorção pelo TGI é alcançado cerca de 2,5 horas após a ingestão.

O dieldrin é distribuído por todo o organismo, concentrando-se naqueles órgãos ricos em lipídios tais como músculos, fígado, sistema nervoso central e tecido adiposo. Seu principal sítio de armazenamento é o tecido adiposo, onde pode permanecer inativo durante anos. A extensão deste armazenamento é influenciada pela presença de outros inseticidas clorados no organismo. A relação entre concentração sanguínea: tecido adiposo é de 1:136 no caso do dieldrin. A redistribuição do composto armazenado para a corrente sanguínea pode ocorrer durante períodos de estresse, tais como perda de peso e estados febris elevados. Observa-se em várias espécies animais, entre elas o homem, o aparecimento do chamado estado de equilíbrio de armazenamento, que se instala após certo nível de absorção do composto. Neste equilíbrio, observa-se uma relação linear entre o log da concentração absorvida e o log da concentração armazenada do dieldrin.

A maior parte do inseticida absorvido é biotransformado lentamente no organismo. Este processo ocorre principalmente no fígado, na fração microsômica hepática, pela ação do sistema enzimático citocromo P-450 (cit P-450). A biotransformação do composto resulta na produção de produtos da biotransformação polares, eliminados pela urina ou fezes, ainda não totalmente identificados, mas cujas estruturas.

De acordo com dados da *U.S. Environmental Protection Agency* - EPA, o dieldrin está entre os 10 agentes mais tóxicos para a saúde do homem e segundo a *World Federation of Public Health Associations* - WFPHA, sua toxicidade é 40 a 50 vezes superior à do DDT.

O potencial tóxico crônico do dieldrin, expresso como RfD (*reference dose*), está estipulado em 0,00005 mg/kg/dia, de acordo com estudos realizados pela *Consumers Union of United States, Inc.*, em 1999. Este parâmetro coloca o dieldrin entre os inseticidas de maior toxicidade crônica, logo abaixo do parathion metílico e do heptacloro epóxido.

Estudos agudos realizados em diferentes espécies animais indicaram um valor de DL50 variável para o inseticida, de acordo com a via de exposição e a espécie analisada. A DL50 por via oral foi igual a: 37-87 mg/kg em ratos, 38 mg/kg em camundongos, 65 mg/kg em cães e 3,0 mg/kg em macacos.

Em humanos, a concentração sanguínea de 0,2 mg/L é capaz de desenvolver efeitos graves, tais como convulsões e movimentos musculares incontroláveis. A dose letal crônica em adultos foi estimada em 10 mg/kg de peso corporal, e o *National Institute for Occupational Safety and Health* - NIOSH estabelece a concentração de 50 mg/m<sup>3</sup> como sendo a que representa perigo imediato para a saúde e a vida do homem.

A principal ação tóxica do dieldrin ocorre no sistema nervoso central - SNC, onde altera a transmissão do impulso nervoso. O mecanismo de ação proposto para esta ação é a interferência com as propriedades enzimáticas das membranas das células do sistema nervoso, alterando, conseqüentemente, a cinética dos íons sódio e potássio através destas membranas.

Os compostos que são, ou foram, amplamente utilizados e responsáveis por ampla contaminação ambiental estão sujeitos aos valores orientadores, ou padrões ambientais, que objetivam proteger a saúde pública. Diferentes agências ou órgãos podem ter, entretanto, diferentes valores considerados como "seguros". Estas diferenças refletem, geralmente, as variadas perspectivas das agências regulamentadoras, o tipo de dado revisado em cada nível e os diferentes objetivos finais. Várias evidências conclusivas demonstram, entretanto, que quaisquer destes valores orientadores, ou padrões ambientais fornecem proteção e são melhores do que a inexistência de qualquer parâmetro de avaliação.

No Brasil, os padrões ambientais encontrados referem-se à concentração de dieldrin na água potável e nos alimentos de maneira geral. A Portaria do Ministério da Saúde N° 1469, de 29 de dezembro de 2000, estabelece padrões de qualidade para potabilidade das águas brasileiras. Em relação ao dieldrin, é permitida uma concentração máxima de 0,03 µg/L, valor igual ao estabelecido na Alemanha e inferior ao permitido no México (0,0017 mg/L) e em Maldivas (0,002 mg/L). Esta mesma concentração é a estabelecida no Brasil como o máximo permitido em águas subterrâneas.

De acordo com a EPA a quantidade máxima de dieldrin em águas superficiais não potáveis não deve ultrapassar 76 pg/L. De acordo com a Resolução CONAMA N° 020, de 18 de junho de 1986, os teores máximos de dieldrin permitidos em água doce, Classes 1 e 2, destinadas ao abastecimento doméstico, são de 0,005 µg/L, e de 0,03 µg/L, para a Classe 3, destinada à irrigação de culturas arbóreas, cerealistas e forrageiras e à dessedentação de animais. Para águas salinas (Classe 5) e salobras (Classe 7), o teor máximo permitido é de 0,003 µg/L (BRASIL, 1986).

Ainda no Brasil, a quantidade máxima permitida deste inseticida no solo é de 0,00125 mg/kg. Não existe, nos EUA, proposição para um valor STEL (*short time exposure limit*). Dados obtidos da legislação russa indicam a proposição de um valor STEL de 0.01 mg quando da exposição ocupacional ao inseticida.

Nenhum dado foi encontrado em relação à exposição ocupacional no Brasil. A legislação brasileira referente ao assunto, qual seja, a Norma Regulamentadora N° 15, em seu Quadro 11 do Anexo II, não menciona qualquer referência a este inseticida. Isto pode ser decorrente do fato de este composto estar proibido no país há quase 10 anos.

Atualmente, não são encontradas, nas literaturas especializadas tanto americana quanto brasileira, quaisquer referências quanto aos indicadores biológicos de exposição, ou limites biológicos de exposição, para aquele produto.

O dieldrin pode provocar efeitos tóxicos agudos e crônicos no homem. Alguns dos sinais e sintomas tóxicos observados nos indivíduos expostos são apresentados a seguir.

No caso de ingestão, os primeiros efeitos tóxicos aparecem rapidamente e correspondem a sintomas gerais e inespecíficos, tais como náuseas e vômitos. Os efeitos decorrentes da hiperatividade neuronal, tais como apreensão, excitabilidade, distúrbios do sono, parestesia, tonturas, dor de cabeça, desorientação, tremores progressivos até estupor, coma e convulsões são os mesmos, independentemente da via de absorção do composto.

O aparecimento dos efeitos tóxicos resultantes de uma exposição crônica ao inseticida pode demorar meses ou mesmo anos. Observam-se, geralmente, convulsões e espasmos musculares, sem outros sinais prévios de intoxicação. Dor de cabeça, tontura,

hiperexcitabilidade, distúrbios psicológicos, dores no peito, artralgia, ataxia, incoordenação, nistagmo, tremores das mãos, suores, anorexia, perda de peso, perda da memória recente, taquicardia e alteração no eletrocardiograma são alguns dos efeitos tóxicos crônicos da exposição ao dieldrin. O desenvolvimento de dermatites e prurido pode ocorrer especialmente nas exposições ocupacionais.

No Brasil, em 2001, foi relatado um caso grave de contaminação de solo, água e indivíduos na região de Paulínia, Estado de São Paulo. Resíduos de inseticidas clorados, entre eles o dieldrin, presentes no solo circunvizinho a uma antiga indústria de produção daqueles compostos, migraram e atingiram o lençol freático sob diversas chácaras da região. A concentração do inseticida no solo atingiu patamares de até 17 ppb e, nas águas, a concentração média detectada foi em torno de 0,47 ppb, ou seja, um valor 16 vezes superior ao valor máximo permitido de 0,03 ppb estabelecido pela legislação brasileira. Exames toxicológicos realizados nos moradores da região mostraram que 80% dos indivíduos apresentavam concentrações sanguíneas de dieldrin em torno de 0,1 µg/L.

Incêndios acidentais podem ocorrer em locais onde existem estoques armazenados do inseticida. Embora este composto não seja inflamável. Suas formulações líquidas possuem solventes orgânicos, utilizados como veículos, que podem ser facilmente inflamados. É importante considerar também que, em elevadas temperaturas, o dieldrin pode decompor-se liberando gases e vapores tóxicos. No combate aos episódios acidentais de queima do composto, todo o tipo de substâncias extintoras de incêndios poderão ser utilizadas.

- DDT

O DDT é um inseticida persistente de amplo espectro, que foi extensamente utilizado na agricultura e no controle de vetores de doenças. A estrutura química dos compostos que ocorrem no DDT comercial e de alguns de seus metabólitos são mostradas na Tabela. A estrutura dos compostos o,p' - e m,p' - pode ser inferida da estrutura dos isômeros p,p' - apresentados.

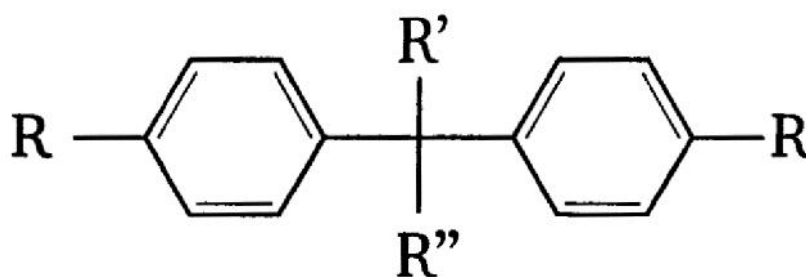


Figura 3.7 - Fórmula estrutural do DDT.  
Fonte: UNEP. 2002

Tabela 3.6 – Estrutura do p,p'-DDT e seus principais metabólitos

Nome	Nome químico	R	R'	R''
DDT	1,1'-(2,2,2-tricloroetilideno)-bis[4-clorobenzeno]	-Cl	-H	-CCl <sub>3</sub>
DDE <sup>a</sup>	1,1'-(2,2-dicloroetilideno)-bis[4-clorobenzeno]	-Cl	-	=CCl <sub>2</sub>
TDE (DDD) <sup>a,b</sup>	1,1'-(2,2-dicloroetilideno)-bis[4-clorobenzeno]	-Cl	-H	-CHCl <sub>2</sub>
DDMS <sup>a</sup>	1,1'-(2-dicloroetilideno)-bis[4-clorobenzeno]	-Cl	-H	-CH <sub>2</sub> Cl
DDNU <sup>a</sup>	1,1'-bis(4-clorofenil)etileno	-Cl	-H	0
DDOH <sup>a</sup>	2,2'-bis(4-clorofenil)etanol	-Cl	-H	0
DDMU <sup>a</sup>	1,1'-(2-cloroetilideno)-bis[4-clorobenzeno]	-Cl	-H	-CH <sub>2</sub> OH
DDA <sup>a</sup>	Ácido 2,2-bis(4-clorofenil)-acético	-Cl	-H	-C(O)OH

Fontes: WHO, 1989b; OPAS, 1982

a - metabólito do DDT reconhecido em ratos

b - como inseticida, este composto se denomina TDE, nome aprovado pela Organização Internacional de Unificação de Normas (ISO) e é vendido com o nome ???

As propriedades físico-químicas do DDT, DDE e DDD estão descritas na Tabela 3.7.



Tabela 3.7 - Propriedades físico-químicas do DDT, DDE e DDD

Propriedades	DDT	DDE	DDD
Fórmula molecular	C <sub>14</sub> H <sub>9</sub> Cl <sub>5</sub>	C <sub>14</sub> H <sub>8</sub> Cl <sub>4</sub>	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>4</sub>
Peso molecular (g mol)	355,49	318,03	320,05
Cor	pó branco cristais incolores	branca	pó branco cristais incolores
Estado físico	Sólido	Sólido cristalino	Sólido
Ponto de fusão (°C)	108-109 (p,p'), 74-75 (o,p')	88,4-90	109-110
Densidade	0,98-0,99 g/cm <sup>3</sup>	Sem dados	1,385 g/m <sup>3</sup>
Solubilidade: água	insolúvel	0,12 mg/L a 25°C	insolúvel
Solventes orgânicos	(máx. 0,0034 mg/L a 25° C) muito solúvel em éter etílico, acetona, benzeno e outros solventes orgânicos	lipídios e a maioria dos solventes orgânicos	(máx. 0,160 mg/L a 24°C)
Pressão de vapor	5,5x10 <sup>-6</sup> a 20°C, torr	6,5x10 <sup>-6</sup> (p,p') a 20°C, torr	1,02x10 <sup>-6</sup> a 30°C, torr
Coefficiente de partição:			
Log Kow(octanol-água)	6,19	7,00	6,20
Log Koc (carbono orgânico))	5,38	6,64	5,89
Constante da Lei de Henry	5,13x10 <sup>-4</sup> atm.m <sup>3</sup> /mol	6,8x10 <sup>-5</sup> atm.m <sup>3</sup> /mol	2,16x10 <sup>-5</sup> 10 <sup>-5</sup> atm.m <sup>3</sup> /mol

Fontes: OPAS, 1982; ASTDR, 1999; WHO, 1989 a.

No início da década de 70, seu poder residual, considerado inicialmente como qualidade, começou a ser encarado como sério inconveniente e de grande significado ecológico, pois acarretou a contaminação de, praticamente, todo o meio ambiente. Devido à sua capacidade de bioacumulação, é considerado como um dos poluentes ambientais mais perigosos.

O DDT e seus metabólitos podem ser transportados de um meio para outro, no ambiente, por processos de solubilização, adsorção, bioacumulação ou volatilização. O DDT pode alcançar a atmosfera através da evaporação dos resíduos presentes no solo e na água, ou durante sua aplicação no controle de vetares, particularmente quando esta é efetuada por aviões. Uma vez na atmosfera, as partículas são impulsionadas pelos ventos para longe da fonte de aplicação.

Acredita-se que a precipitação seja a maior via de remoção do DDT da atmosfera, embora difusão para grandes corpos d'água e transformação química também

ocorram. No ar, este inseticida permanece por curto período de tempo, sendo a meia-vida de dois dias.

A maior parte do inseticida presente na água encontra-se firmemente ligado a partículas do solo e assim permanece, indo depositar-se no leito de rios e mares. A baixa hidrossolubilidade do composto faz com que seja adsorvido pelos sedimentos, os quais agem como reservatório primário para o excesso de DDT presente. No sedimento, de estará disponível para ingestão pela biota aquática.

Todos os solos mostraram uma forte capacidade adsorviva para o DDT; entretanto ela é menor em solos arenosos e maior naqueles contendo teores elevados de material orgânico. O DDT presente na água pode sofrer fotodegradação e biodegradação; este último processo, realizado por microrganismos aquáticos, é um mecanismo menor de transformação.

No ar, processos ambientais contribuem para a degradação e a transformação do DDT em diferentes quantidades. O vapor de qualquer inseticida que se eleve a 50 m do solo, continuará ascendendo, por difusão, até chegar à ionosfera, que é fotoquimicamente ativa. O DDT que alcança a ionosfera pode ser rapidamente destruído pela radiação solar. Sob condições atmosféricas simuladas, ambos (DDT e DDE) se decompõem originando dióxido de carbono e ácido clorídrico.

Quatro mecanismos parecem contribuir para as maiores perdas de DDT do solo: transformação química, lixiviação, volatilização e absorção. A biodegradação pode ocorrer sob condições aeróbias e anaeróbias na presença de certos organismos presentes no solo, incluindo fungos e microrganismos. Sob condições aeróbias, a reação dominante é a desidrocloração; ocorrendo, normalmente, lenta conversão a DDE. Sob condições anaeróbias, ocorre descloração redutora, com conversão rápida a DDD.

Os inseticidas organoclorados são absorvidos diretamente através do meio ambiente, ou através da cadeia alimentar. Em organismos aquáticos, a captura pela água é geralmente mais importante enquanto, para a fauna terrestre, os alimentos provêm a maior fonte.

Como estes se tornam parte da cadeia alimentar, uma progressiva biomagnificação dos resíduos pode resultar em altos teores nos organismos presentes nos níveis tróficos mais altos (ENVIRONMENTAL. 1989; DEWAILLY *et al.* 2000). Por esta razão, a análise feita somente em água, como medida da qualidade ambiental, é inadequada; faz-se necessário analisar, além dela, o material biológico. Na cadeia alimentar que se estabelece nas águas, os peixes representam o elo final e servem para indicar a maior ou menor contaminação do meio ambiente.

A despeito de sua forte ligação ao solo, DDT, DDE e DDD estão disponíveis para plantas e invertebrados. Nas plantas, a maioria dos resíduos é encontrada nas raízes e as menores concentrações estão presentes nos brotos, indicando baixa translocação do DDT. A maioria dos organismos terrestres acumula DDT principalmente através dos seus alimentos.

O DDT, DDE e DDD são eficientemente absorvidos, distribuídos e armazenados no organismo devido à sua alta lipossolubilidade. A via digestiva é considerada a mais significativa via de entrada do DDT no organismo humano, devido ao consumo de alimentos ou uso de utensílios contaminados; a absorção se faz principalmente no intestino, via sistema linfático.

Dados toxicológicos indicam que a absorção de DDT pela via respiratória é inexpressiva em decorrência do grande tamanho das partículas, o que facilita sua deposição nas regiões mais superiores do trato respiratório; aquelas que alcançam traquéia e brônquios podem, eventualmente, ser deglutidas devido à ação do aparato mucociliar da mucosa desta região, contribuindo para evitar sua presença nos alvéolos pulmonares. A absorção por via dérmica é considerada limitada em humanos e animais.

Uma vez absorvidos, distribuem-se rapidamente - via linfa e sangue - para todos os tecidos orgânicos, armazenando-se nesses de acordo com seu conteúdo lipídico. A relação entre concentração do DDT armazenado no tecido adiposo e o presente no sangue é estimada em 280:1, permanecendo relativamente constante. Em épocas de nutrição deficiente ou relativa inanição, os depósitos de gordura são mobilizados e o inseticida pode ser liberado, passando à corrente sanguínea. O DDT atravessa facilmente as barreiras placentária e hematencefálica.

De maneira geral, a eliminação dos inseticidas organoclorados compreende duas fases: uma inicial, de eliminação rápida, que dura de 3-20 dias e outra de eliminação prolongada, que dura semanas ou meses.

A biotransformação processa-se a uma taxa excepcionalmente lenta devido, em parte, à complexa estrutura do anel aromático e extensa cloração, pois estes anéis substituídos são muito difíceis de serem removidos pelos processos enzimáticos disponíveis nos tecidos corpóreos.

O DDT e seus produtos de biotransformação podem ser excretados no leite. Esta via tem grande importância, uma vez que o conteúdo de lipídeos neste fluido orgânico (3-5%) e o grande fluxo de sangue no tecido mamário podem conduzir a um acúmulo considerável desses produtos, quando comparada a outros tecidos. A excreção de DDT no leite merece especial atenção, uma vez que pode passar da mãe para o filho via aleitamento materno e do animal para o homem via produtos lácteos. Os principais efeitos acarretados pelo DDT num organismo biológico incluem neurotoxicidade, hepatotoxicidade, efeitos metabólicos, efeitos reprodutivos e câncer.

O DDT age no SNC interferindo no movimento de íons através das membranas neuronais; parece haver quatro mecanismos pelos quais o DDT afeta esse movimento, todos eles possivelmente funcionando de modo simultâneo. O DDT retarda o fechamento do canal de sódio (interferindo, com o transporte ativo de sódio fora do axônio durante a repolarização) e previne a abertura completa do canal de potássio (reduzindo o transporte de potássio através da membrana) (ASTDR, 1999; ECOBICHON, 1995). O DDT inibe a ATPase neuronal, que exerce papel vital na repolarização das membranas neuronais, estando envolvida no controle do fluxo de sódio, potássio e cálcio através das membranas. O DDT também inibe a habilidade do calmodulin - um mediador do cálcio nos nervos - para transportar íons cálcio, o que é essencial para a liberação intraneuronal de neurotransmissores.

Estas ações se combinam para manter efetivamente a despolarização da membrana, potenciando a liberação de transmissores e levando à excitação do SNC manifestada como hiperexcitabilidade, tremores e convulsões, juntamente com os efeitos secundários das convulsões como taquicardia, acidose metabólica e hipertermia.

Os efeitos hepáticos acarretados em animais expostos a DDT, DDE e DDD incluem aumento de peso, hipertrofia e hiperplasia do fígado, indução das enzimas microsossomais do citocromo P-450 e necrose celular. O DDT e seus produtos de biotransformação parecem romper a estrutura das membranas mitocondriais resultando, possivelmente, em dano e morte de algumas células; para compensar esta perda, o fígado inicia um processo regenerativo que freqüentemente leva a hipertrofia e hiperplasia que, por sua vez, podem contribuir para a promoção de tumores hepáticos. Em conseqüência dos danos nos hepatócitos, nota-se aumento nos níveis séricos das enzimas SGPT e alanina-aminotransferase.

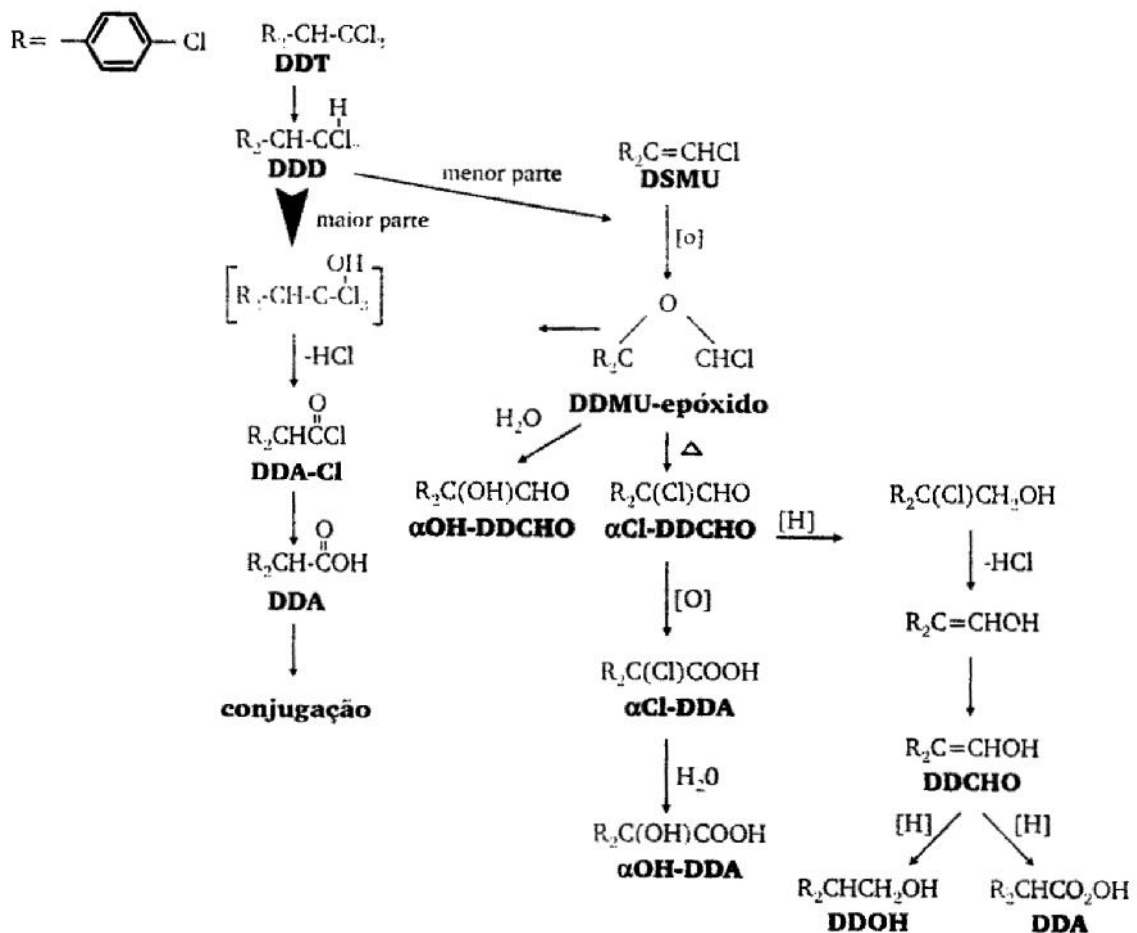


Figura 3.8 – Esquema da biotransformação.

A indução enzimática pode levar a uma queda nos níveis séricos de macromoléculas como esteróides endógenos e outros hormônios que são biotransformados pelas monooxigenases do sistema P-450, como observado em indivíduos expostos a DDT que têm aumentado o metabolismo microsomal de cortisol. Dessa forma, a homeostase hormonal pode estar indiretamente afetada, levando a possíveis efeitos em diversos sistemas orgânicos, incluindo o sistema reprodutivo.

