

TOXICIDADE DOS METAIS

“CÁDMIO”

Fátima Moreira
Setor de Metais
Laboratório de Toxicologia



INTRODUÇÃO

- Metal branco azulado, macio e dúctil à temperatura ambiente (tão mole → cortado com faca);
- Tabela periódica: pertence ao mesmo grupo (12) do Zn e Hg;
- Parecido com Zn, porém menos reativo. Várias ppdds. físicas e químicas semelhantes ao Zn → ocorrência dos 2 juntos na natureza;
- Minérios: Cd e Zn encontrados na relação entre 1:100 e 1:1000, principalmente na forma de sulfetos;
- Elemento relativamente raro na crosta terrestre, em torno de 0,1 a 0,2 ppm;
- Não é encontrado puro na natureza → associado a sulfetos nos minérios de Zn, Pb e Cu;



INTRODUÇÃO



- Amplamente distribuído pela crosta terrestre, com ↑ concentrações encontradas em rochas sedimentares e fosfatos marinhos;
- Maior fluxo global do ciclo do Cd: transporte pelos rios até os oceanos devido às condições climáticas;



- ↑ [Cd]: solos próximos às áreas de depósito de minérios de Zn, Pb e Cu ⇒ contaminação do solo e aquática;
- Principal fonte natural de Cd na atmosfera: atividade vulcânica (erupção e baixa atividade);
- Atividade vulcânica em mar profundo: parte importante do ciclo Cd;
- Distribuição vertical Cd no oceano: < superfície e > águas profundas. Correlação com níveis de nutrientes;

USOS E APLICAÇÕES

• Utilização limitada com aplicações em cinco principais categorias:

– *Recobrimento de aço e ferro (7%)*:

Alta resistência à corrosão → eletrodeposição em outros metais. Encontrado em parafusos, porcas, fechaduras, aeronaves, motores, equipamentos marítimos e máquinas industriais;

– *Estabilizador para PVC (4%)*:

Forma de vários sais inorgânicos: estearato de Cd → mais importante → utilizado com estabilizador em PVC;

– *Pigmentos em plástico e vidro (13%)*:

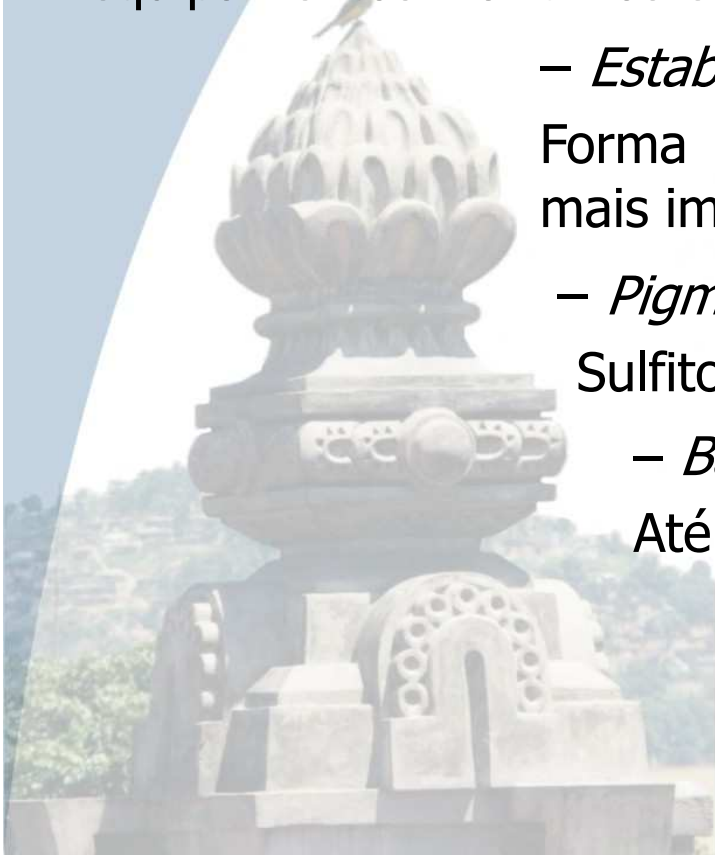
Sulfitos e selenitos → pigmento amarelo e vermelho;

– *Baterias de Ni-Cd (75%)*:

Até 1994, 55% Cd usado em baterias de celulares;

– *Ligas (1%, + outros usos)*:

Constituinte de ligas fundíveis metálicas e de latão.