Foi demonstrado que o composto age como um estrogênio nas fêmeas, podendo este ser um dos mecanismos pelo qual o DDT causa efeitos adversos sobre a função reprodutiva e sobre o desenvolvimento animal. Há um delicado equilíbrio nos níveis hormonais durante os vários períodos do ciclo reprodutivo, equilíbrio este mediado por um mecanismo de retro-alimentação negativa de liberação de hormônios, controlado pelo sistema hipotalâmico-hipofisário. Há também catabolismo dos esteróides circulantes.

A introdução de hormônios exógenos ou xenobióticos que mimetizam a ação hormonal (*disruptors endocrine*) pode causar profundos efeitos no funcionamento da fisiologia normal do sistema reprodutivo.

Segundo WHO (1979), as concentrações de DDT no ar de áreas industriais, agrícolas ou de luta contra enfermidades não deve exceder  $1 \text{ mg/m}^3$  durante 40 horas semanais. Alguns países têm suas próprias normas, segundo as quais se aceitam concentrações de 0,1 a  $1,0 \text{ mg/m}^3$ , que permitem deixar margens de segurança adequada.

A população está continuamente exposta ao DDT e seus metabólitos, como resultado da ingestão de pequenas quantidades presentes na dieta. A exposição humana resulta primariamente da ingestão de carne, peixe, aves domésticas, raízes e vegetais folhosos.

Tabela 3.8 - Níveis de resíduos de DDT e seus metabólitos encontrados em alimentos constituintes da cesta básica.

Produtos	out. 1979-set. 1980		out. 1980-mar. 1982	
	DDE	DDT	DDE	DDT
Laticínios	0,9	0	1,5	0
Carne, peixe, aves	4,8	0,8	3,0	0
Grãos e cereais	0	0	0	0
Batata	0,5	<0,1	0,5	0
Vegetais folhosos	1,7	0,2	2,4	0,4
Legumes	0	0	<0,1	0
Raízes comestíveis	1,0	0	4,6	0,6
Hortaliças	0,2	0	0,1	0
Frutas	0	0	<0,1	0
Óleos e gorduras	<0,1	0	<0,1	0
Açúcar	<0,1	0	<0,1	0
Bebidas	0	0	0	0

Fonte: ASTDR, 1999.

No Brasil, o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) estabelece os limites para o DDT de 0,002 µg/L em água destinada ao abastecimento doméstico (Classes 1 e 2); 1,0 µg/L em água destinada à irrigação de culturas arbóreas, cerealistas e forrageiras e à dessedentação de animais (Classe 3); e 0,001 µg/L, tanto para as águas salinas (Classe 5) quanto para as águas salobras (Classe 7). A Portaria N° 1469 do Ministério da Saúde, de 29 de dezembro de 2000, determina em 2 µg/L o valor máximo permitido de DDT e isômeros em água potável (BRASIL, 2000).

Os efluentes de qualquer fonte poluidora não podem conter mais que 0,05 mg/L de compostos organoclorados totais (praguicidas, solventes etc) (CONAMA, 1986). A Tabela 3.9, apresenta as concentrações aceitáveis de DDT total recomendadas pelo, EPA (1986) nos alimentos.

Tabela 3.9 – Níveis de resíduos aceitáveis recomendados para alguns produtos alimentícios.

Produtos alimentícios	Níveis de resíduos aceitáveis (DDT, DDE e DDD)
Maioria de frutas e vegetais	0,1-0,5 ppm
Ovos	0,5 ppm
Grãos	0,5 ppm
Leite	0,05 ppm
Carne	5 ppm

Fonte: ASTDR, 1999.

Com raras exceções, o máximo de concentração atmosférica de DDT a que se expõem os trabalhadores - aproximadamente  $7 \text{ mg/m}^3$  - produz-se quando o inseticida é aplicado no interior de habitações, como ocorre na luta antivetorial. Locais onde se fabrica e embala o DDT, podem alcançar concentrações de até  $104 \text{ mg/m}^3$ . Porém, quase todo o DDT que se encontra no ar, nos locais de trabalho, está na forma de aerossóis e, devido ao tamanho das partículas e outros fatores, é pequena a quantidade do inseticida que se pode inalar. Não foram localizados dados atuais localizados sobre a exposição de trabalhadores que se utilizam de tecnologias modernas na produção e formulação destes compostos. Dados indicam que, mesmo em doses relativamente elevadas, a absorção do - DDT pela pele é mínima.

Os padrões de exposição ocupacional ao DDT, objetos de legislação ou recomendação, encontram-se na Tabela 3.10.

Tabela 3.10 - Limites de exposição ocupacional ao DDT.

Entidade	Limites	Observação	Fonte
OSHA	$1 \text{ mg/m}^3$ (PEL-TWA)	Pele	NIOSH, 1996
ACGIH	$1 \text{ mg/m}^3$ (TLV-TWA)	Pele	NIOSH, 1996
NIOSH	$0,5 \text{ mg/m}^3$ (REL-TWA)	a	NIOSH, 1996
	* IDLH sem evidência	b	NIOSH, 1996
	* $500 \text{ mg/m}^3$ (IDLH “efetivo”)		

Fonte: NIOSH, 2002.

ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists; OSHA - Occupational Safety and Health Administration; NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health; TLVs (Threshold Limit Values) - Valores Limites; PELs (Permissible Exposure Limits) - Limites de exposição permitida; RELs (Recommended Exposure Limits) - Limites de exposição recomendada; TWA (Time - Weighted Exposure Concentration) - Concentração Média Ponderada pelo Tempo para oito horas diárias ou dez horas diárias e quarenta horas por semana; IDLH (Immediately Dangerous to Life Health Concentration) - Concentração Média Ponderada pelo Tempo normalmente de 15 minutos, não pode ser ultrapassada em nenhum momento da jornada de trabalho.

a - NIOSH considera o DDT como potencial carcinógeno ocupacional;

b - IDLH revisado, baseado nos dados de toxicidade aguda do DDT em humanos. Voluntários expostos a  $423 \text{ mg/m}^3$  por períodos de 1h/dia, durante 6 dias, relatam apenas irritação ocular (NEAL *et al.*, 1994). A dose oral letal foi relatada ser de  $500 \text{ mg/kg}$  (WINDHOLZ, 1983; NIOSH, 1996).

Ingestão de doses elevadas de DDT resulta em parestesia da língua, lábios e face; apreensão, hipersuscetibilidade a estímulos externos (luz, som, tato); irritabilidade, vertigem, tontura, tremor e convulsões. Agitação motora e tremores leves, associados com movimentos voluntários, progridem a tremores ininterruptos, em intoxicações moderadas a graves. Os sintomas geralmente aparecem entre 6 e 24h após a exposição.



Pessoas expostas por longo período de tempo a pequenas quantidades, como os trabalhadores que fabricam DDT, têm algumas mudanças reversíveis nos níveis de enzimas hepáticas. DDT estimula a produção de enzimas hepáticas tanto em animais quanto em humanos, em particular as oxidases de função mista (OFM). A consequência dessa indução enzimática inclui alteração da biotransformação de diversos xenobióticos e hormônios esteróides. O impacto da mencionada indução (OFM) é incerto e, na ausência de outros efeitos hepáticos, aquela não é considerada um efeito adverso. Em animais, o fígado parece ser um dos principais alvos da toxicidade do DDT. A gravidade do dano aumenta progressivamente com a dose. Após exposição oral aguda, os efeitos adversos podem incluir o aumento de peso do fígado e elevar os níveis séricos de enzimas hepáticas. Exposição oral subcrônica e crônica resulta em hipertrofia de células hepáticas, alterações histopatológicas, necrose e hiperplasia.

Os alimentos constituem o principal veículo para a absorção de DDT entre a população em geral. Em 1965, quando o emprego desse inseticida alcançou cifras máximas nos EUA, a quantidade absorvida por cada indivíduo/dia estava assim distribuída: 40 µg via alimentos, menos de 0,046 µg via água, menos de 0,06 µg via ar urbano e menos de 5 µg via ar de regiões agrícolas.

Vários pesquisadores têm hipotetizado que agentes químicos com características estrogênicas, como o DDT, podem afetar adversamente a reprodução masculina e levar à diminuição do número de espermatozóides.

A bioconcentração do DDT e seus produtos de biotransformação pode causar efeitos adversos em todos os níveis tróficos dos ecossistemas aquáticos, particularmente nos produtores primários, que são mais suscetíveis. Exposições a concentrações ambientais de 0,1 µg/L podem causar inibição do crescimento e da fotossíntese em várias espécies de fitoplâncton marinho (WHO, 1989b). Estes compostos são altamente tóxicos para os peixes (a CL50 [96h] varia de 1,5 a 5,6 µg/L) e, além da letalidade, podem afetar o desenvolvimento, o comportamento e alterar seus processos bioquímicos. Casos de hermafroditismo observados em algumas espécies de peixes e em crocodilos são creditados à ação hormonal do DDT.

A redução da produtividade de peixes pode, por sua vez, reduzir o suplemento alimentar humano. Não sendo o DDT um inseticida seletivo pode, por isso mesmo,

levar à mortalidade inimigos naturais das pragas agrícolas. Isto resulta num prejuízo do balanço entre predadores e presa, causando o afloramento de pragas secundárias e a ocorrência de grande número de pragas primárias. O declínio observado na população de certas aves pode, pelo menos parcialmente, ser atribuído ao DDT. Tem sido demonstrado que resíduos de DDE no organismo dos pássaros aumenta a fragilidade da casca dos seus ovos - particularmente nas espécies predadoras - podendo causar a morte do embrião. Um fator que tem recebido menos atenção é o efeito secundário no aumento do número de roedores que é controlado, principalmente pelas aves de rapina, em alguns países.

Estudos laboratoriais confirmam que populações de morcegos, encontradas nos campos, são adversamente afetadas pelo DDT, especialmente as espécies migratórias; isto porque, durante a migração, estoques de gordura corpórea são mobilizados e, juntamente com ela, os resíduos de DDT, aumentando o índice de mortalidade entre morcegos adultos. Estes estudos são indicativos do potencial de risco para outros mamíferos. As normas de procedimento para gestão de resíduos de DDT e DDD recomendam a incineração em forno rotativo a 820-1600°C. Para soluções de DDT formuladas em 5% em óleo, é recomendado o uso de incineração por injeção líquida a 878-1.260°C.

- *Clordano*

Clordano é um inseticida de contato, de amplo espectro, utilizado na agricultura, em culturas de vegetais, milho, oleaginosas, tomate, cana de açúcar, frutas, algodão e juta, e no controle de cupins.

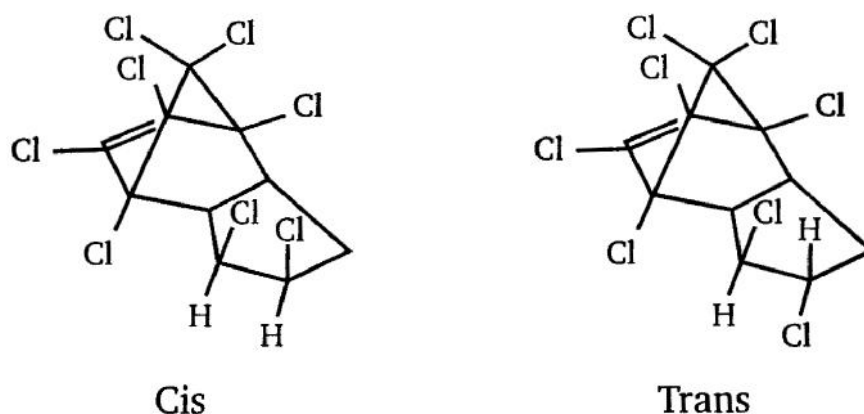


Figura 3.9 - Isômeros *cis* (ou K) e *trans* (ou 3) do clordano  
 Fonte: UNEP, 2002.

No Brasil, não existem produtos agrotóxicos cujo principal ingrediente ativo seja o Clordano, mas três produtos destinados à preservação de madeira, e registrados junto ao IBAMA, possuem em sua composição o clordano, e são eles: Biarbinex 200 CE; Biarbinex 400 CE e Nadefour 400. Todos compostos por heptacloro, clordano e nonacloro e indicados para preservação de madeiras e compensados, aplicados através de mistura na cola, pincelamento ou imersão.

Atualmente, os usos mais correntes do clordano são como ectoparasita local, formicida, inseticida, cupinicida em construções, represas e rodovias; como adesivos de compensados e na preservação de madeiras e de cabos subterrâneos.

Em 1985, o Brasil proibiu a comercialização, o uso e a distribuição de produtos agrotóxicos organoclorados, destinados à agropecuária, com exceção das iscas formicidas à base de aldrin e dodecacloro, dos cupinicidas à base de aldrin para florestamento e reflorestamento, em campanhas de saúde pública e no uso emergencial na agricultura, através da Portaria N° 329/85 (BRASIL, 1985). Em 1992 foi proibido o uso definitivo do dodecacloro. Apesar de se referirem a organoclorados, estes instrumentos legais não citam explicitamente o clordano.

A Portaria N° 11, de 8 de janeiro de 1998, do Ministério da Saúde, exclui produtos organoclorados da relação das substâncias com ação tóxica, que podem ter seu uso autorizado em atividades agropecuárias e como produtos domissanitários, entre elas o aldrin, DDT, endrin, heptacloro e outros, mas também não cita especificamente o clordano (BRASIL, 1998).

O Ministério da Agricultura estruturou o Programa de Controle de Resíduos em Carne, e no relatório de 2001 deste Programa, publicado através da Portaria N° 13, de 8 de março de 2002.

Devido à sua utilização na agricultura, a exposição ao clordano pode ocorrer através do alimento, mas as medidas cada vez maiores de restrição ao seu uso fazem com que, atualmente, esta rota de exposição não seja a principal. De forma geral, os níveis de clordano têm diminuído no meio ambiente, mas os dados sobre a contaminação ambiental são limitados aos países mais desenvolvidos, o que impossibilita a confirmação deste fato em nível global.

Em levantamento realizado no ano 2000, sobre contaminação por poluentes orgânicos persistentes na América Latina, a partir de estudos realizados no meio ambiente costeiro (lagoas costeiras, água, sedimento, peixes e moluscos), marinho (peixes, moluscos e mamíferos), aquático (água superficial, sedimentos, peixes e moluscos), terrestre (ar, solo, vegetação, pássaros, alimentos) e em humanos, foram encontrados resíduos de clordano em vários países da região, mostra o Quadro.

A maioria dos dados gerados sobre contaminação com os POPs na América Latina está no México e, em segundo lugar, no Brasil, sendo DDT/DDE/DDD os produtos mais investigados.

Existem poucos dados sobre a contaminação e o comportamento do clordano no meio aquático, mas os estudos apontam para o fato de que o clordano não se degrada muito rapidamente na água e que o transporte é provavelmente um mecanismo mais rápido que a degradação. Como ele praticamente não sofre lixiviação no solo, é pouco provável que atinja águas subterrâneas. A maioria do clordano atinge os corpos d' água através do escoamento superficial dos solos urbanos e agrícolas.

Apesar da insolubilidade em água e da rápida adsorção ao solo contribuírem para a redução do potencial de contaminação das águas subterrâneas, este cenário pode ser alterado em áreas com elevada contaminação. Desta forma, a presença de clordano na água potável é improvável mas pode ocorrer devido a eventos acidentais.

Na água, o clordano pode ser adsorvido tanto pelo sedimento de fundo quanto de superfície, sendo que a partição depende da quantidade de carbono orgânico do

sedimento. O clordano liga-se fortemente ao carbono orgânico dissolvido na água o que pode resultar num aumento aparente da solubilidade e mobilidade.

Taxa de volatilização do clordano da água depende das características do material em suspensão (quantidade, tamanho e % de matéria orgânica). A adsorção aos sólidos suspensos e sedimentos atenuam a volatilização, que também é afetada pela temperatura, vento e turbulência da água.

Através do modelo matemático EPA-EXAMS, que analisa o comportamento da substância a partir de suas propriedades físico-químicas, a meia-vida estimada de volatilização do clordano é de < 10 dias. A volatilização relativamente alta indica que a cinética de volatilização é mais rápida do que a de adsorção.

Com relação ao comportamento no meio aéreo, o clordano degrada-se no ar tanto por fotólise quanto por oxidação. O isômero *trans* do clordano degrada-se fotoliticamente mais facilmente que o isômero *cis*. O clordano aplicado nas fundações das casas, para o combate ao cupim, pode penetrar no interior das residências devido a rachaduras na fundação ou ao aquecimento na tubulação de esgoto ou do sistema de aquecimento das casas. Quando isto ocorre o clordano se dispersa pela casa através de difusão e convecção.

Nos solos, o clordano é extremamente persistente; em alguns deles pode persistir por mais de 20 anos, sendo a volatilização o maior fator de remoção deste meio. No solo, ele é adsorvido pela matéria orgânica e volatiliza lentamente com o tempo. Não é significativamente lixiviado e, geralmente, dependendo das características do solo, permanece nos 20 cm superficiais por até 20 anos.

Apesar da volatilização do solo ser o maior mecanismo de perda do Clordano, ela é dependente do teor de água, da temperatura e da umidade relativa, bem como da pressão de vapor e da adsorção do solo (solos arenosos e aqueles com baixa quantidade de matéria orgânica adsorvem menos que os solos argilosos e/ou com alto teor de matéria orgânica). A mistura do solo influencia diretamente a volatilização, sendo o fator mais importante para o processo. O tempo para o clordano volatilizar 50% (meia-vida de volatilização) é de 2-3 dias, sendo a perda maior durante o dia.

A volatilização, em alguns casos, persiste por muitos anos, não interferindo a cobertura vegetal na taxa de volatilização. Num experimento realizado ao longo de três anos, onde o clordano foi incorporado nos 10 cm superficiais de um solo argilo-arenoso, a meia-vida foi de 93,2 e 154 dias para o solo coberto e sem cobertura, respectivamente. Pequenas quantidades de clordano podem translocar-se de solos contaminados para plantas, onde foi evidenciado que o *cis*-clordano pode isomerizar-se a *trans*-clordano.

O clordano entra no meio ambiente através da aplicação direta na agricultura, jardinagem e no controle de cupins. Devido à sua persistência no solo ele pode ser fortemente adsorvido por partículas orgânicas, e a meia-vida neste meio varia de 4-20 anos. Ele é rapidamente adsorvido pelos sedimentos aquáticos e bioconcentra-se na gordura dos organismos devido ao seu alto coeficiente de partição ( $K_{ow} = 6$ ).

A insolubilidade e a afinidade pelas partículas do solo diminuem o potencial de contaminação das águas subterrâneas. A volatilização é o processo mais significativo de perda do clordano. As propriedades químicas do clordano (baixa solubilidade, alta estabilidade e volatilidade) favorecem o transporte a longas distâncias, justificando o fato de ter sido encontrado na cadeia alimentar de regiões árticas, onde nunca foi utilizado.

No ar, o clordano sofre fotólise e produz foto-isômeros como o foto-*cis*-clordano, que é mais tóxico para certos animais que o clordano, e também possui alto potencial de bioacumulação.

Com já se afirmou, o clordano é altamente persistente; esta persistência, aliada ao seu alto  $K_{ow}$ , cria as condições ideais para a bioconcentração nos organismos. O produto se bioconcentra tanto em espécies marinhas ( $K_{ow}$  de 300 a 12.000), quanto de água doce ( $K_{ow}$  de 18.000) e em bactérias ( $K_{ow}$  de 200 a 55.900). A biomagnificação de compostos de clordano, incluindo o heptacloro epóxido, foi estudada em três níveis da cadeia alimentar no Ártico (peixe, foca e urso). A biomagnificação entre peixe e foca foi de 7,3/4,7 (macho/fêmea) e entre foca e urso foi de 6,6/9,5 (macho/fêmea), resultando no fator de biomagnificação total do urso de 44,2.

Com relação à mesofauna do solo, observou-se que o clordano causa uma grande redução no número de coleópteros, dípteros, colêmbolo hemiedáfico e ácaros não-predatórios, mas pouca redução no número de ácaros predatórios e colêmbolo edáfico,

numa taxa de aplicação de 1,12-2,24 kg/ha, clordano foi letal para larvas de moscas e besouros.

Os efeitos do clordano a microorganismos devem-se principalmente à inibição da atividade enzimática. As bactérias *gram*-positivas aparentemente são mais sensíveis ao clordano do que as *gram*-negativas.

A absorção de inseticidas organoclorados pode ocorrer pelas vias respiratória, dérmica ou digestiva. O maior ou menor grau de absorção do contaminante depende de diversos fatores como: a natureza química do composto, o dissolvente em que se veicula, as condições climáticas no momento da aplicação e a forma de aplicação.

O clordano pode entrar no organismo humano pela via digestiva ou respiratória. A natureza lipofílica do clordano também facilita a sua absorção dérmica. A exposição aguda ao clordano pode resultar em dores de cabeça, confusão, problemas de visão, hipertensão, ataxia, hiperatividade, vômitos, diarreia, convulsões e morte.

A cinética de primeira ordem do clordano, e de seus metabólitos, é determinante para a partição e persistência no tecido adiposo. O oxiclordano, um produto de biotransformação, o metabólito epóxido do clordano, parece ser o metabólito residual mais persistente, tanto em tecidos de animais como de humanos. O oxiclordano e o heptacloroepóxido, um metabólito do heptaclor presente em todas as misturas de clordano, são os metabólitos considerados de maior significância toxicológica.

Após a administração, o clordano pode ser rapidamente identificado no sangue, alcançando a concentração máxima em torno de 2-5 minutos após a administração e, uma hora após, o pulmão concentra 24 % da dose total, o fígado 20%, os rins 0,3% e a bexiga 0,1%.

A partição do clordano e de seus metabólitos está bem estudada tanto no homem quanto em animais. TAGUCHI, YIKUSHIJI (1988), apud USEPA (1997), encontraram elevados níveis de resíduos de Clordano, incluindo o oxiclordano e o heptacloro epóxido, em leite de mulheres cujas residências haviam sofrido aplicações de clordano para combate a cupim.

No fígado, os compostos organoclorados sofrem biotransformação parcial bastante variável em função do tipo de substância, principalmente dependendo da diferença na estabilidade das ligações entre os átomos de carbono e cloro da estrutura do anel. Os compostos e seus produtos de biotransformação podem permanecer no fígado, ou entrar na corrente sanguínea, e sofrer eliminação pela urina ou pela bÍlis, através da parede intestinal, e serem excretados pelas fezes.

No interior do organismo, os agrotóxicos podem ser biotransformados, permanecer armazenados na gordura ou ser excretados sem sofrer mudanças: de modo geral, a biotransformação tende a aumentar a hidrossolubilidade destes compostos e facilitar a sua excreção. Quanto ao Clordano, a eliminação ocorre primeiramente pelas fezes (56%, após seis dias) e pela urina (12%, após seis dias).

Em humanos, as evidências quanto ao potencial carcinogênico dos organoclorados são insuficientes. Entretanto, limitações destes estudos e dados consistentes em animais indicam que podem levar ao desenvolvimento de neoplasias no homem. Em nível internacional são vários os países que determinam limites máximos de resíduos de clordano. O Quadro 2 apresenta alguns limites máximos permitidos em vários países. A concentração máxima permitida no local de trabalho (ocupacional), para a maioria dos países, é de 0,5 mg/m<sup>3</sup> em 8 horas, ou 2 mg/m<sup>3</sup> por 15 minutos/dia, com intervalos de uma hora.



Quadro 3.2 - Limites máximos permitidos de resíduos de clordano.

País		Limite*	
Argentina	Alimentos	0-0,3 mg/kg	
	Tabaco	0 mg/kg	
Alemanha	Tabaco	0,2 mg/kg	
	Óleo de peixe	0,2 mg/kg	
	Carne, leite, ovos e derivados	0,05 mg/kg gordura	
	Peixes e derivados	0,05 mg/kg	
	Outros produtos de origem animal	0,01 mg/kg	
CEE	Embutidos	0,02 mg/kg	
	Gorduras	0,05 mg/kg	
	Chás	0,02 mg/L	
Reino Unido	Chás, cereais e produtos animais	0,002-0,05 mg/kg	
	Frutas e vegetais	0,02 mg/kg	
Índia	Produtos alimentícios	0,05-0,3 mg/kg	
Quênia	Alguns produtos alimentícios	0,02-0,5 mg/kg	
Canadá	Água	0,007 mg/L	
	Produtos agrícolas	0,1 mg/kg	
Estados Unidos	IDA	0,0006 mg/kg	
	Água potável:	EPA	2 µg/L
		Califórnia	0,1 µg/L
		Nova Jersey	0,5 µg/L
Brasil	Produtos alimentícios	0,3 mg/kg	

Fonte: UNEP, 2002; HSDB, 1992.

\* total de clordano

As entidades internacionais propõem valores de resíduos máximos permitidos de clordano, conforme apresentado no Quadro 3.

A Resolução N° 020, de 18 de junho de 1986, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, apresenta os teores máximos de clordano, de acordo com a destinação da água, conforme Tabela.

Quadro 3.3 - Limites máximos permitidos de resíduos de clordano.

Organismo		Valor máximo*
FAO/WHO/CODEX	IDA**	0,0005 mg/kg p.c.
CODEX	Leite	0,002 mg/kg
Ovos	Ovos	0,02 mg/kg
	Frutas, vegetais, arroz, milho, etc.	0,02 mg/kg
	Óleos de soja, algodão e linhaça, não refinado	0,05 mg/kg
	Carnes (de mamíferos, exceto os marinhos)	0,05 mg/kg de gordura
	Carne de aves	0,5 mg/kg de gordura

Fonte: UNEP, 2002.

\* total de clordano

\*\* Ingestão Diária Aceitável

Tabela 3.11 – Teores máximos de clordano permitidos em águas, de acordo com a Resolução CONAMA N° 020, de 18 de janeiro de 1986.

Tipo de Água	Doce		Salina	Salobra	Efluentes
	Classe 1	Classe 3	Classe 5	Classe 7	(lançados nos corpos d'água)
Teor máximo de clordano	0,004 µg/L	0,3 µg/L	0,004 µg/l	0,004 µg/l	
Compostos organoclorados					0,05 mg/L

Fonte: BRASIL, 1986.

A Portaria N° 1469 do Ministério da Saúde, de 29 de dezembro de 2000, determina em 0,2 µg/L a concentração máxima de clordano (total de isômeros) em água potável.

O clordano e seus metabólitos, especialmente o oxiclordano, são substâncias que se acumulam particularmente em tecidos com elevado conteúdo lipídico. A dose oral mortal para humanos adultos situa-se entre 6 e 60 g, iniciando-se os sintomas entre 45 minutos a algumas horas após a ingestão; entretanto, têm sido relatados sintomas após exposição a doses menores, por via oral ou dérmica. Como efeitos retardados, são relatadas doenças no fígado, alterações hematológicas e desconforto estomacal. O clordano está considerado no limiar entre substância tóxica moderada e altamente tóxica. Os resíduos de inseticidas organoclorados que penetram no organismo, com os alimentos, são absorvidos lentamente pelo intestino delgado e transportados rapidamente ao fígado pelo sistema porta. Absorção intestinal é influenciada por fatores

como alimentos gordurosos e quantidade de alimentos ingeridos, assim como pelo estado nutricional do indivíduo e a manifestação de estados febris.

A avaliação do risco é uma ferramenta técnica de alta complexidade onde são integrados dados de exposição e riscos para a população, associados aos impactos ambientais, definindo metas de remediação e ações corretivas adequadas a cada caso.

O surgimento da Convenção de Estocolmo, que trata especificamente do banimento dos POPs, em maio de 2001, muitas medidas de restrição ao clordano estão surgindo nos países, inclusive em vários dos acima citados.

Apesar de não haver confirmação do efeito carcinogênico do clordano, as suspeitas existentes sugerem a adoção de medidas preventivas relacionadas a esta substância, visando a redução dos riscos. Para exposição ocupacional, deve-se monitorar os níveis de exposição dos trabalhadores para que sejam mantidos abaixo dos níveis máximos permitidos; para a população, geralmente exposta devido a resíduos presentes em alimentos, o monitoramento dos resíduos deve ser feito visando atender aos limites de ingestão diária aceitável.

A degradação de resíduos de organoclorados, mediante métodos biológicos, inclui a utilização de microorganismos que, por sua capacidade degradadora, participam de forma significativa na redução, ou eliminação, das concentrações de agrotóxicos no meio ambiente. Os tratamentos baseados em processos biológicos são os mais frequentemente utilizados, pois permitem o tratamento de grandes volumes de efluentes, transformando compostos orgânicos tóxicos a um custo relativamente baixo.

Dentre os métodos biológicos mais conhecidos citam-se: processos aeróbios, anaeróbios e enzimáticos. Os processos aeróbios, utilizando bactérias e fungos que requerem oxigênio molecular, são as lagoas aeradas e os sistemas de lodos ativados; os métodos anaeróbios são os reatores anaeróbios. O processo enzimático é uma das mais recentes tecnologias para o tratamento biológico de resíduos e efluentes. Nele, cabe às enzimas ligninolíticas (lignina, peroxidase e manganês peroxidase) a função de degradar as substâncias tóxicas e persistentes.

Os inconvenientes do processo biológico residem, principalmente, na grande área territorial para sua implementação, dificuldade no controle da populacional de

microorganismos e no tempo necessário para que os efluentes atinjam os padrões exigidos.

Dentre os processos químicos de eliminação de compostos poluentes, existem aqueles que são muito utilizados, mas altamente controversos, como a precipitação e a incineração. Nas últimas décadas têm surgido alternativas a estes processos, como os Processos Oxidativos Avançados que têm servido de alternativa para o tratamento de compostos orgânicos persistentes. Estes processos baseiam-se na geração do radical hidroxila, que tem alto poder oxidante e pode promover a degradação de vários compostos. Os processos de geração do radical hidroxila mais estudados utilizam o ozônio, o peróxido de hidrogênio, a fotocatalise e o reagente de Fenton (peróxido de hidrogênio e sais ferrosos). Esta técnica ainda demanda muitos estudos para o desenvolvimento e otimização de reatores em escala industrial.

As instruções gerais para o tratamento dos resíduos com clordano são: não tocar nos recipientes ou no material derramado, a menos que esteja como roupa protetora apropriada. Evitar o acesso do resíduo a vias fluviais, esgotos, porões ou áreas fechadas. Cobrir com folha de plástico para prevenir a propagação. Absorver ou cobrir com terra seca, areia ou outro material não combustível e transferir para recipientes. Nunca jogar água dentro dos recipientes.

- *Furanos*

São policlorados cujo núcleo central é formado por dois anéis de benzeno ligados por um ou dois átomos de oxigênio que formam um terceiro anel. A toxicidade crônica destes compostos está relacionada com o caráter hidrofóbico e com a possibilidade de bioacumulação.

São compostos formados essencialmente como subprodutos não intencionais em processos químicos e de combustão. Os furanos e as dioxinas são mais tóxicos para o homem do que as bifenilas policloradas; porém, estas últimas são liberadas para o ambiente em quantidades superiores.

São importantes compostos industriais, como intermediários de outros produtos químicos. Podem também ser derivados de processos de combustão. São compostos

aromáticos tricíclicos planares, podendo ocorrer em sua molécula ocorrer substituições halogenadas. Teoricamente, 135 PCDF são possíveis de ocorrer. A Figura 39, mostra a fórmula estrutural dos dibenzofuranos.

Os dados da literatura demonstram que há similaridade na ação entre as dioxinas e os furanos que apresentam átomos de bromo e seus congêneres clorados. Pesquisadores alemães sugerem que as avaliações de risco para a saúde humana, bem como as avaliações ambientais destes compostos, devem ser baseadas na carga corpórea, sem a necessidade de diferenciar a natureza do halogênio.

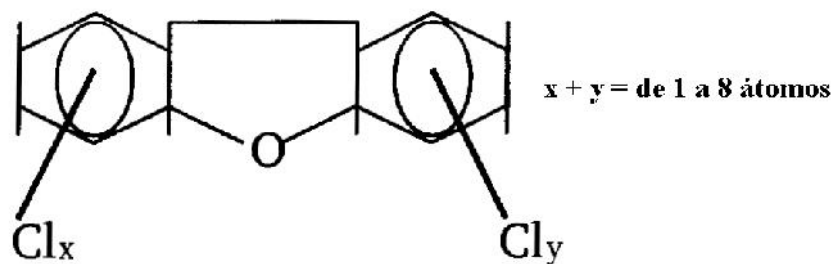


Figura 3.10 - Fórmula estrutural de PCDF  
Fonte; WHO, 1989, modificado.

Os PCDF não são produzidos comercialmente. Estes compostos são formados como traços de impurezas na manufatura de outras substâncias, tais como fenóis clorados e seus derivados e bifenilas policloradas.

Os furanos podem ser utilizados como intermediários em síntese de produtos químicos, agentes farmacêuticos e como solvente para resinas e lacas.

O 2,3-benzofurano não é isolado para fins comerciais e não há informações sobre usos isolados desta substância. Todavia, a resina coumarona-indeno pode ser utilizada para confeccionar frutas de plástico, em produtos como tintas e vernizes, como agente resistente à corrosão e em adesivos de recipientes para alimentos. Também utilizada em asfalto, assoalhos e azulejos. Há evidências diretas sobre a conversão de PVC em PCDFs. Incineradores industriais e domésticos podem produzir níveis de PCDF em tomo de 0,3 e 0,1  $\mu\text{g/g}$ , respectivamente. Dentre os incineradores, os de resíduos sólidos produzem concentrações ambientais maiores em relação àqueles destinados aos resíduos líquidos.

A combustão incompleta de certos resíduos hospitalares, provenientes de compostos orgânicos halogenados, podem produzir valores de até 434 ng/m<sup>3</sup> de PCDF totais exaustão de motores de automóveis, que utilizavam chumbo adicionado à gasolina, pode produzir concentrações estimadas entre 10-100 g/ano de compostos do tipo dioxinas e furanos.

Grande quantidade de cloro e compostos clorados é utilizada na indústria de papel, no processo de branqueamento. Esta pode ser considerada fonte de PCDF. Concentrações em torno de 890 ng/kg em amostras de sedimentos de lagos próximos a indústrias de papel suecas.

Processos metalúrgicos e siderúrgicos, como o desengorduramento de metais, e outros, como o tratamento de águas de esgotos e águas de consumo, manufatura têxtil e limpeza a seco, são referenciados como fontes de dioxinas e furanos. O 2,3-benzofurano pode ser liberado para a água a partir de mecanismos de descarte de operações com carvão.

O potencial de se bioconcentrar em organismos aquáticos é moderado. O fator de bioconcentração (FBC) é a proporção entre a concentração do agente químico, em tecidos de animais aquáticos, em relação à concentração deste mesmo agente na água em que o animal vive. Os valores não foram medidos experimentalmente para o 2,3-benzofurano; porém, com base no coeficiente de partição (K<sub>ow</sub>), estimou-se que o FBC é aproximadamente 40. Se este valor estiver correto, a bioconcentração do 2,3-benzofurano em organismos aquáticos não é esperada.

O ambiente aquático, principalmente aquele próximo a áreas que recebem esgoto ou descartes industriais, pode conter compostos tais como dioxinas e furanos. Admite-se que o sedimento se constitui de compostos hidrofóbicos, propriedade das substâncias citadas. Esta contaminação pode constituir um risco inaceitável a organismos aquático e outros.

Dados sobre a emissão ambiental de 2,3-benzofurano são escassos. Todavia, é conhecida a liberação deste composto a partir da utilização da resina cuomarino-indeno em assoalhos, e da pirólise e combustão do carvão em concentrações em torno de 900 ng/g. Exaustão produzida por veículos, que utilizam combustíveis com hidrocarbonetos contendo 2,3-benzofurano em concentrações em torno de 0,1 a 2,8 ppm, em análise em

um túnel de uma auto-estrada, indica a presença desta substância. Os processos de combustão de dioxinas e furanos mais relevantes, por ordem decrescente de emissão, são os seguintes:

- incineração de lixo municipal;
- incineração de lixo hospitalar;
- incineração de lixos perigosos;
- incineração de lamas de ETARs;
- queima de pneus;
- combustão de produtos das indústrias de celulose;
- combustão de biogás;
- cremação;
- regeneração de catalisadores de refinarias petrolíferas;
- fumo dos transportes rodoviários e fumo de cigarros;
- incêndios;
- manufatura de produtos de origem mineral como vidro, tijolo, cimento, cerâmica e borracha.

OS PCDF são quimicamente estáveis e, sob determinadas condições ambientais, podem ser degradados. São resistentes à maioria dos compostos químicos e à degradação biológica pela maior parte dos microorganismos. Com relação aos sedimentos, vários são os índices, fatores e proporções propostos para descrever as concentrações das substâncias químicas encontradas em organismos expostos a sedimentos contaminados. Para alguns autores é possível calcular-se um coeficiente que relacione os níveis de resíduos nos diferentes organismos e nos sedimentos, por meio das concentrações de resíduo encontradas na massa de lipídios e na massa de carbono orgânico presente no organismo e no sedimento, respectivamente. Este coeficiente é chamado de BSAF - *Available Biota to Sediment Accumulation Factors*

por COMBER *et al.* (1995). A Tabela relaciona os níveis de furanos encontrados em peixes e sedimento e seu BSFA.

Tabela 3.12 - Comparação entre os níveis de resíduos de furanos encontrados em peixes e sedimentos

Isômero	Concentração		BSFA <sup>c</sup>
	Peixes <sup>a</sup> (pg/g lipídio)	Sedimentos <sup>b</sup> (pg/g CO)	
2,3,7,8-TCDF	350	5.870	0,06
2,3,4,7,8-pentaCDF	55	194	0,28
1,2,3,6,7,8-hexaCDF	200	360	0,037
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	31	9.360	0,0033

Fonte: COMBER ET AL., 1996, Modificado.

NOTAS - a: com base em 8% de lipídios em peixes; b: com base em 3,1 % de carbono orgânico em sedimentos; c: BSFA - relação entre os níveis encontrados em peixes e em sedimentos, através do resíduo presente em lipídio e em carbono orgânico, respectivamente.

O fator de equivalência toxicológica (TEQ) é uma maneira de expressar a toxicidade de uma mistura complexa de congêneres de dioxinas e furanos, em termos de uma quantidade equivalente de 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8,-tetraclorodibenzodioxina).

No solo, o movimento de material particulado contendo PCDF pode ser considerado o principal mecanismo de transporte. Este mecanismo é mais importante que a solubilização e a volatilização, devido à baixa volatilidade e à hidrossolubilidade destes compostos.

A exposição humana a dioxinas e furanos (estima-se em 90%) está relacionada com a ingestão de alimentos contaminados. Uma vez que são compostos lipossolúveis e muito pouco suscetíveis à degradação, acumulam-se no topo da cadeia alimentar e nos alimentos ricos em gorduras, assumindo particular relevância a carne de vaca. Seguem-se laticínios, leite, frango, carne de porco, peixes e ovos. No óleo e no azeite também estão descritas contaminações.

Os furanos podem ser absorvidos pelas vias oral, dérmica e inalatória. Os vapores são narcóticos e podem promover tanto alterações reversíveis bem como irreversíveis. A exposição aguda e crônica, pelas vias oral e/ou dérmica, podem resultar em efeitos pronunciados devido à alta toxicidade destas substâncias.



Os furanos são biotransformados em compostos reativos, via citocromo P-450, formando o *cis*-2-buteno-1,4-dial. Este produto induz a citoletalidade *in vivo* e *in vitro*. A meia-vida é de aproximadamente 40 dias, para uma dose não tóxica do TCDF. Os produtos de biotransformação são detectados nas fezes, urina, tecido adiposo e fígado.

O TCDB tem curta meia-vida biológica (2-4 dias) e é rapidamente eliminado, por via hepática, tanto em ratos como em camundongos. A eliminação ocorre de maneira rápida também, dos músculos e da pele, enquanto a acumulação no tecido adiposo é por longo período. A máxima concentração hepática ocorre uma hora após a administração da dose.

Um dos mecanismos de ação mais conhecidos dos compostos clorados se dá em nível celular, por meio da ligação ao receptor Ah (uma proteína citosólica), sendo este passo determinante para desencadear a toxicidade e os efeitos bioquímicos.

Não foram observadas mudanças histopatológicas, após a administração de uma dose de TCDF superior a 1.000 µg/kg de peso corpóreo. Os estudos indicam que as modificações ocorrem após uma dose de 6.000 µg/kg peso corpóreo.

Na Áustria, uma ação preventiva visa limitar as dioxinas nas rações destinadas a frangos e leitões a 2 pg TEQ/g de ração. No âmbito das medidas legislativas e reguladoras, a União Européia definiu o valor limite de 0,1 ng/TEQ/m<sup>3</sup> de PCDD/PCDF para os incineradores de lixos perigosos.

Não foi encontrada regulamentação específica para o 2,3-benzofurano. O 2,3-benzofurano é um componente da resina cumaronaindeno e há valores orientadores, estabelecidos por agências internacionais, para esta resina. Estes valores estão resumidos na Tabela.

Tabela 3.13 - Regulamentações e valores orientadores aplicáveis\* para o 2,3-benzofurano.

<b>Agência</b>	<b>Descrição - Informação</b>
FDA	Resina cumarona-indeno utilizada em embalagens de sucos de frutas – Resíduos máximo = 200 ppm. Aprovação para utilização da resina cumarona-indeno como componente de adesivos para uso em embalagens para alimentos. Aprovação para a utilização em artigos que tenham contato com alimentos.
EPA-OPP	Aprovação para a utilização da resina cumarona-indeno em embalagens de sucos de frutas.

Fonte: ATSDR,1992.

Não há regulamentação específica para o 2,3-benzofurano, os valores apresentados nesta tabela referem-se a resina cumarona-indeno, que tem como componente este furano.

EPA - *Environmental Agency Protection*;

FDA - *Food and Drug Administration*;

OPP - *Office of Pesticide Products*

Para avaliar os riscos à saúde humana dos PCDF, é necessário conhecer os níveis de exposição humana e os correspondentes efeitos. As principais fontes de contaminação de PCDF são os produtos comerciais contaminados, a emissão de fontes de combustão e os resíduos industriais. Métodos de degradação de bifenilas policloradas devem ser perfeitamente controlados para evitar a formação de TCDD e TCDP.

A Tabela traz um resumo dos resultados dos estudos realizados para avaliar a atividade genotóxica do 2,3-benzofurano.

Tabela 3.14 – Genotoxicidade do 2,3-benzofurano *in vitro*.

<b>Espécies (sistema-teste)</b>	<b>End point</b>	<b>Resultados</b>	
		Com ativação	Sem ativação
Organismos procarióticos:			
<i>Salmonella typhimurim</i> (incorporação na placa)	Mutação gênica	-	-
<i>Salmonella typhimurim</i> (pré-incubação líquida)	Mutação gênica	-	-
Células mamárias:			
Linfoma L5178Y	Mutação gênica	Não há dados	+
Camundongos			
Ovários hamsters chineses	Aberrações Cromossômicas	-	-
Ovários hamsters chineses	Troca de cromátides irmãs	+	+

Fonte: ATSDR, 1992.

Os dados indicam que os níveis basais de PCDFs no ar são muito baixos ( $\text{fg}/\text{m}^3$ ). Os estudos indicam que as concentrações de PCDFs na água potável ocorrem em torno de  $1 \text{ pg}/\text{L}$ . Em todas as amostras de solo e sedimento analisadas (provenientes de áreas industrializadas ou não), os níveis de PCDF foram em torno de  $\text{ng}/\text{kg}$  (os maiores níveis foram observados em sedimentos de solo urbano).

O tecido adiposo humano apresenta níveis de PCDF. Esta contaminação deve-se provavelmente à exposição ambiental. Crianças podem expor-se pelo leite materno e em áreas com altos níveis de contaminação, a ingestão de solo contaminado, pode ainda ser uma fonte considerável para esta população.

Algumas populações estão expostas a risco especial decorrente acidentes industriais e da subsequente remoção dos resíduos. Nestas situações, a inalação e o contato dérmico são as vias de introdução mais importantes.

Com base nestes dados, a ingestão é a maior via de introdução destas substâncias, e a inalação de ar proveniente de áreas com alto grau de contaminação contribui significativamente para a absorção dos PCDF. Não é possível estimar a relativa contribuição da exposição por via dérmica.

Os estudos reportam que a exposição da população em geral não parece ser significativa; porém, estes compostos são detectados em resíduos de descartes industriais, são componentes da fumaça do cigarro, e o 2.3-benzofurano é um monômero de uma resina utilizada em embalagens de sucos e outros alimentos. Portanto, estes fatores podem contribuir para a elevação dos níveis de exposição da população.

Populações com alto potencial de exposição aos furanos são aquelas expostas ocupacionalmente ou que moram próximo a áreas industriais ou de descartes industriais contaminados com estes compostos.

- *Heptacloro*

O heptacloro é um inseticida organoclorado (ciclodieno) isolado do clordano, em 1946. Foi extensivamente usado, entre os anos de 1953 e 1974, no controle de pragas do solo, de sementes de milho, sorgo e outros pequenos grãos. Também foi usado no controle de formigas, bicha-amarela, larvas de mosca, cupins, gorgulhos e larvas de elaterídeo em solos cultivados e não cultivados, e em insetos domésticos. A fórmula estrutural do heptacloro está apresentada na Figura 40.

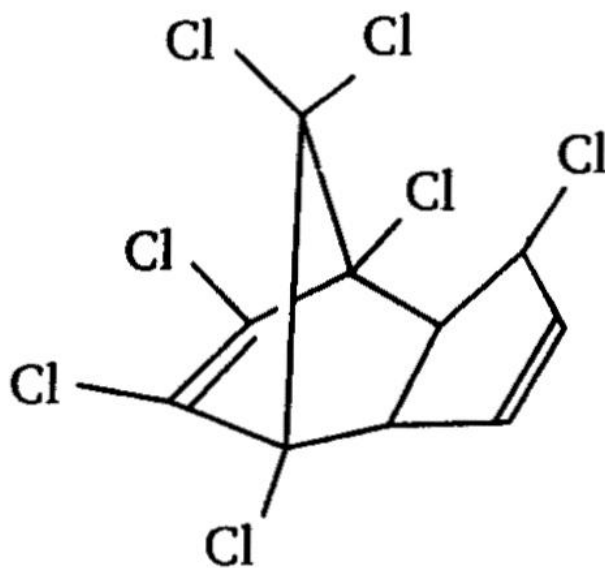


Figura 3.11 - Estrutura do heptacloro  
Fonte: UNEP, 2000.

Desde os meados dos anos 80 a utilização dos praguicidas organoclorados tem sido restringida no Brasil, grandes estoques desses compostos existem em alguns locais (lã agropecuária) e, provavelmente, estão sendo vendidos no país por indústrias não registradas. O Brasil assinou, em maio de 2001, o Tratado Internacional Convenção de Estocolmo, que tem a finalidade de banir a utilização e comercialização de 12 POP, dentre eles o heptacloro. No Brasil, o heptacloro ainda é utilizado, principalmente como preservativo de madeira. Entretanto, de acordo com um mecanismo daquela Convenção, que permite criar exceções específicas, o país terá um prazo de cinco anos, após sua entrada em vigor, para proceder à substituição ou eliminação do uso do heptacloro.

O heptacloro e o heptacloro epóxido podem contaminar as águas superficial e subterrânea pelo escoamento superficial procedente de solos contaminados, ou de descargas de resíduos líquidos de procedência industrial. No sul do Brasil, heptacloro epóxido foi detectado em sedimentos do sistema Paraíba do Sul-Guandu em níveis de 0,2 a 4,0 ppb (média de 2,3). Na bacia do Rio Tapajós, na parte norte do país; os níveis de heptacloro epóxido variaram de 0,1 a 4,4 ppb e os de heptacloro de 0 a 1,6 ppb quantificaram compostos organoclorados em amostras de sedimentos no entorno da bacia Paraíba do Sul-Guandu.

Para o heptacloro os valores encontrados foram de 0,1 ng/g em Volta Redonda, no Estado do Rio de Janeiro. A Bacia Paraíba do Sul-Guandu é a mais importante hidrovia do Estado do Rio de Janeiro, e a única fonte de água potável para mais de 10 milhões de habitantes da área metropolitana do Rio de Janeiro, sendo que 90% da população dependem dessa água para uso doméstico.

A Bacia Paraíba do Sul-Guandu cobre a região mais industrializada do Estado do Rio de Janeiro, e o Rio Paraíba do Sul recebe também efluentes urbanos não tratados das cidades que ele atravessa.

As pessoas em cujas casas foi aplicado o heptacloro para tratamento de cupins, seja por borrifamento ou por injeção direta da substância, foram e continuam expostas ao inseticida e, possivelmente, ao seu produto de transformação, o heptacloro epóxido, por um longo período através do ar ambiente daqueles locais. A liberação para o ar também pode ocorrer em decorrência do uso de estoques existentes naqueles mesmos locais.

Existe a possibilidade de liberação de heptacloro para o solo em locais com resíduos perigosos, ou como resultado de lixiviação procedente de locais contendo resíduos.