USOS E APLICAÇÕES

- Outros usos (1%, juntamente com *Ligas*):

- fotocélulas e células solares (CdSO_3);

- fungicida (CdCl_2);

- aditivo em indústria têxtil;

- produção de filmes fotográficos;

- eletrodos em lâmpadas de vapor de cádmio;

- semicondutores;

- vidros e cerâmicas esmaltadas;

- televisão;

- absorvedor de nêutrons em reatores nucleares;

- amálgama em tratamento dentário (1Cd:4Hg);

- barras de controle de reatores;

- fios de transmissão de energia;



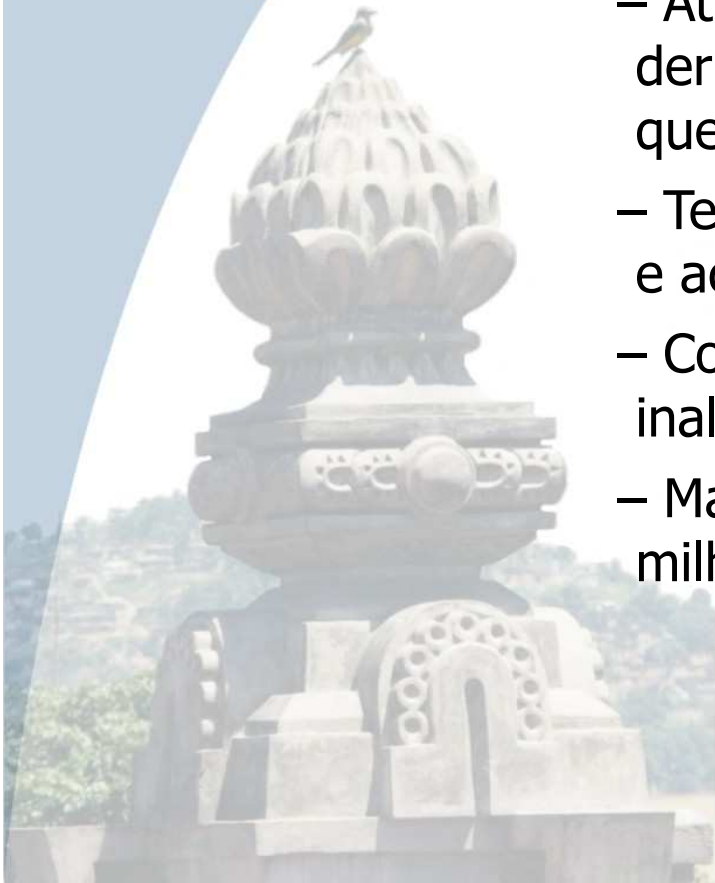
TRANSPORTE, DISTRIBUIÇÃO E TRANSFORMAÇÃO NO AMBIENTE



•AR

– Cd e compostos: alta PV (p. ex., PV Zn=10 mm Hg, PV Cd=100 mm Hg a 600°C);

- Atmosfera: material particulado suspenso, derivado de borrifos de mar, emissões industriais, queima de combustível ou erosão do solo;
- Temperaturas extremamente altas (indústria de Fe e aço) → emitido como vapor;
- Combustão → emitido associado a partículas inaláveis ($d < 10 \mu\text{m}$);
- Material particulado transportado a centenas ou milhares de Km, com deposição após 1 a 10 dias;
 - Principal forma atmosfera: CdO ou CdCl₂ (incineração);