O heptacloro tem uma baixa pressão de vapor ( $3,0 \times 10^{-4}$  mmHg a  $25^{\circ}\text{C}$ ) e uma baixa solubilidade em água (0,056 mg/L). O valor experimental para a constante da Lei de Henry é de  $1,48 \times 10^{-3}$ , sugerindo que o heptacloro vai rapidamente para a atmosfera, procedente da superfície da água, e que sua volatilização é significativa. Também está sujeito a deposição via úmida.

O coeficiente de adsorção ao carbono orgânico do solo ( $\log K_{oc}$ ), para o heptacloro foi estimado em 4,34. Esse valor indica alta tendência a adsorção ao solo e, conseqüentemente, não se espera que seja lixiviado para água subterrânea na maioria dos locais. O potencial de lixiviação a 15 cm (concentração na água do solo/concentração no solo), para o heptacloro, é de 0,06, e o potencial de volatilização a 15 cm (concentração no ar do solo/concentração no solo), determinado em estudos laboratoriais, é de  $5,5 \times 10^{-3}$ , dado este que, novamente, vem demonstrar que a lixiviação do heptacloro provavelmente não ocorre apreciavelmente em solos, mas que o inseticida tem um potencial de volatilização significativo. Estas são propriedades importantes, uma vez que o heptacloro pode permanecer no solo durante muitos anos. O conteúdo de matéria orgânica do solo é outro fator que altera a mobilidade. É pouco provável que se mobilize de um solo com alto conteúdo de matéria orgânica. Quando liberado para dentro da água, adsorve-se fortemente a sedimentos suspensos e do fundo do corpo d'água.

O coeficiente de partição octanol/água ( $\log K_{ow}$ ), para o heptacloro epóxido, é de 5,40, indicando um alto potencial de bioconcentração e biomagnificação na cadeia alimentar aquática. Os fatores de bioconcentração estimados, para heptacloro epóxido, são de 1.698 em mexilhão (*Mytilus edulis*), 851 em ostras (*Crassostrea virginica*), e 2.330 em gorduras de (*Corbicula manilensis*) marisco. Os potenciais de bioconcentração do heptacloro e do heptacloro epóxido diferem, sendo que o epóxido (mais polar) é bioconcentrado em menor grau do que o seu precursor.

A biomagnificação do heptacloro e do heptacloro epóxido nas cadeias alimentares aquáticas é significativa. Pelo fato do heptacloro ser rapidamente biotransformado em heptacloro epóxido, por organismos de níveis mais elevados na cadeia trófica, a biomagnificação do heptacloro não é significativa. Devido à natureza mais persistente do heptacloro epóxido e à sua lipossolubilidade, sua biomagnificação nas cadeias terrestres alimentares é significante.

A volatilização é o principal mecanismo de transporte do heptacloro quando o inseticida é aplicado em superfície. O heptacloro é rapidamente hidrolisado na água, formando o 1-hidroxiclordeno que, por outro lado, é degradado microbiologicamente, formando o 1-hidroxi-2,3-epoxiclordeno.

O heptacloro não é freqüentemente encontrado na superfície dos corpos d'água; porém, ainda assim, ele tem sido detectado em níveis de 5-30 ng/litro enquanto o seu produto de degradação, heptacloro epóxido, tem sido detectado em níveis de 5-40 ng/litro. No Brasil, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nas coleções de água em níveis máximos de 0,05 mg/L. Este valor refere-se a compostos organoclorados totais (praguicidas, solventes etc) não listados no item "g" do Art. 21 da Resolução N° 20 do CONAMA (CONAMA, 1986).

Algumas bactérias do solo têm a habilidade de biotransformar o heptacloro ao seu produto de degradação, o epóxido correspondente, e o heptacloro a clordeno, enquanto outras bactérias e fungos são capazes de biotransformar clordeno a clordeno epóxido dois outros caminhos de degradação: (1) hidrólise química a l-hidroxiclordeno, seguida por epoxidação microbiana para l-hidroxi2,3-epoxiclordeno e conversão a um produto desconhecido; (2) decloração bacteriana do heptacloro ao clordeno e, então, oxidação a clordeno epóxido.

O heptacloro pode sofrer fotólise direta pela exposição à luz solar e é igualmente susceptível a reações de fotossensibilização. O heptacloro epóxido é convertido a um intermediário e a fotoprodutos finais, quando exposto à luz solar ou ultravioleta, na superfície das plantas.

O heptacloro é hidrolisado na superfície da água e da água destilada a l-hidroxiclordeno. Quando heptacloro foi adicionado a uma amostra de água de rio, mantida à temperatura ambiente e exposta à luz do sol, somente 25% da substância permaneceram após uma semana e, após a segunda semana, desapareceu totalmente. O desaparecimento de 75% do heptacloro, após uma semana, corresponde a uma meia-vida de 3,5 dias. Os produtos formados foram identificados como sendo o l-hidroxiclordeno e o heptacloro epóxido.

O heptacloro e heptacloro epóxido têm sido encontrados em colheitas procedentes de solos tratados com heptacloro em épocas passadas. Ambos adsorvem-se fortemente a sedimentos, e bioacumulam-se em organismos aquáticos e terrestres. A biomagnificação do heptacloro e do heptacloro epóxido, em cadeias alimentares aquáticas e terrestres, é significativa. Pelo fato do heptacloro ser rapidamente

biotransformado a heptacloro epóxido, pelos organismos de níveis tráficos mais elevados, a biomagnificação do heptacloro epóxido, nessas cadeias, é bastante significativa.

O heptacloro pode ser absorvido através da pele, dos pulmões, da mucosa ocular e do trato gastrointestinal. O heptacloro epóxido, o principal produto de biotransformação, é rapidamente formado e pode ser encontrado no organismo principalmente no tecido adiposo. O heptacloro pode ser formado pela biotransformação do clordano; o heptacloro epóxido é formado pela epoxidação do heptacloro, e é substrato para a mesma enzima responsável pela epoxidação do aldrin.

Devido ao seu elevado conteúdo lipídico, o leite é uma das principais vias de excreção de compostos organo-halogenados, incluindo heptacloro epóxido.

Tabela 3.15 – Níveis de heptacloro e de heptacloro epóxido, em ng/g de peso seco (ppb), encontrados na biota aquática.

Pais	Espécie	Heptacloro	Heptacloro Epóxido
<b>ARGENTINA</b>	Marisco asiático	2.000-7.200	3.800-7.000
(Rio da Prata)	<i>Micropogonias furnieri</i> – gônadas femininas	115,18	131,3
	<i>Micropogonias furnieri</i> – gônadas masculinas	16,99	131,65
	<i>Micropogonias furnieri</i> – gônadas subcutânea – fêmea	0,24	0,75
	<i>Micropogonias furnieri</i> – gordura subcutânea - macho	5,56	17,21
	<i>Micropogonias furnieri</i> – fígado - macho	17,53	18,94
<b>BRASIL</b>	Mexilhão	-	-
<b>EL SALVADOR</b>	Ostra	146	-
<b>HONDURAS</b>	Peixe	278	-
<b>MÉXICO</b>			
Lagoa Alvarado	Ostra ( <i>Crassostrea virginica</i> )	-	2,91
Lagoa Carmen	Ostra ( <i>Crassostrea virginica</i> )	-	2,1
Lagoa Machona	Ostra ( <i>Crassostrea virginica</i> )	-	1,71
<b>EUA</b>			
Golfo do México	Peixe-gato	0-49	0-4
	<i>Micropogonias undulatus</i>	0-2	0-4
Golfo do México	Ostra	0,51	2,71
		0,54	3,3
		0,49	2,44

Fonte: ALLSOPP, ERRY, 2000.



A excreção ocorre por ambas as vias, urina e fezes. O leite humano pode ser a principal via de excreção para resíduos de heptacloro. O heptacloro tem ação no sistema nervoso central produzindo sintomas de hiperexcitabilidade levando a tremores e convulsões.

O mecanismo da ação tóxica dos compostos ciclodienos parece envolver interferência na remoção do  $\text{Ca}^{++}$  e ligação com receptores GABA, interferindo na entrada dos íons  $\text{Cl}^-$  na função neuronal.

A dose de referência (RfD) para o heptacloro é de 0,0005 mg/kg/dia. De acordo com a USEPA, o consumo desta dose ou abaixo dela, durante toda a vida, não resultaria na ocorrência de efeitos crônicos adversos ao ser humano. A dose de referência não é uma estimativa direta do risco, mas um ponto de referência quanto à possibilidade de ocorrência de efeitos adversos potenciais. Quantidades acima da dose de referência não implicam necessariamente em um efeito adverso sobre a saúde humana.

De acordo com o *National Primary Drinking Water*, o nível máximo de contaminante (*Maximum Contaminant Level - MCL*) para o heptacloro em água potável é de 0,4 ppb, e para o heptacloro epóxido de 0,2 ppb. Uma fonte significativa de exposição ao heptacloro em crianças é o leite. Os níveis de heptacloro no leite podem ser consideravelmente maiores do que aqueles contidos em laticínios.

O Comitê *Joint Meeting on Pesticide Residues - JMPR*, dos Estados Unidos, estimou um ingresso diário aceitável de heptacloro + heptacloro epóxido entre 0-0,0005 mg/kg de peso corpóreo. Aquele Comitê misto constituído por duas organizações, *FAO/WHO (Food and Drug Administration/World Health Organization)*, estabeleceu as seguintes recomendações para limites de resíduos.

- 0,01 mg/kg para frutas cítricas
- 0,5 mg/kg para óleo de semente de soja cru
- 0,05 mg/kg para vegetais
- 0,15 mg/kg para leite e produtos derivados do leite

No Brasil, para a água destinada ao abastecimento doméstico (Classes especial, 1 e 2), os teores máximos permitidos de heptacloro são de 0,01 µg/L; para a água de Classe 3 (destinada também à irrigação de culturas arbóreas, cerealistas e forrageiras e à dessedentação de animais), os teores máximos permitidos de heptacloro são de 0,1 µg/L; e para a água da Classe 5 (águas salinas), os teores máximos permitidos são de 0,001 µg/L.

Com relação ao padrão de potabilidade de águas para consumo humano, o Ministério da Saúde define como o valor máximo permitido de heptacloro e heptacloro epóxido, o teor de 0,03 µg/L (BRASIL, 2000). A Tabela 22 contém valores limites e notações referentes ao heptacloro, de acordo com diferentes entidades.

A notação pele indica que a via cutânea de exposição, incluindo as membranas mucosas e ocular, contribuem para a exposição total do organismo. O limite proposto pela NIOSH é baseado no risco de carcinogenicidade; tumores hepáticos foram observados em animais.

O limite proposto pela ACGIH é baseado no risco de hepatotoxicidade, discrasias sangüíneas e carcinogenicidade.

Tabela 3.16 - Limites de exposição ocupacional para o heptacloro, de acordo com diferentes entidades.

Entidade	Valores	Observação
OSHA	0,5 mg/m <sup>3</sup> - PEL-TWA	10 h/dia; 40 h/semana; notação: pele
NIOSH	0,5 mg/m <sup>3</sup> - REL-TWA	10 h/dia; 40 h/semana; notação: pele carcinógeno ocupacional em potencial
ACGIH	0,5 mg/m <sup>3</sup> - TLV-TWA	8 h/dia; 40 h/semana; notação: pele carcinógeno para animal

Fonte: OSHA, 1996

OSHA: *Occupational Safety and Health Administration*; NIOSH: *National Institute for Occupational Safety and Health*; ACGIH: *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*; PEL: *Permissible Exposure Limit*; REL: *Recommended Exposure Limit*; TLV: *Threshold Limit Value*; TWA: *Time Weight Average*.

A monitorização ambiental pode ser realizada coletando-se amostras de ar do ambiente ocupacional, com amostrador com filtro de fibra de vidro com fluxo de 1h/min, num volume máximo de 60 litros. A amostra é tratada com tolueno, e a análise é realizada por cromatografia gasosa com detector de captura de elétrons.

Os métodos, que são efetivos no controle da exposição ocupacional dos trabalhadores, incluem processos enclausurados, exaustão local, ventilação geral para diluir o contaminante e uso de equipamentos de proteção individual.

São limitadas as informações disponíveis sobre os efeitos à saúde em humanos. Quanto à exposição aguda por inalação, os poucos casos estudados sugerem que esse tipo de exposição pode resultar em efeitos sobre o sistema nervoso; por via oral, os estudos demonstram efeitos gastrintestinais como náuseas e vômitos, após ingestão acidental de heptacloro. Os estudos em animais, utilizando a via oral como via de exposição, têm reportado efeitos sobre o fígado e o sistema nervoso central.

Com relação à toxicidade para humanos, decorrente da exposição crônica, as informações disponíveis são limitadas e sugerem que a exposição, pelas vias respiratória e oral pode estar associada a efeitos neurológicos incluindo irritabilidade, salivação e vertigens, enquanto efeitos sobre o sistema hematopoiético podem resultar de exposição oral ao inseticida.

De acordo com a classificação de HODGE, a toxicidade aguda do heptacloro é moderada. A DL50, via oral, para ratos situa-se numa faixa entre 40-162 mg/kg. Sintomas de toxicidade sistêmica estão relacionados a hiperexcitabilidade do sistema nervoso central e incluem tremores e convulsões. O óbito pode advir por parada respiratória. Em exposição crônica a heptacloro, a proliferação do retículo endoplasmático liso e a indução do sistema de oxidase de função mista nas células hepáticas estão entre os sinais mais precoces da exposição crônica (IPCS, 1984).

Por analogia aos efeitos observados em animais, o heptacloro causa tremores, convulsões e outros efeitos no sistema nervoso central, em exposição aguda. Não existem dados relatando intoxicações humanas com esta substância. O uso doméstico de clordano tem sido associado com neuroblastoma, leucemia aguda, anemia aplástica e discrasias sanguíneas.

Nenhum efeito adverso sobre a reprodução (diminuição da fertilidade, aumento de óbitos fetal e neonatal) foi relatado entre mulheres grávidas que ingeriram leite contendo heptacloro em níveis de 0,1 ppm por 27-29 meses.

A EPA usou modelos matemáticos, baseados em estudos animais, para estimar a probabilidade de uma pessoa desenvolver câncer pela inalação de ar contendo uma concentração específica de uma determinada substância. A EPA calculou uma unidade de risco por inalação estimada em  $1,3 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para o heptacloro. Se um indivíduo inalasse ar contendo heptacloro a  $0,0008 \mu\text{g}/\text{m}^3$  por toda a sua vida, teria, teoricamente, uma chance em um milhão de desenvolver câncer como resultado direto daquela inalação daquela substância. Similarmente, a EPA estima que a inalação de ar contendo  $0,008 \mu\text{g}/\text{m}^3$  resultaria em uma chance em cem mil, e a de  $0,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$  em uma chance em mil. A Tabela 3.17 apresenta o risco estimado de carcinogenicidade para o heptacloro, da exposição por inalação.

Tabela 3.17 - Risco quantitativo estimado de carcinogenicidade para o heptacloro, da exposição pela via respiratória.

Nível de risco	Concentração no ar
1 em 10.000	$8 \times 10^{-5} \text{ mg}/\text{m}^3$
1 em 100.000	$8 \times 10^{-6} \text{ mg}/\text{m}^3$
1 em 1.000.000	$8 \times 10^{-7} \text{ mg}/\text{m}^3$

Fontes: USEPA, 1994; IRIS,2001a

A EPA classifica o heptacloro e o heptacloro epóxido no grupo B<sub>2</sub> (possível carcinógeno em humanos) (IRIS, 2001<sup>a,b</sup>). A IARC - *The International Agency for Research on Câncer* classifica o heptacloro e heptacloro epóxido no Grupo 3 (não carcinógeno em humanos).

A Tabela 3.18 apresenta as doses de referência (RfD) do heptacloro para exposição crônica, via oral. A dose de referência (RfD ou *Reference Dose*) é uma estimativa da exposição oral, diária, para a população humana (onde estão incluídos os grupos susceptíveis). É a dose que não causa risco apreciável de efeitos adversos durante toda a vida. O NOEL (*No-Observed-Effect-Level*) ou DNEO (dose de nenhum efeito observado) corresponde a um nível de exposição em que não há aumento estatisticamente, ou biologicamente, significativo na frequência ou gravidade de qualquer efeito entre a população exposta e o grupo controle. LOEL ou LEL (*Lowest-*

*Observed-Effects-Level*) corresponde à mais baixa dose, ou nível de exposição, em que um efeito estatisticamente, ou biologicamente, significativo é observado na população exposta, quando comparada com grupo controle apropriado. UF (*Uncertainty Factor*), ou FI (fator de incerteza) é um fator introduzido quando se extrapola valores de dose de referência ou de concentração a partir de dados experimentais, e está relacionado com variações na susceptibilidade entre membros da população humana ou variabilidade entre as espécies, MF (*Modifying Factor*), ou FR (fator de restrição), é utilizado na derivação de dose de referência ou concentração de referência; reflete as incertezas científicas do estudo.

Tabela 3.18 - Dose de referência (RID) do heptacloro para exposição crônica, via oral (efeitos não carcinogênicos)

Efeito crítico	Doses experimentais	UF	MF	RfD
Aumento de peso do fígado	3 ppm (NOEL) (0,15 mg/kg/dia)	300	1	5x10 <sup>-4</sup> mg/kg/dia
Estudos de dois anos com ratos (dieta)	5 ppm (LOEL ou LEL) (0,25 mg/kg/dia)			

Fonte: IRIS, 2001a

RtD (Reference Dose) ou Dose de Referência; NOEL (No-Observed-Effect-Level) ou DNEO (dose de nenhum efeito observado); LOEL ou LEL (Lowest-Observed-Effects-Level) ou a mais baixa dose ou nível em que se observam efeitos; UF (Uncertainty Factor) ou FI (fator de incerteza); MF (Modifying Factor); FR (fator de restrição ou de incertezas científicas).

Tabela 3.19 - Estimativa quantitativa do risco de carcinogenicidade do heptacloro pela exposição oral e inalatória.

Nível de risco	Exposição	
	Via oral	Via respiratória
	Concentração na água potável	Concentração no ar
1 em 10.000	8 x 10 <sup>-4</sup> µg/L	8 x 10 <sup>-2</sup> µg/m <sup>3</sup>
1 em 100.000	8 x 10 <sup>-2</sup> µg/L	8 x 10 <sup>-3</sup> µg/m <sup>3</sup>
1 em 1.000.000	8 x 10 <sup>-3</sup> µg/L	8 x 10 <sup>-4</sup> µg/m <sup>3</sup>

Fonte: IRIS, 2001a

Tabela 3.20 - Estimativa quantitativa do risco de carcinogenicidade do heptacloro epóxido pela exposição oral e inalatória

Nível de risco	Exposição	
	Via oral	Via respiratória
	Concentração na água potável	Concentração no ar
1 em 10.000	$4 \times 10^{-4} \mu\text{g/L}$	$4 \times 10^{-2} \mu\text{g/m}^3$
1 em 100.000	$4 \times 10^{-2} \mu\text{g/L}$	$4 \times 10^{-3} \mu\text{g/m}^3$
1 em 1.000.000	$4 \times 10^{-3} \mu\text{g/L}$	$4 \times 10^{-4} \mu\text{g/m}^3$

Fonte: IRIS, 2001b

- *Hexaclorobenzeno (HCB)*

O hexaclorobenzeno (HCB) é um produto químico sintético, com atividade fungicida, que foi introduzido no mercado em 1945. A fórmula estrutural do HCB está apresentada na Figura 41.

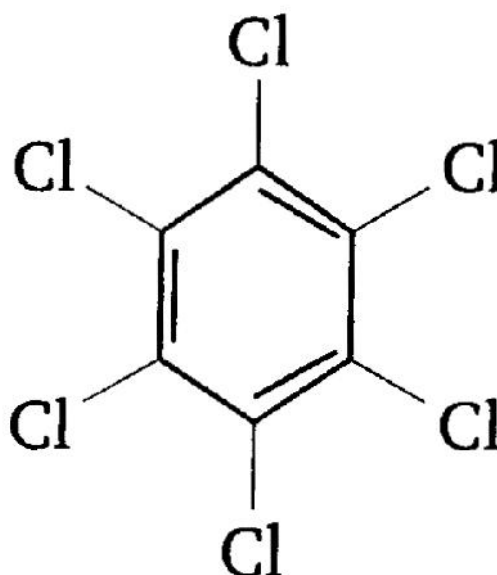


Figura 3.12 - Fórmula estrutural do hexaclorobenzeno  
Fonte: UNEP, 2002.

Apesar da liberação do HCB para a atmosfera não ser, sob condições normais, significativa pode-se encontrar amostras de HCB absorvidas em partículas de poeira provenientes da volatilização do fungicida.

Não se conhece quanto do HCB produzido é liberado para o meio ambiente; entretanto, pesquisa realizada mostra concentração atmosférica variando, em geral de 0,1 a 0,3 ng/m<sup>3</sup>, quando do auge do uso do produto.

A Agência Ambiental Americana (EPA) verificou que, em áreas de descarte de resíduos perigosos no Estado de Michigan, a concentração de HCB no solo e sedimento atingiu teor de 6 g/kg; em Cubatão, Brasil, os níveis no solo em área contaminada pelo produto variaram de 1,1 a 325,0 µg/L. Como exemplo, pode ser formado através da reação térmica e cloração, oxidação e operações de pirólise na fabricação de solventes clorados (principalmente tetracloreto de carbono, 15%; tetracloroetileno, 5% e tetracloroetileno, 25%). Também, na fabricação de alguns pesticidas, conhecidos por conter HCB como impureza no produto final, entre eles o pentacloronitrobenzeno (PCNB), o pentaclorofenol, a atrazina, a simazina a propazina e a hidrazida maleica. Neles, apenas uma pequena fração de HCB gerado como subproduto pode ser liberada, dependendo do método de síntese empregado na tecnologia do processo.

Historicamente, o HCB tem muitos usos na indústria e na agricultura. A principal aplicação agrícola para o HCB é no tratamento de sementes de produtos agrícolas como trigo, cevada, aveia e centeio, para impedir o crescimento de fungos. Na indústria, o HCB foi usado diretamente na fabricação de fogos de artifício, e como agente fluxante na fabricação do alumínio. O HCB também é usado como um agente preservador de madeira, um controlador de porosidade na produção de anodos de grafite e como agente peptisante na produção de estireno em borracha para pneus.

Entre as principais fontes de HCB no meio ambiente estão fábricas de solventes clorados, a fabricação e a aplicação de pesticidas contaminados por HCB, e a incineração inadequada de lixo contendo cloro.

O HCB pode ser emitido pelos incineradores, como resultado da decomposição térmica incompleta destes resíduos e como produto da combustão incompleta (PIC) da decomposição térmica de uma variedade de clorados orgânicos, como o kepone, o mirex, os clorobenzenos, as bifenilas policloradas, os pentaclorofenos, o cloreto polivinílico e as misturas de solventes clorados.

O transporte de longa distância tem uma importância significativa na redistribuição do HCB no meio ambiente. Geralmente presente em baixas

concentrações, está largamente disperso no ambiente, tendo sido detectado em ar, água, sedimento, solo, biota e sítios remotos, refletindo a persistência e o longo alcance daquela substância.

O HCB é distribuído no meio ambiente porque ele é móvel e resistente à degradação. A volatilização da água para o ar e a sedimentação, seguindo a absorção em particulados suspensos, são os maiores processos de sua remoção da água. Embora o HCB não seja prontamente lixiviado de solos e sedimentos, alguma desorção pode ocorrer e tornar-se uma fonte contínua de HCB para o meio ambiente, mesmo que cessem as entradas no sistema. O HCB é transportado a longas distâncias em função de sua persistência, passando por uma lenta degradação fotolítica com meia-vida de aproximadamente 80 dias. No solo, a volatilização é o maior processo de remoção na superfície (NASH, GISH, 1989), enquanto a biodegradação aeróbia (meia-vida de 2,7-5,7 anos) e anaeróbia (meia-vida de 10,6-22,9 anos) são os maiores processos de remoção a baixas profundidades.

O HCB é largamente disperso no ar ambiente, onde está geralmente presente em baixas concentrações. Os níveis de HCB no ar são, geralmente, idênticos nas áreas urbanas, rurais e sítios remotos refletindo a persistência e o longo alcance daquela substância. Concentrações tão altas quanto  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  foram detectadas nas vizinhanças de uma fábrica, enquanto a concentração máxima de HCB longe do local era de  $0,36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

O HCB é absorvido fortemente nos sedimentos e matérias suspensas, e as diferenças de concentrações, tanto na água como na composição dos sedimentos e matérias suspensas, resultam numa vasta gama de concentrações intermediárias. Estudos de campo indicaram que a exposição ao HCB via alimento, é importante para os organismos nos níveis tróficos mais altos, e tem tido uma significativa biomagnificação.

A biomagnificação do HCB, na cadeia alimentar marinha, pode ser observada em pesquisa efetuada com crustáceos e peixes com baixos níveis, e pássaros marinhos. Neles as concentrações de organoclorados apresentavam-se de forma biomagnificada, na ordem de 1 a 3 vezes.



O HCB apresenta, ainda, biomagnificância, isto é, quanto mais elevado o ser vivo na cadeia alimentar, maior deve ser sua concentração no organismo. As propriedades bioacumulativas do HCB resultam da combinação de suas propriedades físicoquímicas (alto coeficiente de partição de octanol/água) e de sua lenta eliminação, devido ao metabolismo limitado relacionado com sua alta estabilidade química. Os organismos, geralmente, acumulam o HCB da água e do alimento, embora organismos bênticos também possam acumular HCB diretamente de sedimento.

O HCB é altamente tóxico para os peixes ( $LC_{50}/96$  h 0,05-0,2 mg/L). Tem sido detectado em invertebrados, peixes, répteis e mamíferos em todo o mundo. Conteúdo de HCB em pássaros antárticos e subantárticos situa-se em altos níveis, quando comparados com pássaros, de áreas temperadas, mostrando que o efeito do frio condensado causa concentrações de poluentes orgânicos voláteis em predadores de topo antárticos, que são mais elevados que em animais de climas mais moderados próximos a fontes destes poluente. O HCB pode ser ingerido oralmente de quatro maneiras:

- comendo ou bebendo enquanto se utiliza o HCB;
- fumando enquanto se utiliza o HCB;
- bebendo algo que contenha o fungicida;
- deixando algo contaminado que contenha o fungicida ao alcance das crianças.

A principal via de exposição humana ao HCB é a digestiva, sendo os alimentos a principal fonte de exposição da população em geral. Devido à sua alta lipossolubilidade, o HCB é facilmente absorvido por difusão passiva no sistema gastrointestinal. Uma vez absorvido, o HCB se liga a proteínas plasmáticas e se distribui pelo organismo e, a partir de então, vai se depositando nos tecidos gordurosos. A afinidade do HCB, como qualquer organoclorado, com os diferentes sítios do organismo, é determinada pela quantidade de gordura contida em cada um dos tecidos. Após uma única exposição, o HCB pode ser detectado na circulação sanguínea até, aproximadamente, 45 dias. Após este período, torna-se difícil sua detecção, pois uma pequena parte é eliminada e o restante depositado. O HCB é biotransformado,

notadamente no fígado, pelas enzimas de oxidação NADPH-dependentes, em moléculas mais polarizadas.

O HCB é eliminado, principalmente, pelas fezes, e apenas uma pequena parte é excretada pela urina. Os metabólitos do HCB na urina são o pentaclorofenol, o tetraclorohidroquinono e o pentaclorotiofenol.

Alguns fatores podem, contudo, promover a eliminação do HCB: sabe-se que o aumento do catabolismo orgânico mobiliza os depósitos de gordura, metabolizando os lipídeos para a produção de energia. Sob tais condições, as substâncias lipofílicas estocadas são liberadas para a corrente sanguínea, aumentando o teor circulante e, conseqüentemente, a biotransformação. É possível que neste processo, a pessoa possa vir a apresentar sintomas de intoxicação aguda, como se tivesse sido recentemente exposta a altas doses do toxicante.

Igualmente, o uso de medicamentos que estimulam o sistema enzimático do fígado (anticonvulsivantes, por exemplo) pode aumentar a biotransformação de HCB. A administração oral de gorduras inabsorvíveis aumenta o teor lipídico do bolo fecal, estimulando a eliminação do HCB pelas fezes.

O HCB é armazenado no tecido gorduroso numa concentração de sete a nove vezes maior que aquela que foi exposto. O HCB apresenta bioacumulação, fixando-se no tecido gorduroso, no fígado, nos rins, nos pâncreas e no sistema nervoso central, havendo certa correspondência entre os diversos meios; por isso, pode ser analisado mesmo após anos de exposição.

Baseado em um volume de inalação diária, para adultos de 22 m<sup>3</sup> um peso corporal médio, para homens e mulheres, de 64 kg e a gama de níveis médios de HCB medida no ar ambiente de cidades em todo mundo de, aproximadamente, 0,1 a 0,6 ng/m<sup>3</sup>, a média de inalação de HCB do ar ambiente pela população em geral foi estimada variar de  $3,4 \times 10^5$  a  $2,1 \times 10^4$  µg/kg peso corporal por dia.

Relativamente ao leite materno, os níveis podem ser maiores em crianças durante a amamentação. Assumindo-se que crianças, de peso corpóreo médio de 7 kg, sejam exclusivamente alimentadas por amamentação nos primeiros seis meses, durante os quais elas consomem uma média de 0,75 litros de leite materno por dia, a ingestão

média diária de HCB pelo leite materno, em vários países, varia de  $< 0,018$  a  $5,1 \mu\text{g}/\text{kg}$  peso corpóreo. É baixo o nível de HCB comumente detectado em baixo nível em alimentos. Concentrações de HCB tendem a ser mais altas em alimentos gordurosos e/ou naqueles que foram tratados com tóxicos contaminados com HCB.

Foi desenvolvido para o HCB um parâmetro de  $1 \mu\text{g}/\text{L}$  em água potável, baseado numa avaliação de ocorrência de tumor de fígado em ratos fêmea, e aplicando o modelo Multiestágio linearizado para se calcular uma sobrevida de risco de câncer de  $10^{-5}$  (WHO, 1993). Uma ingestão condicional aceitável de  $0,6 \mu\text{g}$  HCB/kg de peso corpóreo/dia foi estabelecida pela junta FAO/WHO, em reunião de Resíduos de Pesticida em Alimento.

A Agência de Proteção Ambiental Americana estabelece a concentração de  $0,0007 \mu\text{g}/\text{L}$  (ppb) de HCB em água tratada. A Portaria N° 1469 do Ministério da Saúde, Brasil, estabelece níveis de  $1 \mu\text{g}/\text{L}$  de HCB para a água potável.

O HCB tem sido relacionado com alguns casos de "porfiria cutânea tardia" (PCT), alterações no metabolismo de porfirina (excreção de porfirinas e precursores de porfirina foram aumentadas). As manifestações clínicas incluíam lesões de pele, ulcerações, inchaço do fígado, perda de peso, aumento da glândula tireóide e dos nódulos linfáticos, efeitos neurológicos e urina com cor característica de vinho do porto, devido à eliminação aumentada de porfirinas. A toxicidade aguda ao HCB é rara na maioria das espécies animais, incluindo o homem. A DL50 varia de  $> 1.000$  a  $> 10.000$  mg/kg, em diferentes espécies estudadas.

O HCB, como qualquer outro organoclorado, pode ocasionar cefaléia e mal-estar seguidos de náusea, vômitos, contrações musculares involuntárias, convulsões e depressão respiratória, em casos de intoxicação.

A exposição crônica ao HCB provoca danos hepáticos e tumores nos rins, bem como alterações gástricas. O HCB tem a capacidade de atravessar a barreira placentária e atingir o feto em concentrações que podem provocar alterações morfológicas nos rins, fígado, cérebro, baço, coração etc. Crianças expostas ao HCB podem apresentar baixa estatura, hipodesenvolvimento das mãos e artrite dolorosa.

Os dados relativos a exposição ocupacional ao HCB são limitados, mas indicam que trabalhadores de algumas indústrias podem estar expostos a níveis mais altos de HCB que a população em geral. As práticas inapropriadas de seus descartes podem também ser a causa da exposição de grupos de populações a níveis mais altos que os da população em geral.

O HCB está largamente distribuído no meio ambiente, em virtude de sua mobilidade e de sua resistência à degradação, embora ocorra lenta fotodegradação no ar (vida média de aproximadamente 80 dias), e à degradação microbiana (meia-vida de vários anos). Foi detectado em ar, água, sedimento, solo e biota em todo mundo. O HCB é uma substância bioacumulativa (os valores BCF variam de 375 a > 35.000), e tem sido registrada a sua biomagnificação na cadeia alimentar.

Em estudos de toxicidade aguda do HCB em organismos aquáticos, a exposição a concentrações na média de 1 a 17 µg/L, reduziram a produção de clorofila em algas e a reprodução em ciliato protozoa. Em estudos de longo prazo, o crescimento de algas, e de protozoários de água doce, foi afetado por uma concentração de 1 µg/L, enquanto uma concentração de aproximadamente 3 µg/litro causou mortalidade em anfípodas e necrose de fígado em perca. As concentrações de HCB na superfície das águas, no mundo, são muito mais baixas que os níveis de efeito (3 a 5 ordens de magnitude menores), exceto em umas poucas localidades extremamente contaminadas.

Estudos experimentais em martas indicam que elas são sensíveis aos efeitos tóxicos do HCB; as ingestões de longo prazo de alimentos contendo 1.000 ng HCB/g (a menor dose testada) aumentaram a mortalidade, diminuíram o peso da prole exposta *in utero* e na lactação, e alteraram os níveis de neurotransmissores nos hipotálamos das mães e da prole.

Não existem estudos disponíveis para estabelecer um NOAEL. Este nível de efeito alimentar é, somente algumas vezes, mais alto que as concentrações de HCB medidas em várias espécies de peixe de um determinado número de locais industrializados pelo mundo, sugerindo que os níveis atuais de HCB nas espécies de peixe de certas localidades podem afetar adversamente as martas e, provavelmente, outros peixes comedores de mamíferos.

- *Mirex*

No Brasil, a Portaria N° 91, de 30 de novembro de 1992, do Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária, proíbe em todo o território nacional, desde 10 de maio de 1993, o registro, a produção, a importação, a exportação, a comercialização e a utilização de iscas formicidas à base de dodecacloro. Nesta época encontrava-se à venda no Brasil o mirex isca granulada, com 0,45% de dodecacloro, usado contra as saúvas em geral.

A liberação do mirex no ambiente tem acontecido pelos efluentes das instalações industriais e dos locais onde o produto foi utilizado como aditivo nos polímeros para retardamento do fogo, assim como dos pontos de aplicação onde foi usado como inseticida. O mirex é resistente à degradação biológica e química, mas sua fotólise pode ocorrer. Os compostos persistentes, como kepona, e os monoidroderivados e diidroderivados do mirex foram identificados como produtos de transformação extremamente lenta do mirex.

O mirex foi detectado em ar, água superficial, solo e sedimentos, organismos aquáticos e alimentos. Historicamente, o mirex foi liberado para o ambiente durante sua produção ou formulação para uso como retardante da chama e como agrotóxico. Não existem fontes naturais conhecidas de mirex e a produção do composto encerrou-se em 1976.

Não existe documentação relacionada à contaminação do ar pelo mirex. É razoável supor que as indústrias envolvidas na produção do mirex tenham liberado, como fontes primárias de contaminação, quantidades significantes de poeira, contendo mirex para a atmosfera interna da fábrica e ao redor das instalações industriais.

As fontes secundárias têm desaparecido ou diminuído, como consequência das regulamentações, mas contaminaram sedimentos ou podem persistir em locais onde foram enterrados resíduos que podem liberar o composto em uma época posterior ao seu uso ou à sua produção. O mirex é um inseticida com pouca atividade de contato, cuja estrutura química pode ser observada na Figura 42.

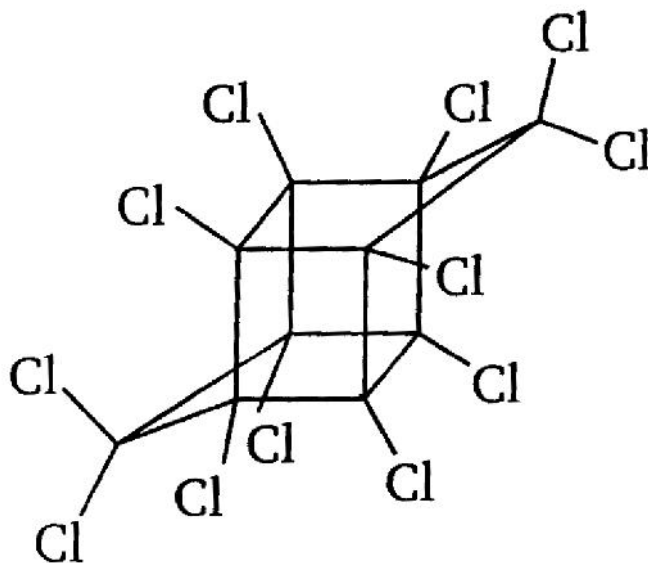


Figura 3.13 - Estrutura química do mirex  
Fonte: UNEP, 2000.

O mirex é considerado um dos agrotóxicos mais estáveis e persistentes no solo, com uma meia-vida de até dez anos, em sedimento e água. Não se dissolve facilmente na água mas fixa-se às partículas do solo e do sedimento, de tal forma que é improvável que se movimente do solo para a água subterrânea.

Foi demonstrado que o mirex bioconcentra-se nos organismos aquáticos. Um valor do coeficiente de adsorção,  $K_{oc}$  de  $2,4 \times 10^7$  indica que o mirex se adsorve fortemente à matéria orgânica no solo e aos sedimentos. Portanto, é esperado que o mirex seja imóvel no solo e na partição entre a coluna d'água e os sedimentos e o material em suspensão.

A exposição ao mirex pelo ar atmosférico pode resultar da poeira transportada via aérea na produção e no processamento do mirex ou de clorano, na combustão de plásticos de clorano ou compostos da fumaça do clorano, ou da volatilização do mirex usado nas iscas.

Existem duas rotas bem estabelecidas da contaminação do ambiente. A primeira decorrente da manufatura e do uso industrial do mirex, e a segunda do uso em programas de controle das formigas de fogo.

O impacto ecológico dos agrotóxicos na água é determinado segundo vários critérios, entre eles a persistência do composto, que é estabelecida por processos de degradação biótica e abiótica. Os processos bióticos são biodegradação e metabolismo, e os processos abióticos são hidrólise, fotólise e oxidação.

O mirex é muito resistente à degradação por bactérias do solo e só é dechlorado a fotomirex (8-monoidromirex), um composto que contém um átomo menos de cloro, por ação microbiológica anaeróbia. No solo, ou nos sedimentos, a biodegradação anaeróbia é também o principal mecanismo de remoção pelo qual o mirex é lentamente dechlorado a 10-monoidroderivado. A degradação aeróbia no solo é muito lenta e o processo de degradação pouco importante.

Entende-se por bioacumulação a capacidade de uma substância química acumular-se nos tecidos de organismos vivos, em níveis mais elevados que aqueles do ambiente aos arredores, expressa como o quociente entre a concentração no tecido alvo e a concentração ambiental (WAHLSTRÜM, 20001). O mirex bioacumula-se em todos os níveis tróficos e biomagnifica-se nas cadeias alimentares. O fator de bioconcentração BCF é o quociente de concentração de uma substância química em organismos aquáticos, em um tempo específico ou durante um período de tempo discreto de exposição, dividido pela concentração na água adjacente no mesmo tempo, ou durante o mesmo período. Valores de até 15.000 BCF na truta arco-íris, observados para o mirex, indicam que este composto poderá ser encontrado em altas concentrações nos organismos aquáticos que habitam áreas onde a água e os sedimentos estão contaminados com mirex.

Microrganismos estuarinos não são afetados pelas concentrações de mirex provavelmente encontradas no ambiente estuário. A única variável afetada pelo mirex, em concentrações abaixo de 100 mg/L, é a produtividade primária. O mirex é altamente persistente no sedimento e no solo, por extensos períodos de tempo, onde é bioacumulado na biota.

O mirex é um composto lipofílico e bioacumula-se em peixes e outros animais, sendo eliminado lentamente do organismo. O mirex é tóxico para uma gama de organismos aquáticos, sendo os crustáceos particularmente sensíveis; quando administrado a peixes, produz lesões no rim e danos nas guelras. As algas bioacumulam

mirex com BCF entre 3.200 e 7.300. A mortalidade retardada parece ser característica da intoxicação com mirex nos crustáceos.

Contaminantes ambientais, como o mirex, têm sido identificados como causadores de degradação do ambiente das baleias dentadas e do esturjão branco (*Delphinapterus leucas*). O mirex causa esterilidade em muitos mamíferos marinhos. O esturjão branco apresenta diminuição do número de nascimentos, além de uma variedade de tumores e pneumonia, causados pelo mirex, que o colocam em perigo, e encurtam a sua vida. A pneumonia é decorrente de um enfraquecimento do sistema imunológico produzido pelos contaminantes químicos na água. Na Tabela 3.21 são apresentadas algumas concentrações em mamíferos marinhos.

Tabela 3.21 - Concentrações de mirex em mamíferos marinhos, ng g<sup>-1</sup>, peso úmido.

Local	Espécie	Concentração
Golfo do México	Delfim-gordura	94
	Fêmea adulta	(23-275)
	Delfim-gordura	502
	Macho adulto	(271-810)
	Delfim-gordura	62
	Feto	(10-113)
	Delfim-gordura	215
	Prematuro	(10-362)
	Delfim-gordura	164
	Lactente	(>LD-551)

Fonte: ALLSOPP, ERRY, 2000

Na Tabela 3.22 são apresentados os valores de mirex encontrados em diferentes estudos, junto com outros agrotóxicos organoclorados e bifenilas policlorados, para biota de não mamíferos em diferentes países latino-americanos.



Tabela 3.22 - Concentração de mirex em biota de não mamíferos, ng g<sup>-1</sup>, peso úmido.

<b>Espécie</b>	<b>Concentração</b>
Bagre	0-73
White croaker	0-94
Ostra	1,25
Ostra	1,4
Camarão	0-45

Fonte: ALLSOPP, ERRY, 2000

Em várias espécies de plantas foi observada redução na germinação indicando que o Mirex é altamente tóxico para uma ampla variedade de sistemas. O mirex pode bioacumular-se nas plantas terrestres. O mirex se biomagnifica na cadeia de alimentos aquáticos e terrestres. Nos pássaros, têm sido relatadas concentrações de 1-10 mg/kg, e nas rãs até 9 mg/kg. Os animais de caça acumulam mirex nos seus tecidos.

Os alimentos são, provavelmente, a principal via de ingresso do mirex na população em geral. O pescado, os animais selvagens e a carne constituem as fontes mais importantes. O mirex pode estar presente no leite materno, mas em concentrações muito baixas ou inferiores aos limites de detecção. Não existem dados disponíveis com relação à exposição ocupacional. Uma vez inalado, o mirex pode ser absorvido.

As populações que moram perto de locais com resíduos perigosos contendo mirex podem estar expostas por contato cutâneo, porém, segundo algumas informações, ainda não se sabe se o produto ingressa no organismo por esta via.

O mirex é um composto lipofílico e, como tal, acumula-se no tecido adiposo mais que em outros tecidos. O mirex transfere-se para o feto através da placenta. Altas concentrações de mirex no tecido adiposo humano foram correlacionadas com áreas onde o produto foi usado/fabricado, ou com locais onde foram depositados resíduos.

O mecanismo específico pelo qual o mirex é transferido do intestino, do pulmão ou da pele para o sangue não é conhecido. O mirex é um composto muito estável, lipofílico, que não se biotransforma. Tem um alto coeficiente de partição lipídio: água, demonstrando assim um potencial alto de acumulação nos tecidos.

A principal fonte de exposição humana ao mirex são os alimentos, principalmente o consumo de peixe contaminado, não foram localizadas informações

relacionadas com a toxicidade do mirex em humanos, mas estudos em animais indicam que a exposição ao produto pode resultar em uma variedade de efeitos adversos à saúde nas populações expostas. Fígado, rins, olhos e tiróide são os principais órgãos nos quais se evidenciam efeitos, conforme estudos experimentais com mirex. O mirex é, ainda, um carcinógeno hepático nos animais.

Efeitos agudos podem aparecer após exposição de curta duração, tais como: erupção na pele, irritação dos olhos, nariz e garganta, náuseas e vômitos, dor de cabeça, vertigem, fraqueza muscular, fadiga, convulsões e perda da consciência. Após exposição de longa duração, efeitos na saúde podem ocorrer, algum tempo depois, e durar meses ou anos. O mirex pode produzir danos no desenvolvimento do feto e nos testículos. Na exposição repetida pode causar mudanças na personalidade, depressão, ansiedade ou irritabilidade e, às vezes, perda da memória, dano hepático, que pode ser incrementado pelo consumo de álcool, e anemia.

A Organização Mundial da Saúde, nos valores orientadores para qualidade da água potável (*Guidelines for Drinking-Water Quality*), não propõe valor orientador para mirex. A EPA estabeleceu um limite de ppt na água superficial, para proteger os peixes e qualquer outra vida aquática dos efeitos nocivos do mirex.

No Brasil, o teor máximo permitido de dodecacloro + nonacloro, para a água destinada ao abastecimento doméstico (Classes especial, 1 e 2), para a água destinada à irrigação de culturas arbóreas, cerealistas e forrageiras e à dessedentação de animais (Classe 3), e para a água da Classe 5 (águas salinas), é de 0,001 µg/L. O mirex pode ser determinado no sangue, na saliva, na gordura ou no leite. Os biomarcadores principais da exposição ao mirex são a concentração do produto no sangue, na gordura e nas fezes.

Pelo fato de o mirex não ser biotransformado, o único biomarcador a ser medido nas amostras biológicas é o próprio mirex. Sendo o mirex acumulado no organismo por longos períodos de tempo e eliminado lentamente, sua medida é útil como biomarcador de exposição aguda, intermediária ou crônica, seja a baixas ou elevadas concentrações.

Devido ao fato de o mirex não ser mais manufaturado em vários países, a exposição ocupacional, nestes casos, está limitada aos trabalhadores de locais de

deposição de resíduos ou àqueles envolvidos em atividades de remediação, como limpeza e remoção de solos contaminados ou sedimentos.

Diminuição na contagem em esperma foi observada após a exposição ao mirex de humanos e/ou animais de experimentação. Segundo o ponto de vista clínico, o biomarcador mais simples poderia ser o exame do esperma ejaculado, ainda que biópsia dos testículos poderia também ser útil. Ambos os procedimentos têm sido usados para avaliar a toxicidade na reprodução em humanos expostos.

A EPA sugere não ser provável que o ingresso no organismo de 200 picogramas (pg), por dia/quilograma (kg) de peso, de mirex, cause algum efeito prejudicial significativa à saúde. Existem poucos estudos sobre exposição humana e também poucos dados relativos aos efeitos na saúde humana. Não têm sido encontrados casos de intoxicação humana.

Com relação aos efeitos sistêmicos, os organoclorados em geral podem causar depressão respiratória e sensibilizar o coração para catecolaminas endógenas, levando a fibrilação ventricular e parada cardíaca nos casos graves. A depressão respiratória pode conduzir à acidose metabólica.

Efeitos hepáticos foram observados em animais de experimentação. Estes podem resultar dos seguintes efeitos citológicos: desagregação dos ribossomos, diminuição do glicogênio, formação de liposomas e proliferação do retículo endoplasmático liso.

Em adultos, exposições de curta duração ao mirex podem resultar em tremores, cansaço, fraqueza e diarreia. Efeitos prejudiciais associados com exposição de longo prazo podem incluir danos no estômago, intestino, fígado, rins, olhos, glândula tireóide, sistema nervoso, pele e sistema reprodutor. O mirex é também considerado um carcinógeno provável e pode aumentar a probabilidade de aborto em mulheres grávidas.

O Sistema de Informação Integrada de Risco - IRIS coloca na sua lista uma dose de referência (RfD) de  $2 \times 10^{-4}$  mg/kg-d para o mirex, baseada no NOAEL de 0,07 mg/kg-d de um estudo na dieta crônica (dois anos) de ratos. Os efeitos mostrados no estudo, nas doses mais altas, foram: fibrose, nefropatia, hiperplasia medular renal, múltiplos tipos de dano no fígado e folículos císticos da tireóide. O RfD é baseado nos

últimos dois efeitos críticos. Um fator de incerteza de 10 para um foi aplicado para variabilidade interespecie e intra-especie, e um fator de 3 foi aplicado por falta de uma base de dados completa (dados multigeneracionais sobre efeito reprodutivo e dados de toxicidade cardiovascular).

O arquivo do IRIS também indica que efeitos nos testículos (degeneração testicular, hipocelularidade e depressão da espermatogênese) observados em outros estudos, podem não ter sido detectados no estudo crítico devido às mudanças degenerativas relacionadas à idade dos animais estudados.

Estudos realizados em animais, com exposição aguda, sugerem que os sistemas reprodutivos de machos e fêmeas são afetados pelo mirex. Vários estudos sobre mutagenicidade em ratos foram publicados. O Programa do Escritório de Agrotóxicos da EPA – *EPA's Office of Pesticide Programs* classificou o mirex no Grupo B2, como provável carcinógeno humano. Além disso, o mirex é considerado, no NTP, como "razoavelmente antecipado ser um carcinógeno humano".