TRANSPORTE, DISTRIBUIÇÃO E TRANSFORMAÇÃO NO AMBIENTE



•ÁGUA, SEDIMENTO E SOLO

- Sistemas aquáticos: intemperismo, erosão solo e rocha, descargas atmosféricas (operações industriais), vazamento de locais contaminados, uso de lodos de esgoto e fertilizantes;
- Rios contaminam solo e transportam Cd até 50 Km da fonte;
- Cd: significativa mobilidade na água (formas solúveis);
- Águas superficiais e subterrâneas: íon hidratado ou complexado com substâncias orgânicas ou inorgânicas;
- Ácido húmico: principal componente do sedimento, responsável pela adsorção do Cd (\uparrow com \uparrow pH);
- Modo como Cd encontrado no sedimento é importante:
 - ⇒Cd ligado a componentes estáveis: (-) mobilizado por ressuspensão sedim. ou atividade biológica;
 - ⇒Cd adsorvido a superfícies minerais (argila ou material orgânico): (+) facilmente bioacumulado ou liberado com distúrbios ambientais;

TRANSPORTE, DISTRIBUIÇÃO E TRANSFORMAÇÃO NO AMBIENTE



•ÁGUA

– Sistemas aquáticos:

Intemperismo, erosão solo e rocha, descargas atmosféricas (operações industriais), vazamento de locais contaminados, uso de lodos de esgoto e fertilizantes;

- Rios contaminam solo e transportam Cd até 50 Km da fonte;
- Cd: significativa mobilidade na água (formas solúveis);
- Águas superficiais e subterrâneas: íon hidratado ou complexado com substâncias orgânicas ou inorgânicas.



TRANSPORTE, DISTRIBUIÇÃO E TRANSFORMAÇÃO NO AMBIENTE



•SEDIMENTO

– Ácido húmico: principal componente do sedimento, responsável pela adsorção do Cd (\uparrow com \uparrow pH);

– Modo como Cd encontrado no sedimento é importante:

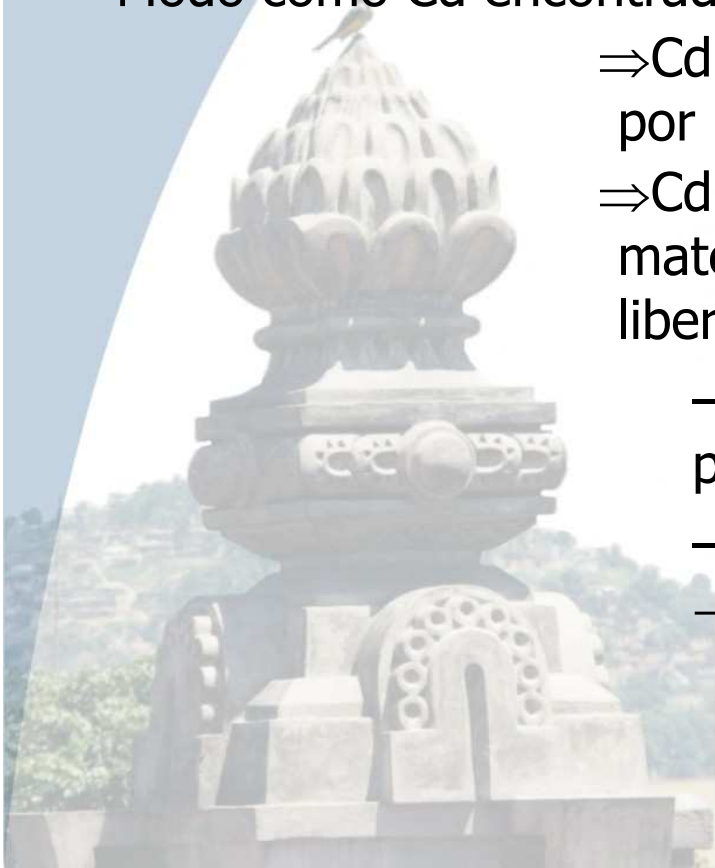
⇒ Cd ligado a componentes estáveis: (-) mobilizado por ressuspensão sedim. ou atividade biológica;