A EPA identificou o mirex como um analito-alvo e recomendou que este composto seja monitorado em tecidos de peixes e crustáceos coletados, como parte dos programas de monitoramento de tóxicos nos estados. A EPA recomenda que os dados de resíduos obtidos nestes programas de monitoramento sejam usados imediatamente pelos estados, para conduzir a avaliação de risco e determinar a necessidade de advertências sobre o consumo de peixes, visando a proteção do público em geral, como também dos pescadores recreacionais e de subsistência. Os pescadores recreacionais, e de subsistência, que consomem quantidades moderadas a grandes de pescado, obtido em locais onde o corpo d'água está contaminado, podem ficar expostos a elevadas concentrações de mirex associadas à dieta.

Nos EUA, a *Food and Drug Administration* - FDA sugere que, ingerir peixe e outros alimentos com concentrações abaixo de 100 ppt de mirex, não causa efeitos prejudiciais à saúde das pessoas.

- *Toxafeno*

O toxafeno é uma substância orgânica, reconhecida como sendo um poluente persistente, juntamente com outras 11 substâncias, atualmente sob alvo de uma ação global para sua total eliminação no âmbito das Nações Unidas, através da Convenção de Estocolmo.

O toxafeno é um inseticida de contato, não sistêmico, com alguma ação acaricida. Geralmente, é utilizado em combinação com outro agrotóxico. A estrutura química exata do toxafeno não é bem elucidada. A Figura 43 apresenta a estrutura representativa dos componentes predominantes no toxafeno técnico.

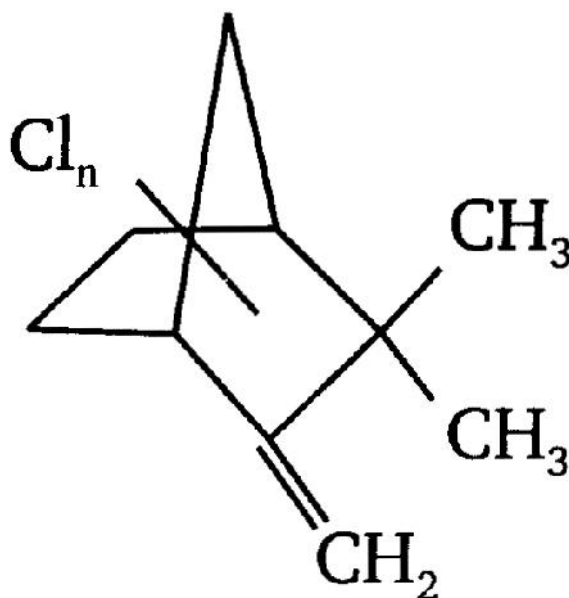


Figura 3.14 - Estrutura representativa dos compostos canfenos clorados predominantes, presentes no toxafeno técnico.

Fonte: UNEP, 2002

A União Européia proíbe, por meio da Diretiva 83/181/EEC, o uso e a comercialização nos seus países; o produto foi selecionado entre as 533 substâncias produzidas pelo homem, suspeitas de interferirem no sistema hormonal de seres humanos e animais.

O toxafeno é considerado uma substância PIC (do inglês *Prior Informed Consent*), ou seja, sujeita ao controle no comércio internacional, por notificação do país

exportador e consentimento prévio do país importador, estando, por isso, listada na Convenção de Roterdã.

O toxafeno frequentemente foi utilizado, em combinação com rotenona, para erradicar peixes considerados indesejáveis para a pesca esportiva, principalmente no Canadá e no nordeste dos EUA.

No Brasil, não existem registros de produtos contendo toxafeno. Segundo as informações do governo brasileiro para o secretariado da Convenção de Roterdã, a produção, importação, comércio e uso estão restritos à finalidade de preservação de madeira, desde que seja obtida autorização específica junto ao IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, que, para a tomada de decisão, avalia os aspectos toxicológicos e ecotoxicológicos do produto. O uso na agricultura está proibido.

A proibição na agricultura foi determinada pela Portaria N° 329, de 2 de setembro de 1985 (BRASIL, 1985), do Ministério da Agricultura (PIC, 2002). Neste ano, o Brasil proibiu a comercialização, o uso e a distribuição de produtos agrotóxicos organoclorados, destinados à agropecuária, pela Portaria 329/85. O toxafeno está listado entre os organoclorados proibidos.

O Ministério da Agricultura estruturou o Programa de Controle de Resíduos em Carne. No relatório de 2001 deste Programa, publicado pela Portaria N° 13, de 8 de março de 2002, não há registro de ocorrências relacionadas a organoclorados naquele ano.

A exposição humana a compostos potencialmente tóxicos, como metais e agrotóxicos clorados, dá-se predominantemente, por meio da ingestão de alimentos; por este motivo muitos estudos têm sido realizados relacionando os efeitos no sistema imunológico e a exposição acidental a estas substâncias.

Anteriormente, acreditava-se que o toxafeno era biodegradável, mas resíduos na biosfera e em leite humano foram recentemente detectados, nos Estados Unidos, apesar de ter o seu uso banido desde 1982.

Resíduos de toxafeno têm sido detectados tanto em amostras biológicas como ambientais. São relatados registros de resíduos em populações humanas, peixes e animais selvagens, solo, água, incluindo águas subterrâneas, e alimentos.

Durante a aplicação do toxafeno na agricultura ocorrem as emissões para o ar e o solo. Após a aplicação, o toxafeno continua sendo liberado para a atmosfera, pela volatilização a partir da cultura e da superfície do solo. O toxafeno já foi identificado em vários meios (ar, água doce, água do mar, solo, organismos aquáticos); entretanto, as maiores concentrações têm sido encontradas na biota marinha, em peixes e mamíferos marinhos.

O meio mais importante para o transporte do toxafeno é a atmosfera, onde ele parece ser muito persistente. O toxafeno é persistente no solo e em sedimentos de lagos e já foi detectado em peixes e em focas, em águas de chuva e em leite humano.

A taxa de hidrólise do toxafeno é desprezível. As formulações de toxafeno são relativamente estáveis na água e no solo, mas podem ser degradadas pela perda do HCl ou Cl<sub>2</sub>, quando expostos por longos períodos à luz solar, a álcalis ou temperaturas acima de 100°C. A estabilidade do toxafeno frente à luz UV, a ácido e álcalis difere entre os congêneres.

A decloração do toxafeno ocorre durante a fotólise, na seguinte ordem: nonaclorobornanos > octaclorobornanos > heptaclorobornanos. O toxafeno é altamente insolúvel em água e a meia-vida no solo varia de 100 dias a mais de 12 anos, dependendo do tipo de solo e do clima.

A biodegradação em solo e sedimentos é favorecida pelas condições anaeróbicas, sendo relatadas meias-vidas de três e seis semanas, nestas condições. Para solos aerados são relatadas meias-vidas entre 0,8 a 14 anos, ou seja, o toxafeno se degrada lentamente sob condições aeróbicas.

O toxafeno adsorve fortemente solo e sedimento com um K<sub>oc</sub> de  $2 \times 10^5$ . Apesar desta forte adsorção, ele evapora gradualmente do solo para o ar. De acordo com as propriedades físico-químicas do toxafeno, não é de se esperar que ele atinja as águas subterrâneas. Nos estudos com águas subterrâneas não foram encontradas concentrações de toxafeno que excedessem a 1 ng/L.

Estudos têm demonstrado a capacidade de bioconcentrar do toxafeno, em organismos aquáticos, e ser transportado na atmosfera. As propriedades químicas do toxafeno (baixa solubilidade em água, alta estabilidade e semivolatilidade) favorecem o transporte a longa distância, justificando o fato de ter sido encontrado no ar ártico. Por outro lado, a semivolatilidade não permite que ele permaneça definitivamente na atmosfera. Devido à sua persistência, ele é continuamente depositado e reevaporado aumentando a possibilidade de dispersão dos seus resíduos. Este fato auxiliou na sua classificação como um poluente global.

O transporte atmosférico do toxafeno, depois da volatilização na atmosfera, é provavelmente a principal via de saída do meio ambiente, principalmente nos oceanos e corpos hídricos. O fator de bioconcentração, para alguns organismos aquáticos, pode ser observado na Tabela a seguir.

Tabela 3.23 - Fator de bioconcentração do toxafeno encontrados na literatura.

	<b>FBC</b>
Peixes	4.000-6.000
Camarões	400-1.200
Algas	6.920
Lagostas	8.000
Cobras d'água	9.600
<i>Fathead minnows</i>	69.000
<i>Channel catfish</i>	50.000
Peixes de água doce	10.000-69.000
Bacalhau do ártico	$2 \times 10^6$

Fonte: EC, 2001

O *Biological Effects Database for Sediments (BEDS)*, da *Environment Canada*, compila todas as informações sobre estes efeitos. No BEDS, está citado que o toxafeno diminui a abundância e a diversidade de invertebrados bentônicos e reduz a mortalidade. Nele também está apresentado que as concentrações de toxafeno em água doce variam de 0,12 a 5 µg/kg e, no ambiente marinho, de 0,051 a 109 µg/kg.

Toxafeno é essencialmente não-tóxico para as plantas e, em geral, os efeitos tóxicos são observados apenas quando são utilizadas quantidades muito mais altas que as recomendadas. Estudos da absorção pela via respiratória em humanos e animais são



pontuais, mas não se caracterizam por serem dados seguros quanto ao mecanismo de absorção do toxafeno após exposição inalatória.

Não foram encontrados estudos relacionados à absorção do toxafeno, por via oral, em humanos. Entretanto, existem fortes evidências de que a absorção gastrointestinal ocorre em humanos porque mortes e envenenamentos foram registrados em razão do consumo acidental de alimentos contaminados.

Uma vez absorvido, o toxafeno distribui-se no organismo. Estudos realizados com toxafeno radiomarcado indicaram que a distribuição na gordura predomina sobre a distribuição em outros órgãos, e níveis são detectáveis em tecido gorduroso durante vários meses após a exposição. Em seguida à administração oral o toxafeno é rapidamente, e extensivamente, degradado em mamíferos. Estudos *in vivo* e *in vitro* indicam que a via metabólica principal envolve descloração, desidrodescloração e oxidação.

Os principais mecanismos de degradação metabólica, em todos os organismos (de bactéria a primatas), parecem ser a descloração redutiva, a desidrocloração redutiva e, em alguns casos, a descloração oxidativa, para produzir derivados hidroxilas, ácidos e cetonas.

O IARC – *International Agency for Research on Cancer*, concluiu que, por enquanto, existem evidências inadequadas para a carcinogenicidade do toxafeno em humanos e evidência suficiente em animais experimentais; desta forma, o toxafeno é classificado como um possível carcinógeno humano, no Grupo 2B.

Não existe um valor oficial global de ingestão diária aceitável (IDA) para o toxifeno. No Canadá, a IDA é de 0,2 µg/kg/dia. Nos Estados Unidos, a ingestão aceitável do toxafeno é definida por meio da análise da dieta.

No Brasil, a Resolução N° 020, de 18 de junho de 1986, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, apresenta os teores máximos do toxafeno de acordo com a destinação da água, conforme mostra a Tabela a seguir.

Tabela 3.24- Teores máximos de toxafeno permitidos em águas, de acordo com a Resolução CONAMA N° 020, de 18 de junho de 1986.

Tipos de água	Doce		Salina	Salobra	Efluentes
	Classe 1	Classe 3	Classe 5	Classe 7	(lançados nos corpos d'água)
Teor máximo de toxafeno	0,01 µg/L	5,0 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L	
Compostos organoclorados					0,05 mg/L

Fonte: BRASIL, 1986.

A Portaria N° 1469 do Ministério da Saúde, de 29 de dezembro de 2000, que estabelece o controle e a vigilância da água para consumo humano, e seu padrão de potabilidade, lista padrões para substâncias químicas que representam risco à saúde, mas não traz referência específica para o toxafeno.

O sistema imunológico de fetos, e de recém-nascidos, é particularmente vulnerável aos efeitos tóxicos destas substâncias. Completa afirmando que a magnitude dos riscos destas substâncias ainda requer estudos epidemiológicos mais cuidadosos sobre o seu mecanismo de ação.

Com relação aos efeitos da exposição inalatória ao toxafeno, existe muito pouca informação sobre exposição em humanos. A maioria dos relatos refere-se à estudos de longo prazo, com trabalhadores rurais expostos ocupacionalmente, o que pode levar a interpretações dúbias uma vez que eles não estão expostos exclusivamente ao toxafeno.

A ingestão de altas doses de toxafeno pode levar à morte. Os sintomas de intoxicação manifestam-se em até sete horas após a ingestão, e consistem em convulsões, vômitos e diarreia, geralmente sem dores abdominais. A DL50 oral, obtida em animais de laboratório, varia de acordo com a espécie, o solvente usado, o estado nutricional e, também, a origem do toxafeno, uma vez que existem diferenças devido à origem do produtor.

O órgão responsável pelas discussões relacionadas à saúde ocupacional nos EUA, NIOSH, considera os canfenos clorados como possuidores de potencial carcinogênico ocupacional. Na avaliação de risco ambiental à saúde, os analistas consideram três rotas principais de exposição do homem: oral, dérmica e inalatória. As

propriedades das células que recobrem o trato gastrointestinal, a pele, as vias respiratórias e os pulmões resultam em diferentes perfis de adsorção dos componentes das misturas químicas, dependendo da via de exposição. Além disso, misturas químicas podem sofrer partições no momento do contato com o meio, resultando em diferentes potenciais de risco na exposição.

No meio ambiente, misturas químicas podem surgir, ou podem ser modificadas, como resultado de transformação. Se os vários compostos são suscetíveis à degradação por fotólise, hidrólise ou biodegradação (aeróbia e anaeróbia), o perfil das combinações originais da mistura é alterado. Os processos que agem para mudar o perfil de uma mistura podem ser afetados pelo modo como ela é liberada no meio ambiente. Por exemplo, o perfil de uma mistura liberada diretamente num lago pode ser diferente daquela da mesma mistura que é transportada pela atmosfera. São as reações de transformação que podem afetar diferentemente os componentes de misturas em ar, terra e água; isto pode ocorrer com o toxafeno.

Quando uma mistura química, como o toxafeno, é liberada para o meio ambiente, a sua composição e sua concentração são alteradas devido à partições nos compartimentos bióticos e abióticos e a transformações promovidas pelo meio ambiente e a biota. As propriedades físico-químicas de cada componente da mistura (ou as propriedades da mistura como um todo) e as condições do micro-ambiente podem interferir no modo como os componentes se distribuem, na magnitude e no tipo de rota da exposição. A partição, e as transformações dos componentes da misturas, afetam a rota de exposição. Idealmente, exposições a misturas químicas por meio de diferentes rotas podem ser integradas através de dados primários, ou de modelos fisiológicos validados baseados em farmacocinética, pois desta forma a combinação dos efeitos será observada, particularmente a exposição oral e inalatória.

- *Aldrin*

O aldrin é um composto sintético pertencente ao grupo químico dos organoclorados ciclodienos. Não ocorre naturalmente, tem ação inseticida, armazena-se nos tecidos dos animais e tem degradação ambiental muito lenta. Estas duas últimas

características classificam o aldrin como um poluente orgânico persistente (POP). A fórmula estrutural do Aldrin pode ser observada na Figura 44.

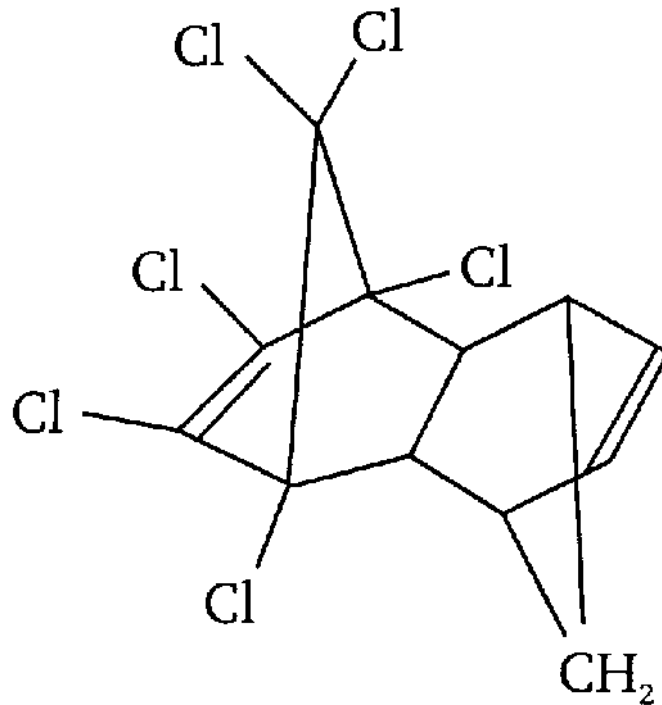


Figura 3.15 - Fórmula estrutural do aldrin.  
Fonte: UNEP, 2002.

No Brasil, o aldrin foi registrado para tratamento de sementes de algodão e de arroz destinadas exclusivamente à semeadura; aplicação no sulco de plantio e no tratamento de toletes de cana-de-açúcar; tratamento de covas para o plantio de partes baixas de touceiras de banana e de mudas de essências florestais; aplicação localizada no controle de cupins e de formigas, e na agropecuária. Entretanto, juntamente com outros inseticidas organoclorados registrados, o aldrin teve seu uso, comercialização e distribuição proibidos em 1985, pela Portaria N° 329, de 2 de setembro de 1985, do Ministério da Agricultura, considerando-se a necessidade de resguardar a saúde humana, animal e o meio ambiente da ação de agrotóxicos por serem comprovadamente de alta persistência e/ou periculosidade.

As fontes de exposição humana aos agrotóxicos, inclusive ao aldrin, podem ser tanto ambiental como ocupacional (Figura 45). As exposições ocupacionais podem ocorrer em operação de controle de insetos, aplicações agrícolas, operações de formulações, operações de combate a mosquitos e fabricação de agrotóxicos.

As exposições ambientais podem ocorrer pelo contato com o ar, água, alimentos, cosméticos-drogas, superfícies de contato, uso de aerossóis, persistência em solos, dispositivos de aplicação automática e iscas adesivas com agrotóxicos.

A exposição humana ao aldrin e dieldrin ocorre, em geral, via alimentos contaminados de origem animal e vegetal. Pode ocorrer também na ingestão de água, na respiração diretamente do ar externo ou interno de construções tratadas, ou no contato com solos contaminados, principalmente em locais de descarte de materiais perigosos.

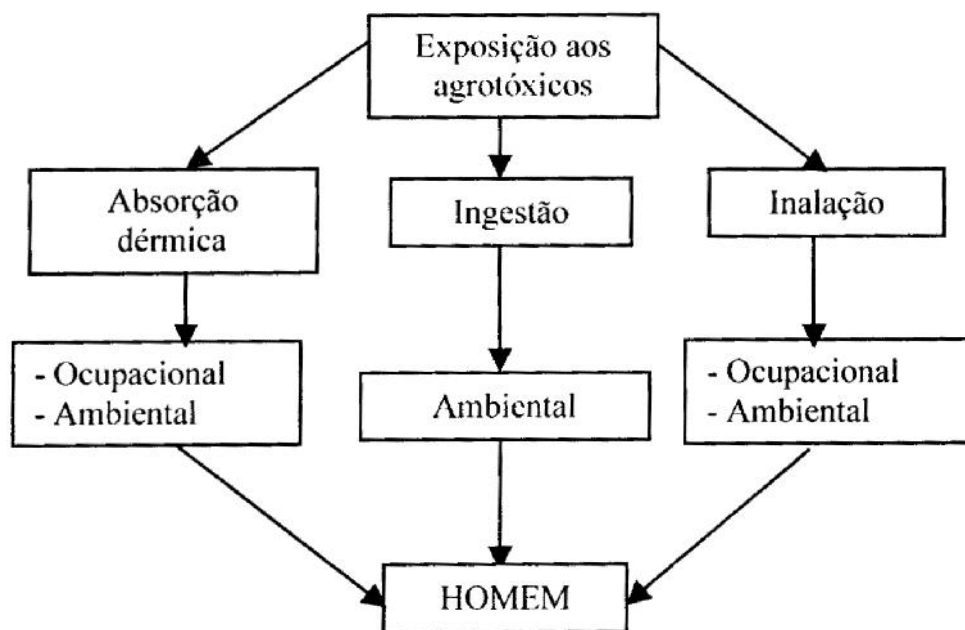


Figura 3.16 - Fontes de exposição do homem aos agrotóxicos.  
Fonte: BEVENUE, 1976.

No ambiente, o aldrin é rapidamente epoxidado e convertido a dieldrin, que é mais resistente à biotransformação e degradação abiótica que o aldrin. O dieldrin é encontrado em baixos níveis em todos os componentes abióticos do ambiente.

No ambiente, as moléculas tóxicas dispersam-se e podem sofrer processos físicos, químicos e biológicos de dissipação. Os processos físicos são volatilização, lixiviação pela água e erosão com o solo pelo vento e pela água. Os processos químicos são fotodecomposição, adsorção, reações químicas com os constituintes do solo e absorção pelas plantas e microrganismos. Os processos microbiológicos são aqueles relacionados com a decomposição microbiana de materiais orgânicos no solo.

Normalmente, o ar atmosférico é o primeiro compartimento ambiental a ser contaminado com os agrotóxicos. Na aplicação, o produto formulado é liberado do equipamento de aplicação, passa pelo ar atmosférico e atinge o alvo e toda a parte sólida do ambiente. Neste percurso, os agrotóxicos podem sofrer deriva, permanecer suspensos no ar, atingir o alvo e todo o meio físico, e retornar ao ar atmosférico após a deposição nas partes sólidas do ambiente, principalmente solo e águas.

Os inseticidas aldrin e dieldrin podem entrar na atmosfera por vários mecanismos: deriva no vento durante as aplicações, evaporação de águas contaminadas e adsorção em partículas em suspensão.

Em estudos de laboratório, o aldrin foi isomerizado fotoquimicamente e epoxidado pela luz solar para fotoaldrin, dieldrin ou fotodieldrin. Irradiação de vapor de aldrin (5 mg) com luz ultravioleta, durante 45 horas, resultou na formação de fotoaldrin (20-30 µg) e dieldrin (50-60 µg).

No solo, o aldrin é convertido a dieldrin por epoxidação. A epoxidação do aldrin ocorre em solos biologicamente ativos e em condições aeróbias, com 50 a 75% dos resíduos na forma de dieldrin no final da estação. Nos solos, também ocorre a transformação de aldrin para ácido de aldrin.

No solo, o aldrin e o dieldrin podem sofrer degradação pela luz ultravioleta e formar fotodieldrin., mas esta reação também pode ocorrer como resultado de ação microbiana.

O potencial de lixiviação (concentração na água do solo/concentração no solo) de aldrin do solo é de  $9,0 \times 10^{-3}$  e o potencial de volatilização (concentração no ar do solo/concentração no solo) é de  $2,0 \times 10^{-5}$ , caracterizando uma improvável lixiviação de aldrin, ou volatilização das partículas de terra para a atmosfera.

A volatilização do aldrin é mais rápida quando é aplicado à superfície do solo do que quando incorporado. Perda de 50% da dosagem do aldrin pode ocorrer no período de 1-2 semanas, após a aplicação na superfície do solo, e de 10-15 semanas quando o inseticida é incorporado ao solo. A perda relativamente rápida de aldrin e dieldrin do solo, durante os primeiros meses depois da aplicação, ocorre por meio de volatilização.

O transporte de aldrin e dieldrin no solo é mínimo porque estas moléculas se ligam fortemente ao solo, podendo porém volatilizar-se do solo. A maioria do dieldrin e do aldrin que contaminam a água superficial é resultado de enxurrada de terra contaminada.

A mais importante biodegradação do aldrin no solo é a sua epoxidação para dieldrin, que ocorre em condições aeróbicas e em solos biologicamente ativos. Ao final de um ciclo de cultivo com a aplicação de aldrin, aproximadamente 50 a 70% dos resíduos que permanecem no solo são de dieldrin.

No solo, o aldrin também pode transformar-se em ácido dicarboxílico de aldrin. A ocorrência de fotodieldrin como um metabólito derivado, em solo tratado com aldrin, é bem menor que a dos outros derivados no solo.

Quanto à bioacumulação do aldrin, a relação entre o fator de bioacumulação e o coeficiente de partição ( $K_{ow}$ ) tem sido intensivamente investigada para vários compostos. O coeficiente de partição tem-se mostrado como um indicador preliminar útil da tendência de uma substância química acumular-se em organismos, particularmente nos aquáticos.

O efeito do aldrin em microrganismos foi pouco estudado, pois, no ambiente, é transformado rapidamente em dieldrin. Os efeitos de dieldrin em algas unicelulares são muito variáveis; algumas espécies são fortemente afetadas por 10  $\mu\text{g/L}$  e outras são tolerantes por até mesmo 1.000  $\mu\text{g/L}$ . Aldrin e dieldrin só têm efeitos secundários em bactérias do solo, mesmo em níveis de resíduos que normalmente excedem de longe os comumente encontrados. Na maioria dos estudos não se observa efeito em níveis de exposição de 2.000 mg de aldrin/kg de solo, entretanto, foram observados efeitos na fotossíntese em diferentes espécies de algas, onde o aldrin causou maior efeito negativo que o dieldrin na mesma concentração.

Em relação às plantas e animais terrestres, as absorções de aldrin e dieldrin são maiores nas raízes das culturas que nos grãos, e são diretamente influenciadas pelas concentrações e forças de adsorção e profundidade de incorporação no solo. Raramente os resíduos de aldrin e dieldrin atingem níveis detectáveis em grão de culturas; já as raízes são mais propensas a absorverem resíduos dos solos tratados.

Os níveis mais altos de resíduos são encontrados em dois grupos principais de organismos não-alvos no ambiente. O primeiro grupo consiste em organismos que vivem perto da fonte de liberação no ambiente. Desta forma, podem ser encontrados resíduos altos em organismos aquáticos perto do ponto de liberação de um efluente industrial, ou em pássaros que comem sementes de plantio tratadas com aldrin ou dieldrin. O segundo grupo de organismos consiste em predadores, particularmente os que se alimentam de organismos aquáticos, pássaros ou mamíferos que ingeriram sementes tratadas com os inseticidas.

As principais vias de exposição e absorção dos agrotóxicos no corpo humano são dérmica, respiratória e oral. Em condições ocupacionais, destacam-se as vias dérmicas e respiratórias. Entre estas duas, a via respiratória destaca-se como a principal via de absorção, pois a absorção por contato na pele é diminuta.

A absorção oral de aldrin foi estudada em ratos; em humanos apenas um estudo foi encontrado com voluntários alimentados com dieldrin nas concentrações de 0,0001; 0,0007 e 0,003 mg/kg/dia, durante 18 e 24 meses. Foram verificados aumentos nas concentrações de dieldrin no sangue e nos tecidos gordurosos relacionados com a dose administrada.

Quanto à distribuição do aldrin no organismo, há que se considerar primeiro que este inseticida é rapidamente convertido a dieldrin (BROWN, RABE, 1999). Assim, a distribuição de dieldrin torna-se importante indicador da distribuição do aldrin absorvido no organismo. Estudos têm demonstrado que a distribuição do dieldrin inicialmente é geral, mas, em algumas horas, concentra-se principalmente no tecido gorduroso.

Amostras de cérebro, de fígado e de tecido gorduroso, foram coletadas em 29 necropsias e selecionadas ao acaso, na Holanda, estes indivíduos viveram em área próxima, mas não foram empregados de uma fábrica de aldrin, dieldrin e endrin. A concentração média de dieldrin na parte branca do cérebro foi significativamente maior (0,0061 mg/kg) que na massa cinzenta (0,0047 mg/kg). Em comparação, as concentrações médias de dieldrin no fígado e tecido gorduroso foram de 0,03 a 0,17 mg/kg, respectivamente.



Como a maioria das substâncias químicas, aldrin e dieldrin não têm um único mecanismo de intoxicação. Os órgãos-alvo principais destas substâncias químicas são o sistema nervoso central e o fígado (WHO, 1989). Excitação do sistema nervoso central é o efeito adverso primário observado em humanos, em casos de intoxicação com aldrin ou dieldrin.

Aparentemente, não foi identificado um sítio receptor no sistema nervoso central reversivelmente ocupado, e quando a ocupação excede um grau, ocorrem movimentos mioclônicos e convulsões.

O aldrin, dieldrin e outros ciclodienos inibem o ácido gama-aminobutírico (GABA), induzem a absorção de íon cloreto em músculos esqueléticos e a ligação de didropicrotoxina tritiatada (canal de ânion) para a membrana. Isto resulta em excitação do sistema nervoso central e convulsões devido ao bloqueio dos transmissores do GABA.

A intoxicação resultante de sobre-exposição aguda ou a longo prazo é caracterizada por movimentos de músculos involuntários e convulsões epileptiformes. Sobreviventes, depois de um período curto de sinais e sintomas residuais, recuperam-se completamente.

Os inseticidas aldrin e dieldrin entram na atmosfera por volatilização de culturas ou do solo tratado ou diretamente da aplicação. Estes inseticidas são encontrados na fase de vapor em níveis muito baixos, em geral entre 1 e 2 ng/m<sup>3</sup>, adsorvidos em partículas de pó suspensas no ar, ou em água pluvial, em concentrações variando entre 10 e 20 ng/L.

No Brasil, a Portaria N° 10, da Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), de 8 de março de 1985, estabeleceu a tolerância de resíduos de 0,02 ppm de aldrin em algodão, arroz, banana e cana-de-açúcar. Os limites de resíduos não intencionais estabelecidos naquele documento foram de 0,02 ppm em cereais crus; 0,1 ppm para alface, cenoura e ovos sem casca; 0,15 ppm no leite e produtos lácteos (na gordura) e 0,2 ppm em carne (na gordura), e não tendo sido autorizado o uso domissanitário. Quanto à exposição ocupacional, a Portaria N° 3.214, de 8 de junho de 1978, na Norma Reguladora N° 7, estabelece para o dieldrin o índice biológico de

exposição (IBE) no sangue, como valor normal, a concentração de até 0,2 µg/dL e o limite de tolerância biológico (LTB) de 15 µg/dL (MANUAIS, 1993).

A Portaria N° 1469, de 29 de dezembro de 2000, do Ministério da Saúde, determina em 0,03 µg/L o valor máximo permitido de aldrin em água potável (BRASIL, 2000).

De acordo com a Resolução CONAMA N° 020, de 18 de junho de 1986, os teores máximos de aldrin permitidos em água doce, Classes 1 e 2, destinadas ao abastecimento doméstico, são de 0,1 µg/L, e de 0,03 µg/L para a Classe 3, destinadas à irrigação de culturas arbóreas, cerealistas e forrageiras e à dessedentação de animais. Em águas salinas (Classe 5) e salobras (Classe 7), o teor máximo permitido é de 0,003 µg/L (BRASIL, 1986).

Devido à absorção humana de baixas concentrações na dieta diária, o dieldrin está presente em baixíssimas concentrações em tecido gorduroso e em alguns tecidos e órgãos. Em pesquisas globais, foi verificado que as concentrações médias variam entre 0,1 e 0,4 mg/kg de tecido gorduroso e que, desde o início dos anos 70, estas concentrações tem diminuído lentamente.

Quanto aos efeitos sistêmicos do aldrin e dieldrin em humanos, verifica-se que poucos trabalhos foram realizados e praticamente nenhum sobre os efeitos da inalação de aldrin e dieldrin na musculatura esquelética, no trato gastrointestinal, nos sistemas hematológico, hepático, renal, imunológico, neurológico, no desenvolvimento, na reprodução, além dos efeitos genotóxicos e cancerígenos.

A excitação do sistema nervoso central, que culmina com convulsões, é o principal efeito adverso notado em estudos ou em aplicação, ou em fabricação de aldrin ou dieldrin. Em muitos casos, apareceram convulsões repentinas e sem sinais prodrômicos.

O risco do aldrin e de seu metabólito dieldrin para a saúde humana depende das suas características físico-químicas principais, pois ambos são praticamente insolúveis em água, moderadamente para altamente solúvel em muitos solventes orgânicos e possuem a pressão de vapor baixa.

Quanto à exposição, verifica-se que, devido à absorção humana de baixas concentrações na dieta diária, resíduos de dieldrin estão presentes em tecido gorduroso e em alguns outros tecidos e órgãos. Em pesquisas globais, constata-se uma média variando entre 0,1 e 0,4 mg/kg em tecido gorduroso e que, desde o início dos anos 70, estas concentrações estão diminuindo lentamente.

O aldrin e o dieldrin parecem não causar efeitos teratogênicos em doses inferiores àquelas que causam toxicidade materna e fetotoxicidade. Não tem sido observada toxicidade de aldrin e dieldrin na reprodução de machos ou fêmeas (WHO, 1989). Numerosos estudos *in vitro* têm demonstrado que aldrin e dieldrin não causam mutagenicidade e não têm potencial mutagênico. Em estudos a longo prazo, aldrin e dieldrin induziram a formação de tumores benigno e maligno em fígado de rato; não foram verificados incrementos na incidência de tumor de fígado ou outros tumores em ratos e hamsters.

Em bancos de dados disponíveis de toxicidade a curto e a longo prazos, a dose correspondente ao nível de nenhum efeito adverso observável global (DNEAO) para ratos é 0,5 mg de dieldrin/kg de dieta, equivalente a 0,025 mg/kg de peso corpóreo.

A JMPR (*Joint Meeting on Pesticide Residues*) estabeleceu a ingestão diária aceitável (IDA) de 0,1 µg/kg corpo peso em 1966 e 1977, baseada na conclusão de que aldrin e dieldrin não são carcinogênicos para humanos.

Existem métodos analíticos para quantificar aldrin, dieldrin e seus produtos de biotransformação em sangue, tecidos do organismo humano, leite, urina e fezes. O primeiro método usado foi a cromatografia a gás (CG) com o detector de captura de elétron (DCE). Uma vez que o aldrin é rapidamente convertido a dieldrin, a exposição ao aldrin ou dieldrin é medida exclusivamente determinando-se níveis de dieldrin no sangue. A exposição também é medida determinando-se os níveis de dieldrin em gordura, uma vez que é rapidamente armazenado em tecido gorduroso. Os metabólitos de aldrin e dieldrin podem ser medidos em fezes e urina, não sendo, porém, habitualmente usados para quantificar a exposição ao aldrin ou dieldrin.

Em ecossistemas terrestres, aldrin e dieldrin são acumulados por grande variedade de organismos, principalmente como dieldrin, que provavelmente é responsável por mortes de mamíferos no campo e pela redução do tamanho da

população de algumas espécies, como a da lontra. Pequenos mamíferos também poderiam morrer ao comerem grãos tratados com estes inseticidas nas áreas recém-semeadas, mas as populações destes animais normalmente imigram para áreas circunvizinhas. Os pássaros predadores de mamíferos pequenos podem acumular dieldrin nos próprios tecidos e ovos. Os pássaros granívoros podem morrer ao comerem grãos tratados com estes inseticidas.

A proibição generalizada do uso destes inseticidas, há mais de uma década, reduziu drasticamente as possibilidades de exposição ocupacional, onde reside o maior risco de intoxicações, e ambiental, pois as concentrações nos componentes do ambiente se reduzem exponencialmente com o banimento do uso. Entretanto, ainda há a possibilidade de uso clandestino, mas este deve ser duramente fiscalizado e combatido pelas autoridades constituídas e pela população em geral.

- *Bifenilas Policloradas (PCB)*

As bifenilas policloradas (PCB) correspondem a uma classe de compostos caracterizados por uma estrutura bifenila, ou seja, dois anéis benzênicos unidos por uma ligação química no átomo de carbono de cada anel contendo 1 a 10 átomos de cloro. O termo "PCB" é usado para se referir a toda classe ou a qualquer subsérie de um ou mais compostos. A estrutura geral da molécula da PCB é representada a seguir:

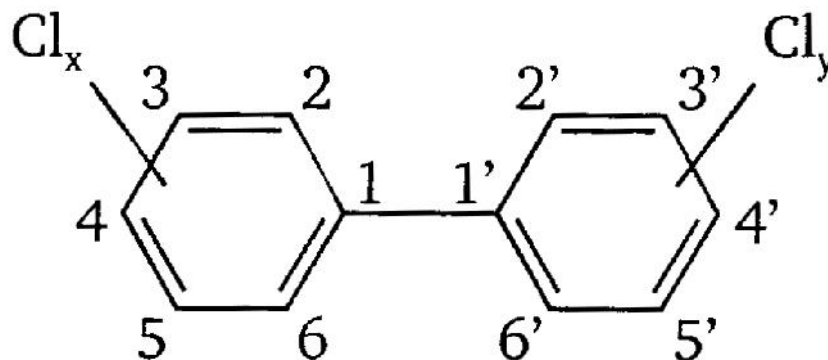


Figura 3.17 - Onde:  $x = 1$  a  $5$ ;  $y = 1$  a  $5$ ;  $x + y \leq 10$   
 Fonte: ATSDR, 2000

As regulamentações emitidas pela EPA (*Environmental Protection Agency*) foram iniciadas em 1977, principalmente sob o TSCA (*Toxic Substances Control Act*), limitando a produção, importação, uso e distribuição de PCBs.

No Brasil, país importador, principalmente dos Estados Unidos e Alemanha, as restrições quanto ao uso de PCBs foram implementadas pela Portaria Interministerial N° 19, de 2 de janeiro de 1981, proibindo a fabricação, comercialização e uso destes produtos. Os equipamentos instalados tiveram permissão para continuarem a ser utilizados até suas substituições integrais ou pela troca de fluido dielétrico por produto isento de PCBs.

A Instrução Normativa N° 1, de 10 de junho de 1983, disciplina as condições a serem observadas no manuseio, armazenamento e transporte de PCBs e/ou resíduos contaminados com PCBs (BRASIL, 1983). No Brasil, posteriormente, o Decreto N° 96.044, de 18 de maio de 1988, aprova o regulamento de transporte rodoviário de produtos perigosos, e impõe outras providências. As misturas de PCBs foram usadas, sob o ponto de vista ambiental, em três formas:

- ✓ sistemas completamente fechados;
- ✓ sistemas nominalmente fechados;
- ✓ usos dissipativos.

Os sistemas completamente fechados são representados pelos capacitares e transformadores. Nos capacitores foram usados o Pyralene 3010, Aroclor 1016, 1221, e, anteriormente, o Araclor 1242 e o 1254. Nos transformadores, as misturas de PCBs eram, na maioria das vezes, altamente cloradas como o Aroclor 1254 e 1260. Eram usadas geralmente em combinação com tri- e tetraclorobenzenos, constituindo a mistura denominada Askarel.

Nos sistemas nominalmente fechados, pequenos volumes de PCBs têm sido freqüentemente usados. Os líquidos resistentes ao fogo, empregados em sistemas hidráulicos e de transferência de calor, contêm o Aroclor 1242, 1248, 1254 e 1260,

denominados comercialmente de Pydraul e Therminol Fr. Os fluidos de bombas a vácuo contêm misturas de PCBs, como o Aroclor 1248 e 1254.

Os usos dissipativos são os responsáveis pelas emissões mais pronunciadas no ambiente e na área ocupacional. As maiores aplicações deste tipo incluem a de plastificante em PVC, neopreno e outras borrachas artificiais cloradas. Volumes menores são utilizados em revestimentos de superfícies, tintas para pintura, escrever ou imprimir, adesivos, pesticidas, microencapsulação de corantes e em papéis para cópia. As bifenilas são usadas, também, como óleos de imersão para microscópios, como catalisadores em indústria química, em óleos para corte e lubrificantes, e na lubrificação de moldes em indústrias de ferro e aço (decaclorobifenila).

Numerosos compostos halogenados poderão conter PCB em pequenas quantidades, como contaminantes. A incorporação de PCBs no meio ambiente ocorreu no passado, principalmente, em razão da liberação de efluentes industriais em mananciais e de resíduos em depósitos de lixo, sem qualquer precaução. Deve-se considerar, ainda, a contaminação do ambiente por acidente ou perda durante o manuseio de PCBs ou fluidos contendo PCBs, evaporação de plastificantes, evaporação durante processos de incineração, vazamentos em transformadores, capacitores ou trocadores de calor, vazamentos de fluidos hidráulicos e armazenamento irregular de resíduos contendo PCB.

Além das propriedades físicas e químicas das PCBs e de suas misturas, as condições específicas do meio ambiente representam influências importantes na definição do destino e transporte destas substâncias no ambiente. Devem ser considerados, entre outros fatores, os processos de perda física (sorção e volatilização), os processos de transporte (diluição, advecção e dispersão), processos químicos (hidrólise, fotólise, reações ácido-base e combinação de íons e complexos), e processos de degradação microbológica (aeróbia e anaeróbia).

No ar, a maior parte das bifenilas encontradas é proveniente do solo e da água, em razão do processo de volatilização. Parte das bifenilas podem ser liberadas para a atmosfera a partir de sítios que contenham resíduos perigosos, de incineradores industriais ou públicos, pelo derramamento de velhos equipamentos elétricos que contenham PCBs e durante a distribuição inadequada ou derramamento.

As PCBs poderão contaminar o solo, após a ocorrência de vazamentos e derramamentos acidentais, pela liberação de solos contaminados, aterros e lixos, pela deposição de emissões veiculares próximas as rodovias e por aplicações no solo de lamas de esgoto contaminado.

A maior fonte atual de contaminação de águas superficiais por PCBs é representada pelo próprio ciclo ambiental das bifenilas policloradas. Adicionalmente, pequenas quantidades podem alcançar águas superficiais após a ocorrência de derramamentos acidentais, como por exemplo, de fluidos hidráulicos ou de resíduos de óleos que alcançam os esgotos urbanos. As águas pluviais que lavam os solos ou que arrastam lamas utilizadas em solos de cultivo contaminados com PCBs, contribuem para a contaminação de águas superficiais.

O transporte atmosférico é o mecanismo mais importante de dispersão global de PCBs. As bifenilas monocloradas permanecem primariamente na atmosfera; aquelas com 1-4 átomos de cloro e que são ortocloradas  $> 1$ , migram em direção às latitudes polares, obedecendo a uma série de ciclos de volatilização e deposição. As bifenilas que possuem de 4-8 cloros permanecem em latitudes medianas, e aquelas com 8-9 cloros permanece próximas às fontes de contaminação.

As bifenilas são removidas da atmosfera por processos de deposição seca e úmida. A deposição atmosférica é a principal fonte de distribuição de PCBs nas águas superficiais; todavia, a redissolução das bifenilas ligadas aos sedimentos é responsável também, pelas concentrações existentes na água. Os congêneres com maior número de cloro são os mais prováveis de sorção, enquanto os pouco clorados são os mais susceptíveis de volatilização. As bifenilas podem deixar as colunas d'água, e concentrarem-se na biota. Acumulam-se em maiores concentrações nos níveis tróficos mais elevados (biomagnificação).

As PCBs presentes no solo são pouco prováveis de migrarem para águas subterrâneas, em razão das fortes ligações com estruturas do solo. O processo de volatilização a partir do solo parece ser um processo por perda mecânica, especialmente para os congêneres menos clorados.

As bifenilas acumulam-se nas partes aéreas dos vegetais e alimentos colhidos, por transferência vapor/planta. Os sedimentos contaminados, quando expostos

diretamente em contato com a atmosfera, durante os períodos de mudanças nos níveis de água (flutuação tidal), ou durante a remoção de lixo, podem rapidamente transferir os congêneres voláteis diretamente para o ar, mediante o processo de covaporização com a água.

As bifenilas são fisicamente removidas da atmosfera por deposição úmida, ou melhor, a chuva e a neve arrastam os vapores e aerossóis, por deposição seca de aerossóis e por adsorção de vapor pelas interfaces ar-água, ar-solo e ar-vegetal. A adsorção de bifenilas pela superfície do gelo é o maior mecanismo de arraste de PCB gasosos na atmosfera.

As bifenilas, ao deixar a coluna d'água, podem concentrar-se na biota. O fator de bioconcentração (BCF), que é a razão da concentração de PCB no organismo sobre a concentração de PCB na água, é diretamente proporcional aos coeficientes de partição e aos teores de lipídios dos organismos, e são específicos para os congêneres. As bifenilas com menor número de cloros (1-4 átomos) são rapidamente captadas pelos organismos, sendo porém, rapidamente metabolizadas e eliminadas. Não são, portanto, não são significativamente bioacumuladas. As bifenilas com maior número de átomos de cloro (7-10 átomos) são encontradas em baixas concentrações no ambiente, e são firmemente ligadas ao solo, sedimentos e matéria orgânica. Portanto, não são significativamente bioacumuladas.

A bioacumulação é maior nos tecidos lipídicos do que nos tecidos musculares, ou no corpo inteiro dos organismos aquáticos; portanto, aqueles com níveis mais elevados de lipídios acumularão maior carga de PCB, via transferência trófica. Espécies de peixes, como a truta de lago (*Salvelinius namaycush*) e o salmão (*Oncorhynchus kisutch*). Os vegetais acumulam PCB através dos seguintes mecanismos:

- 1) captação do solo pelas raízes;
- 2) deposição seca nas partes aéreas (ligadas às partículas ou fase gasosa) e;
- 3) deposição úmida nas porções aéreas (ligadas às partículas ou solutos).



A maneira principal está relacionada à transferência de vapor para o vegetal. A transferência do ar para as gramíneas é a primeira ligação da cadeia alimentar gramínea-gado-homem, sendo esta cadeia alimentar responsável por uma apreciável fração da exposição humana às bifenilas.

O processo mais comum de degradação aeróbia de PCBs por culturas de bactérias se dá em duas fases: a primeira realiza a conversão em ácido benzóico clorado correspondente, e a segunda, a mineralização do clorobenzoato a dióxido de carbono e cloretos inorgânicos Figura 47.

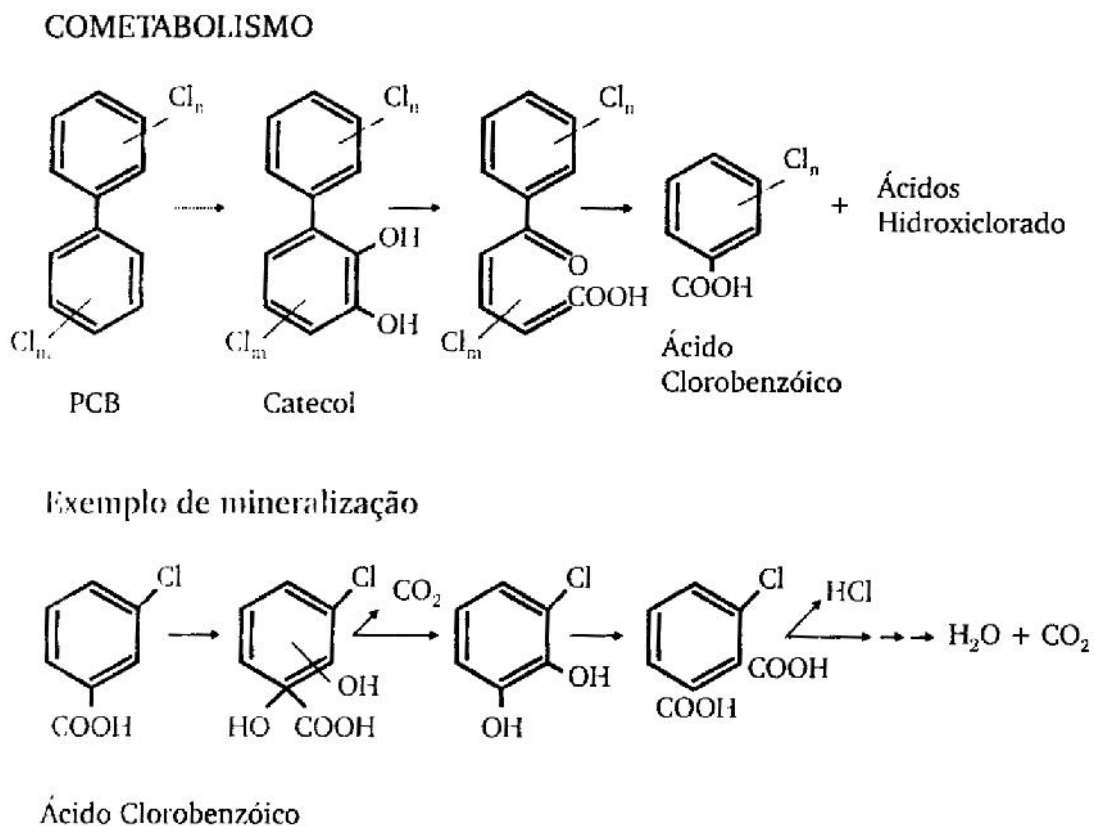


Figura 3.18 - Vias de degradação aeróbia de bifenilas policloradas  
Fonte: ASTDR, 2000.

As bifenilas são lentamente biodegradadas em ambientes anaeróbios pela decloração redutiva, resultando na formação de congêneres menos tóxicos mono- e diclorobifenilas, que são aerobicamente biodegradados (Figura 48).