⇒ Cd adsorvido a superfícies minerais (argila ou material orgânico): (+) facilmente bioacumulado ou liberado com distúrbios ambientais;

– Cd mobilizado do sedimento com mudança de pH, salinidade e potencial redox;

– Bactérias dos sedimentos captam Cd da água

→ importante papel na partição água/sedimento;



TRANSPORTE, DISTRIBUIÇÃO E TRANSFORMAÇÃO NO AMBIENTE



•SOLO

- Cd-solo: solúvel ou complexado com constituintes insolúveis;
- Cd-solo (+) disponível \Rightarrow $<$ pH do local;
- pH, reações de oxi-redução e formação de complexos afetam a mobilidade Cd no solo;
- Níveis de contaminação atmosfera \Rightarrow contaminação de superfície do solo e vegetação local.



TRANSPORTE, DISTRIBUIÇÃO E TRANSFORMAÇÃO NO AMBIENTE



•BIOACUMULAÇÃO E BIOMAGNIFICAÇÃO

– Cd se bioacumula em plantas aquáticas, invertebrados, peixes e mamíferos;

–> nível trófico do organismo \rightarrow $>$ [Cd];

– Cd bioacumulado por fitoplâncton \Rightarrow organismos marinhos \rightarrow \uparrow [Cd] encontradas em moluscos e crustáceos;

– Peixes bioconcentram metais: habilidade de captar e acumular metais nas guelras e paredes intestinais ($>$ [Cd] do q próprio meio);



TRANSPORTE, DISTRIBUIÇÃO E TRANSFORMAÇÃO NO AMBIENTE



•BIOACUMULAÇÃO E BIOMAGNIFICAÇÃO

–Biota marinha contém \gg [Cd] biotas terrestre e água doce;

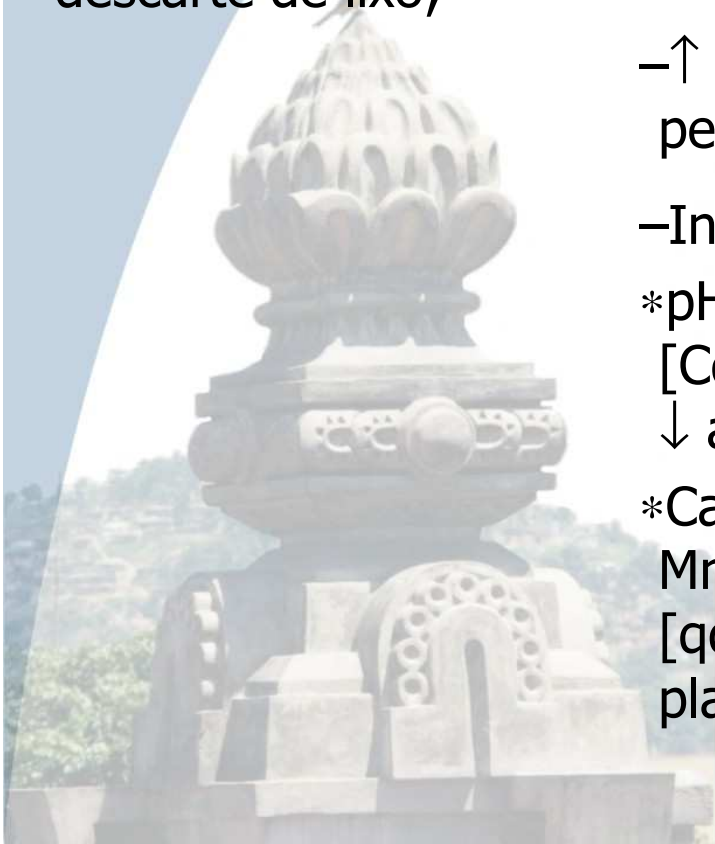
– \uparrow [Cd] para mesma espécie \Rightarrow proximidade áreas urbanas, industriais ou descarte de lixo;

– \uparrow contaminação Cd no solo \Rightarrow \uparrow absorção Cd pelas plantas;

–Influência do solo na absorção do Cd pela planta:

*pH e [Cd]: \uparrow pH \Rightarrow \uparrow adsorção Cd no solo \Rightarrow \gg [Cd] no solo \Rightarrow \ll disponibilidade para a planta \Rightarrow \downarrow absorção Cd pela planta;

*Capacidade de troca catiônica e presença de Mn(OH)_2 , Fe(OH)_3 , CaCO_3 e matéria orgânica \rightarrow \uparrow [qq.um desses] \Rightarrow \downarrow disponibilidade Cd para planta;

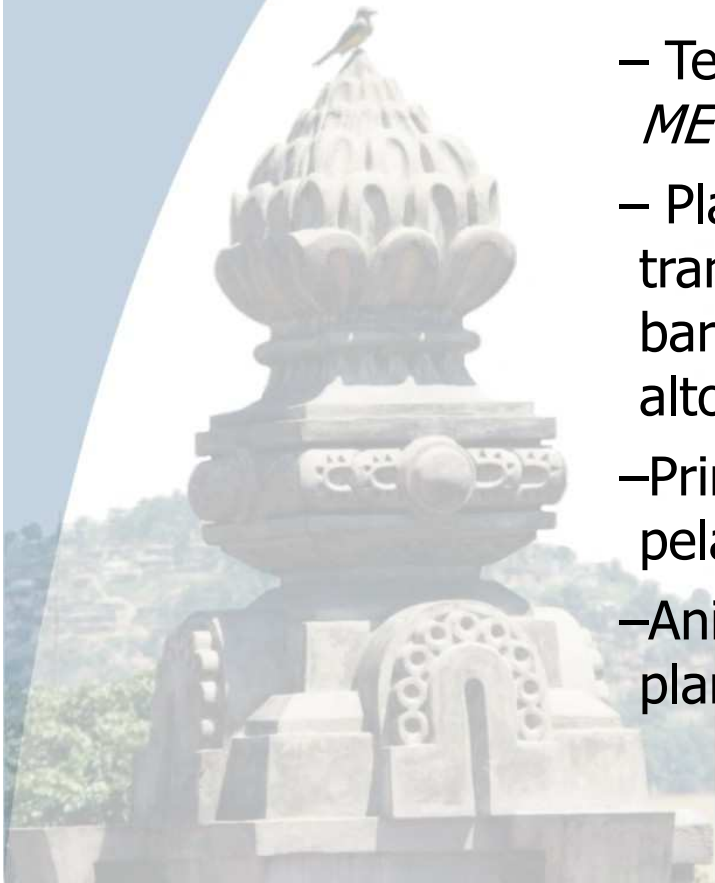


TRANSPORTE, DISTRIBUIÇÃO E TRANSFORMAÇÃO NO AMBIENTE



•BIOACUMULAÇÃO E BIOMAGNIFICAÇÃO

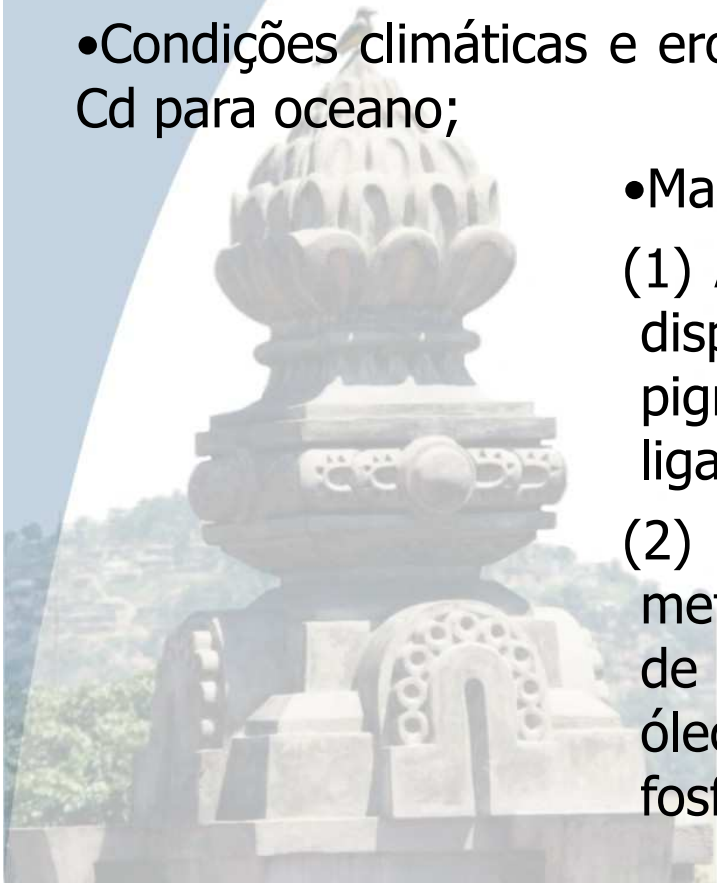
- Vegetais variam em relação à sensibilidade aos *METAIS*;
- Tecidos das plantas: concentração variada *METAIS* (em geral, $<[M]$ nos grãos);
- Plantas atuam como: (1) mecanismo de transferência de contaminantes do solo; (2) barreira para essa transferência para níveis mais altos da cadeia trófica;
- Principal mecanismo de absorção de *METAIS* pelas plantas: pelas raízes;
- Animais herbívoros: contaminação ingestão de plantas.



FONTES DE CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL



- Atividades humanas → significativas quantidades Cd para ambiente;
 - Emissão Cd: fontes naturais e antropogênicas;
 - Principais fontes naturais: atividade vulcânica (maior), rochas sedimentares e fosfáticas de origem marítima e incêndios florestais;
 - Condições climáticas e erosão → transporte (via rios) grande quantidade Cd para oceano;
- Maiores fontes antropogênicas:
 - (1) Atividades de mineração, produção, consumo e disposição de produtos contendo Cd: baterias, pigmentos, estabilizadores PVC, eletrodeposição, ligas e componentes eletrônicos;
 - (2) Cd como constituinte natural do material: metais não-ferrosos, ligas de Zn, Pb e Cu, emissão de indústria Fe e aço, combustíveis fósseis (carvão, óleo, gás, turfa e madeira), cimento e fertilizantes fosfatados;