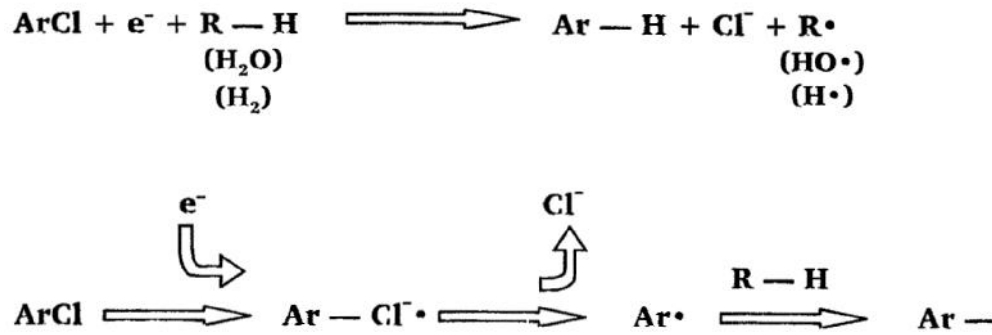


Figura 3.19 - Possível mecanismo de decloração redutiva por microrganismos anaeróbios.  
 Fonte: ABRAMOWICZ, 1990.

Os humanos podem absorver PCBs pelas vias respiratória, oral e dérmica; os dados toxicocinéticos são limitados às informações científicas observadas em casos de ingestão de alimentos contaminados e de exposições ocupacionais.

A via respiratória é considerada a principal via de exposição ocupacional às bifenilas policloradas. Estimativas indicaram que no máximo 80% dos níveis encontrados no tecido adiposo de trabalhadores expostos em indústria de capacitores, poderiam ser originados da absorção por esta via.

O consumo de alimentos contaminados é considerado a maior fonte de exposição às bifenilas pela população em geral. A ingestão de água contaminada ou de solo, representa uma possível fonte adicional de exposição para as populações que habitam áreas vizinhas aos sítios de resíduos perigosos.

A importância da via dérmica quanto à absorção e ao acúmulo de PCBs no tecido adiposo foi reconhecida em trabalhadores expostos de indústria de capacitores. O contato com a água e o solo contaminados representa uma potencial fonte de exposição às bifenilas, principalmente pelos indivíduos que habitam próximo aos sítios de contaminação.

A biotransformação de PCBs (Figura 49) envolve a enzima CYP (Citocromo P-450) (CYP 1A1, 1A2 e CYP 2B1/2B2), mediando a oxidação de óxidos de arenoso. As PCBs coplanares (não orto) são indutoras de CYP1A, e a PCB77 é, preferencialmente, oxidada por estas isoenzimas.

A maioria dos produtos de biotransformação hidroxilados de PCBs é excretada nas fezes e/ou na urina, ou ainda, conjugada com o ácido glicurônico ou com sulfato. Muitos metabólitos hidroxilados são retidos no organismo em razão de sua elevada lipossolubilidade, ou como conseqüência de ligações reversíveis com proteínas.

As bifenilas estão em equilíbrio dinâmico com todos os tecidos e, desta maneira, elas movem-se passivamente do compartimento sangüíneo ao leite, no início da lactação, para manterem suas respectivas razões tecido/sangue.

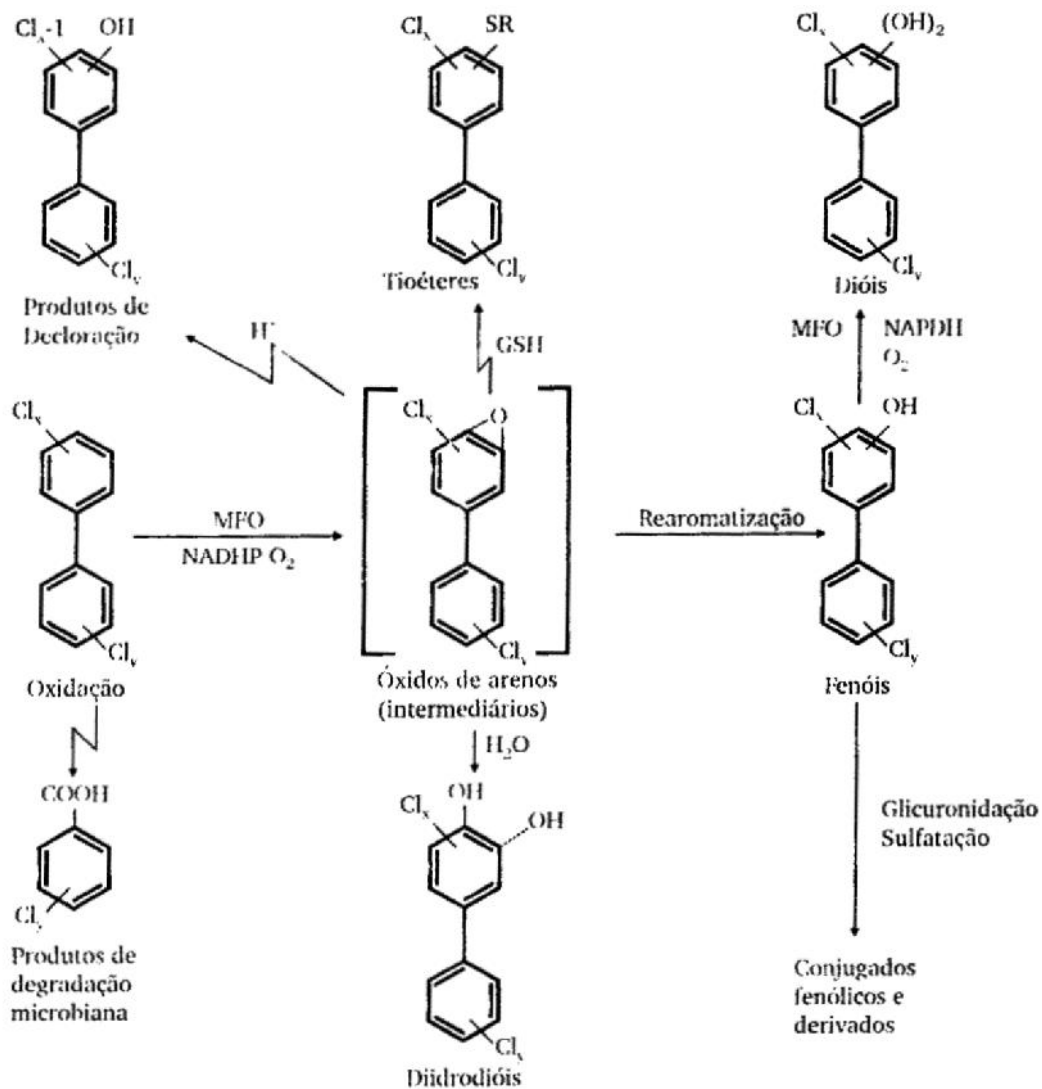


Figura 3.20 - Vias metabólicas de bifenilas policloradas  
Fonte: SAFE, 1984.

A ASTDR (2000) compilou valores orientadores, padrões ambientais, limites e classificações de várias agências e/ou organizações como a IARC, EPA, ACGIH, NIOSH, OSHA e FDA para as bifenilas policloradas. Os valores de DL50 para animais de laboratório, utilizando-se misturas de Aroclor, variaram de cerca de 1.000 mg/kg a mais de 4.000 mg/kg. Não há associação entre mortes em humanos, com exposição aguda (USEPA, 1999).

A IARC (*International Agency for Research on Cancer*) assinala que as PCBs são provavelmente carcinogênicas em humanos, portanto, classificadas no Grupo 2A. A EPA (*Environmental Protection Agency*) também identifica as bifenilas policloradas como sendo provavelmente carcinogênicas em humanos, especificando-as com a classificação B2.

A ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*) adota TLV-TWA de 1 mg/m<sup>3</sup> para o Aroclor 1242 (clorodifenil, 42% de cloro), e de 0,5 mg/m<sup>3</sup> para o Aroclor 1254 (clorodifenil, 52% de cloro) em exposições ocupacionais (8 horas). Este último produto recebe a conotação A3, confirmado carcinógeno em animais, com relevância desconhecida para os humanos (ACGIH. 2002).

A HIOSH (*National Institute of Occupational Safety and Health*) adota REL (*Recommended Exposure Release*) de 0,001 mg/m<sup>3</sup>, tanto para o clorodifenil, 42% de cloro, como para o 54% de cloro,

A OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) adota PEL (*Permissible Exposure Limit*, 8 horas TWA – *Time Weighted Average*) de 1 mg/m<sup>3</sup> para o Aroclor 1242, e de 0,5 mg/m<sup>3</sup> para o Aroclor 1254, inclusive para os trabalhadores de estaleiros e do setor de construção.

A EPA preconiza os seguintes padrões para a água em relação às bifenilas policloradas:

- a) água potável, 5 x 10<sup>-4</sup> ppm;
- b) sistemas públicos de água, não transitórios, e sistemas não públicos, o limite máximo de contaminante (MCL), 5 x 10<sup>4</sup> mg/L; a EPA adota como meta o limite máximo de contaminante (MCLG) de 0 mg/L;

- c) águas subterrâneas, considera o PQL (*Practical Quantitation Limit*), que é a média dos valores para os congêneres de PCBs, 50 µg/L;
- d) água de esgoto, 0,10 mg/L; água não proveniente de esgoto, 10 mg/kg.

A FDA (*Food and Drug Administration*) adota para água engarrafada o valor de 0,0005 mg/L. Com relação aos alimentos a FDA adota para PCBs, os seguintes limites de tolerância:

- a) alimentos infantis, 0,2 ppm;
- b) ovos, 0,3 ppm;
- c) leite (com base na gordura), 1,5 ppm;
- d) produtos lácticos (com base na gordura), 1,5 ppm;
- e) peixes e mariscos (partes comestíveis, excluindo-se a cabeça, vísceras, escamas e ossos não comestíveis), 2,0 ppm;
- f) aves (com base na gordura), 3,0 ppm;
- g) níveis de ação para resíduos de PCBs na carne vermelha, com base na gordura, 3 ppm;
- h) alimentos acabados para animais, utilizados em produtos alimentícios (exceto os alimentos concentrado, suplementos e pré-misturas), 0,2 ppm;
- i) componentes de alimentos de origem animal fornecidos aos animais, incluindo-se a farinha de peixe e outros subprodutos de origem marinha, concentrados acabados de alimentos para animais, suplementos e pré-misturas utilizadas em alimentos para animais, 0,2 ppm;
- j) material de embalagem de produtos alimentícios, usados em produtos para animais ou em componentes empregados na produção de alimentos para animais, 10 ppm.

As doses de referência (RfDs) são doses às quais, mesmo os indivíduos mais sensíveis de uma população, podem ser expostos durante o período de vida, sem experimentar efeitos adversos. A EPA adota como dose oral de referência para o Aroclor 1254, o valor de  $2 \times 10^{-5}$  mg/kg/dia e para o Aroclor 1016, o valor de  $7 \times 10^{-5}$  mg/kg/dia.

No Brasil, os teores máximos de PCBs permitidos em águas, de acordo com a Resolução CONAMA N° 020, de 18 de junho de 1986, são de 0,001 µg/L para água doce, Classes 1 e 2, destinada ao abastecimento doméstico, e 3, destinada à irrigação de culturas arbóreas, cerealistas e forrageiras e à dessedentação de animais.

Entre os efeitos na saúde associados às bifenilas policloradas nos humanos e/ou animais destacam-se: alterações no fígado, tireóide, dérmicas, oculares, imunológicas, no neurodesenvolvimento, redução do peso neonatal, toxicidade reprodutiva e câncer.

A introdução do TEF (Fator de Equivalência de Toxicidade), para avaliar os riscos à saúde pela exposição às misturas complexas contendo PCBs (dibenzo-p-dioxinas) e CDFs (dibenzofuranos), tem sido desenvolvida e usada para orientar decisões em saúde pública. Isto ocorre em razão da exposição de humanos às complexas e diferentes misturas destes hidrocarbonetos aromáticos halogenados, além da existência de limitadas informações a respeito destas últimas e de seus componentes.

O TEF compara a potência relativa de congêneres individuais, baseando-se em dados obtidos *in vitro* ou agudos *in vivo*, com aqueles da 2,3,7,8- TCDD, o membro melhor estudado desta classe, de tal maneira que o TEF definido para a 2,3,7,8-TCDD é 1. A concentração ou dose de cada componente ativo da mistura é multiplicado pelo seu TEF para se chegar ao TEQ (Equivalência Tóxica), e a soma dos TEQ permitirá obter a equivalência tóxica total da mistura, que é comparada com os níveis de exposição de referência esperados para a 2,3,7,8-TCDD, sem riscos significativos para a saúde. Os TEFs têm sido recomendados pela WHO para sete CDD, 10 CDF e 12 congêneres de PCBs.

A ATSDR desenvolveu os níveis de risco mínimo (MRLs), que são estimativas de exposições diárias pelos humanos a uma dada substância perigosa, provavelmente sem risco apreciável de efeitos adversos não carcinogênicos na saúde, durante um período específico de exposição (ASTDR, 2000).

Um MRL de 0,03 µg/kg/dia foi estabelecido para exposições através da via oral, com tempo de duração intermediário (15-364 dias) a PCBs. Este MRL intermediário oral é baseado no LOAEL (nível de menor efeito adverso observado) de 0,0075 mg/kg/dia para alterações neurocomportamentais em macacos, no período da infância, após serem expostos à mistura de congêneres de PCBs, representando 80% dos congêneres tipicamente encontrados no leite materno.

O MRL foi estimado dividindo a LOAEL pelo fator de incerteza 300 (10 pela extrapolação da LOAEL à NOAEL, três para a extrapolação do macaco para os humanos e 10 pela variabilidade humana).

Um MRL de 0,02 µg/kg/dia foi estabelecido para exposição via oral crônica (365 dias ou mais) às PCBs. Ele foi baseado no LOAEL de 0,005 mg/kg/dia para efeitos imunológicos em macacos adultos. O nível máximo aceitável para o risco de câncer é de  $10^{-5}$ , considerando o período de vida de 70 anos. Apesar das evidências serem inadequadas para a definição da ação carcinogênica das bifenilas policloradas em humanos, elas são sugestivas. Apesar da produção e uso de PCBs estarem proibidos, estas substâncias químicas persistem no meio ambiente e assumem conotação global.

No Brasil, a Resolução N° 235, de 7 de janeiro de 1998, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, considerando a necessidade de classificação dos resíduos para melhor gerenciamento das importações, classifica no Anexo 10 (Resíduos Perigosos - Classe 1 - de importação proibida) os resíduos contendo bifenilas policloradas.

O CONAMA, na proposição de 30 de junho de 1999, Lei que "Institui a Política Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos", no Capítulo XVII, Art. 53, que se refere ao gerenciamento de resíduos sólidos que, por suas especificidades, necessitem de procedimentos especiais ou diferenciados, como os equipamentos contendo bifenilas policloradas - PCBs, define que os mesmos deverão ser objeto de regulamentação específica.

A publicação, "*Directrices para la identificación de PCB y materiales que contengan PCB*" (PNUMA, 1999), parte do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, destaca uma série de informações sobre as bifenilas policloradas, com o objetivo de ajudar os países a desenvolverem políticas racionais de gestão ambiental.

Este documento enfatiza que as possibilidades de eliminação de PCBs dependerão da concentração desta substância no material considerado. Em alguns países, os resíduos sólidos com concentrações elevadas terão que ser depositados em instalações subterrâneas, dotadas de sistema permanente de vedação, e os resíduos líquidos poderão ser eliminados após serem submetidos à incineração, armazenamento ou hidrogenação.

Entre as técnicas de eliminação de PCBs figuram: hidrogenação, gasificação, evapoincineração, armazenamento subterrâneo (instalações com sistemas de vedação permanentes), decloração química (processo com sódio), proeessamento eletroquímico baseado em nitrato de prata, e aquecimento em arco de plasma.

O armazenamento provisório, nos países em desenvolvimento, é um passo importante no processo de gestão ambiental. As operações de transporte, preparo dos recipientes para o envio, etiquetagem de barris, atividades de vigilância e instalações de armazenamento, terão que ser planejadas adequadamente.

No Brasil, a Instrução Normativa N° 001 da SEMA/STC/CRC do Ministério do Interior, de 10 de junho de 1983, disciplina as condições de armazenamento e transporte de bifenilas policloradas (PCBs) e/ou resíduos contaminados com PCBs (BRASIL, 1983).

A Norma ABNT/NBR 8371 estabelece orientação para o manuseio, embalagem, rotulação, armazenagem e transporte de PCBs para transformadores e capacitores, níveis de contaminação permitidos em equipamentos novos, equipamentos em operação, além de valores para manutenção e descarte de fluidos e equipamentos elétricos que contenham PCBs (ABNT, 1994).



## 4. REFERÊNCIAS

- \_\_\_\_\_ (1983). *Desertification of arid lands*. Londres: Harwood Academic Publishers, 1983, 242p.
- \_\_\_\_\_ (2001b). Managing fragile ecosystems: combating desertification and drought. In: Agenda 21, capítulo 12.
- APHIS/USDA, 1993. Genetically engineered organisms and products; Notification procedures for the introduction of certain regulated: articles; and petition for non-regulated status: final rule. Federal Register Part X, 7 CFR part 340 of March 31, 1993.
- BAKER, W.L. (1989). A review of models of landscape change. *Landscape Ecology*, vol. 2, p-111-33.
- BENZECRI, J.P. (1977). Histoire et préhistoire de l'analyse des données. *Les Cahiers de l'Analyse des Données*, vol. 2, n° 1, p.9-40, Paris, 1977.
- BLONDEL, J. (1979). *Biogéographie et écologie*. Paris: Masson, 1979. 173p.
- BROWER, J.E.; JERROLD, H.Z.; VON ENDE, C.N. (1977). *Field and laboratory methods for general ecology*. Boston: WCB; McGraw-Hill, 1977, 273p.
- CENE EXCHANGE, 1994. Pioneer drops allergenic soybeans. p.5, August 1994.
- Convention on Biological Diversity, 1995. Note by the secretariat. Biosafety Panel / 2, 31 de Março de 1995.
- DALE, P.J., 1994. The impact of hybrids between genetically modified crop plants and their related species: general considerations. *Molecular Ecology*, 3: 31-36.
- DOEBLIFY, J., 1990. Molecular evidence for gene flow among *Zea* species. *BioScience*, 40(6): 443-448.
- DREGNE, H.E. (1976). *Soils of arid regions*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1976, 237p.
- EUROPEAN COMMUNITIES, 1994. Commission decision of 4 November 1994 establishing procedures concerning the deliberate release into the environment of genetically modified plants pursuant to Article 6 of Council Directive

90/220/EEC. *Official Journal of the European Communities* N° 1-293/31 of 12 November 1994.

- EVENHUIS, A. & ZADOKS, J.C. 1991. Possible hazards to wild plants of growing transgenic plants. A contribution to risk analysis. \_\_\_\_\_, 55: 81-84.
- FERRO, D.N., 1993. Potential for resistance to *Beacillus thuringiensis*: colorado potato beetle (Coleóptera: Chrysomelidae) - a model system. *American Entomologist*, 39(1): 38-44.
- GOULD, F.A.; MARTINEZ-RAMIREZ, A.; ANDERSON, J.; FERRE, SILVA, F.J. & MOAR, W.J., 1992. Broad-spectrum resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins in \_\_\_\_\_ virenses. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 89:7986-7990.
- GUINOCHET, M. (1973). *Phytosociologie*. Pais: Masson, 1973. 227p.
- HOLM, G.L.; PLUCKNETT, D.L.; PANCHO, J.V. & HERBERGER, J.P., 1977. *The World's Worst Weeds*. The University Press of Hawaii, Honolulu.
- KAPTEIJNS, A.I.A.M., 1993. Risk assessment of genetically modified crops to hybridize with the wild flora. \_\_\_\_\_, 66: 145-149.
- KAREIVA, P. & PARKER, I., 1995. Environmental risks of genetically engineered organisms and key regulatory issues. Independent Report by Greenpeace International.
- KREBS, C.J. (1985). *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance*. Nova York: Harper and Row, 1985.
- LAMOTTE, M.; BOURLIÈRE, F. (1969). *Problèmes d'écologie: l'échantil-lonnage dès peuplements animaux dès milieux terrestres*. Paris: Masson, 1969, 303p.
- LESSER, W. & MALONEY, A.P, 1993. *Biosafety: a Report on Regulatory Approaches for the Deliberate Release of Genetically Engineered Organisms - Issues and Options for Developing Countries*. Cornell International Institute for Food Agriculture and Development (CIIFAD), Ithaca, USA.
- MABBUTT, J.A. (1986). Desertification indicators. *Climate Change*, vol. 9, p.113-22.
- MAC ARTHUR, R.H.; MAC ARTHUR, J. (1961). On bird species diversuty. *Ecology*, vol. 42, p.594-98, 1961.

- MIRANDA, J.R. (1986). *Écologie des peuplements de reptiles du tropique semi-aride brésilien: région d'Ouricuri-PE*. Tese de doutorado. Montpellier: Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 1986. 418p., il.
- MIRANDA, J.R.; MIRANDA, E.E. de (1982). *Método de avaliação faunística em território delimitado: o caso da região de Ouricuri-PE*. Petrolina: Embrapa-CPATSA, 1982. 39p.
- NELLSTRAND, N.C. & HOFFMAN, C.A., 1990. Hybridization as an avenue of escape for engineered genes. *BioScience*, 40(6): 488-442.
- NICHOLSON, S. E.; CAVENPORT, M. L.; MALO, A. R. (1990). A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and East Africa, using Normalized Difference Vegetation Index from NOAA-AVHRR. *Climate Change*, vol. 17, p.209-41.
- OECD, 1992. Safety considerations for biotechnology, OECD, Paris, France.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (2001a). *Text of the United Nations Convention to Combat Desertification*. Disponível em: <[www.unccd.int/convention/text/convention.php](http://www.unccd.int/convention/text/convention.php)>.
- RAYBOULD, A.F. & CRAY A.J., 1994. Will hybrids of genetically modified crops invade natural communities *Trend in Ecology and Evolution*, 9: 85-89.
- REGAL, P.J., 1994. Scientific principles for ecologically based risk assessment of transgenic organisms. *Molecular Ecology*, 3: 5-13.
- SCHILLER, A; HUNSAKER, C.T.; KANE, M.A.; WOLFE, A.K.; DALE, V.H.; SUTER, G.W.; RUSSELL, C.S.; PION, G.; JENSEN, M.H; KONAR, V.C. (2001). Communicating ecological indicators to decision makers and the public. *Conservation Ecology*, vol. 5, nº 1.
- SEYBOLD, C.A; MAUSBACH, M.J.; KARLEN, D.L.; ROGERS, H.H (1996). Quantification of soil quality. In: The Soil Quality Institute (ed.). *The soil quality concept*. Washington: USDA/NRCS, 1996. 89p.
- TIEDJE, J.M.; COLWELI, R.K.; CROSSMAN, Y.L; HODSON, R.E.; LENSKI, R.N.; MACK & RECAL, P.J., 1989. The planned introduction of genetically engineered organisms: ecological considerations and recommendations. *Ecology*, 70(2): 298-315.

- TUCKER, C.J.; DREGNE, H.E.; NEWCOMB, W.W. (1990). Expansion and contraction of the Sahara Desert from 1980 to 1990. *Science*, vol. 253, p.299-301, 1990.
- TUCKER, C.J.; TOWNSHEND, J.R.G.; GOFF, T.E. (1985). African land-cover classification using satellite data. *Science*, vol. 227, p.369-75, 1985.
- UK Department of Environment, 1993. Fast track procedures for certain GMO releases. DOE/ACRE Guidance Note N° 2.
- UNCED Secretariat, 1992. Environmentally sound management of biotechnology. Assessment and Management of risk. Research Paper N° 55.
- US Congress 1993. New developments in biotechnology - Field testing engineered organisms: genetic and ecological issues. OTA, USA.
- WARREN, A.; MAIZELS, J.K. (1977). Ecological change and desertification. In: Organização das Nações Unidas. *Desertification: its causes and consequences*. Nova York: Pergamon Press, 1977, p.169-260.
- WHITTAKER, R.H. (1972). Evolution and measurement of species diversity. *Táxon*, n° 21, p.213-51, 1972.
- WHO, 1991. Strategies for assessing the safety of foods produced by biotechnology. Report of a joint FAO/WHO consultation. World Health Organization, Geneva.
- WILLIAMS, M.A.; BALLING, J.R., R.C. (1955). Interacciones entre la desertificación y clima: una visión general. *Boletín de Control de la Desertificación – UNEP*, vol. 26, p.8-17, 1995.
- WILLIAMSON, M., 1994. Community response to transgenic plant release: predictions from British experience of invasive plants and feral crop plants. *Molecular Ecology*, 8: 75-79.