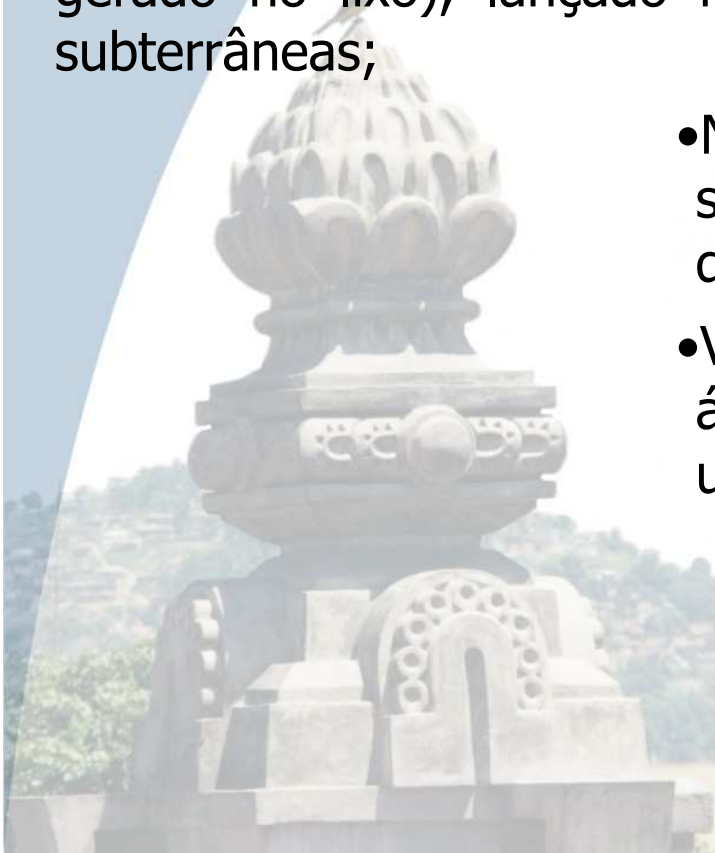
FONTES DE CONTAMINAÇÃO E RISCOS DE EXPOSIÇÃO AMBIENTAL



- Lixo urbano:

Cd proveniente de várias fontes, que contaminam o composto orgânico (produto da reciclagem da parte orgânica do lixo) e o chorume (líquido gerado no lixo), lançado nos rios ou penetra no solo e alcança águas subterrâneas;

- Níveis de Cd em águas não poluídas variam significativamente, $>[Cd]$ em águas profundas devido à captação do metal pelos organismos;
- Variações ainda maiores são encontradas em águas de chuva, doce e de superfície em áreas urbanas e industrializadas;



FONTES DE CONTAMINAÇÃO E RISCOS DE EXPOSIÇÃO AMBIENTAL



• Principais fontes de contaminação das águas:

*Mineração de metais não-ferrosos: > fonte de Cd. Contaminação pela drenagem das águas de minas e processos, inundação lagoas e chuvas originárias de áreas de mineração;

*Fundições de minério não-ferroso: importante fonte devido à descarga de efluentes líquidos produzidos por lavagem dos gases e drenagem de suas águas;

*Extração de rochas fosfatadas e manufatura de fertilizantes fosfatados: Cd na argila, disposta em lixos nas águas costeiras e usada na construção civil;

*Acidificação de solos e lagos: ↑ mobilização Cd depositado, ↑ [Cd] nas águas superficiais e profundas;

*Corrosão em soldas de juntas ou tubos galvanizados de Zn : água ácida dissolve o Cd e ↑ [Cd] na água potável;



FONTES DE CONTAMINAÇÃO E RISCOS DE EXPOSIÇÃO AMBIENTAL



- Camadas mais superficiais: concentrações 2X > mais subterrâneas devido à deposição atmosférica e contaminação;
- 90% Cd-solo permanece nos 15cm + superficiais;
- Concentrações elevadas devido à deposição: áreas de alta densidade de atividades laborais com metais não-ferrosos e estação termoeletrica por carvão mineral e deposição de resíduos de incineração;
- Lodo de esgoto estritamente urbano: ↓ [M], porém ↑ [M] se esgoto industrial + água de chuva entram na captação esgoto urbano;
- Fonte de contaminação do solo: lodo de esgoto usado como adubo ⇒ incorporação de metais na cadeia alimentar;



FONTES DE CONTAMINAÇÃO E RISCOS DE EXPOSIÇÃO AMBIENTAL



- Solos poluídos são fonte de contaminação para plantas e animais por longos períodos;

- Fontes de Cd nos efluentes e lodos de esgoto:

- * excretos humanos;

- * corrosão tubulações Cu galvanizadas (redes hidráulicas domésticas);

- * descarte inadequado baterias de Ni-Cd;

- * adição direta decorrente de processos industriais;

- Contaminação do solo através de resíduos sólidos, que devem ser dispostos em locais capazes de imobilizar o Cd, prevenindo a contaminação das águas.



RISCOS DE EXPOSIÇÃO POR INGESTÃO

- Pptações ácidas: \downarrow pH solo \Rightarrow \uparrow captação Cd pelos alimentos \Rightarrow $>$ exposição pela dieta ;
- $>$ ingestão Cd através de grãos e cereais, pois concentram + Cd;
- Rins e fígado animais e mariscos \Rightarrow \uparrow contribuição para indivíduos com elevada ingestão dos mesmos;
 - Concentração de Cd nos alimentos depende:
 - * Origem dos alimentos;
 - * [Cd] no solo;
 - * Disponibilidade de Cd no meio para ser incorporado pela planta;
 - Água para consumo contém níveis baixos Cd \Rightarrow pode ocorrer lixiviação do Cd de encanamentos;



CARGA CORPÓREA

- Exposição humana: consumo de alimentos, água, ingestão acidental de solo ou poeiras contaminados, hábito de fumar ou atividades que envolvam exposição a poeiras ou fumos de Cd;
- Ingestão de alimentos contaminados → mais importante fonte de exposição para pessoas não-fumantes e não-expostas ocupacionalmente;
 - Fonte de exposição ao Cd e Pb para crianças: ingestão de poeira ou terra de jardim;
 - Estimativa da ingestão Cd/pessoa → quantidade diária de alimentos, tipos de alimentos consumidos e concentração de Cd nestes alimentos;
 - Trabalhadores expostos em seus ambientes de trabalho tb. estão expostos através de alimentos e água contaminados;



TOXICOCINÉTICA

• *Absorção*

*Absorção dérmica: lenta, porém relevante quando ***soluções concentradas*** de Cd ficam em contato com a pele por várias horas;

*Absorção respiratória: absorção dos compostos de Cd pelo pulmão nem sempre se correlaciona com sua solubilidade em água.

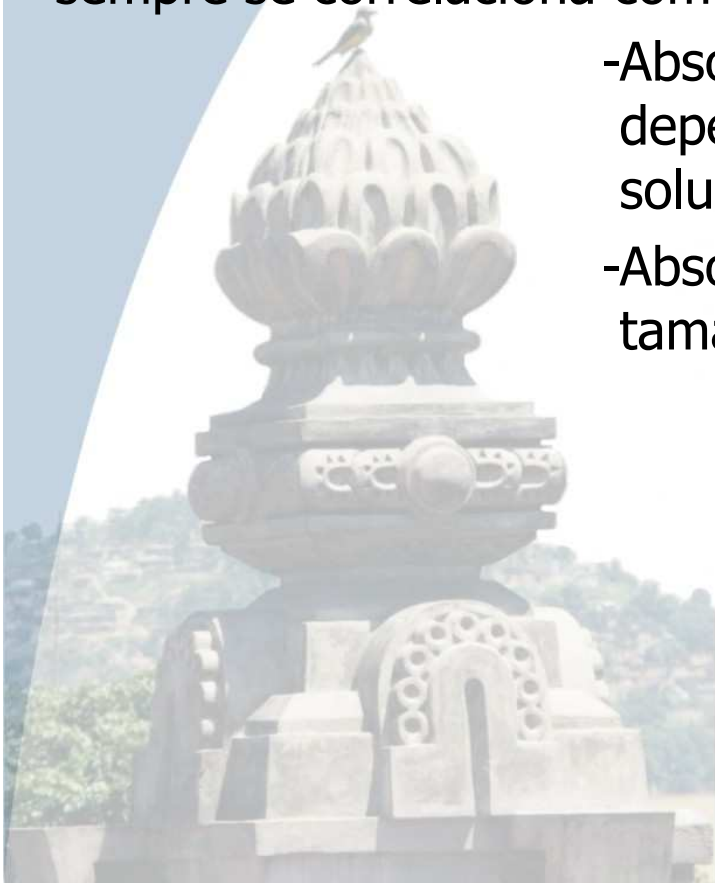
- Absorção pulmonar é > absorção gastrintestinal e depende da espécie química, tamanho e solubilidade da partícula;

- Absorção Cd da fumaça: + eficiente pelo < tamanho partícula;

*Absorção gastrintestinal: influenciada pelo tipo de dieta e condições nutricionais;

- Média de absorção do total introduzido no organismo: 5%;

- Exposição oral: importante devido à bioacumulação do Cd na cadeia alimentar;

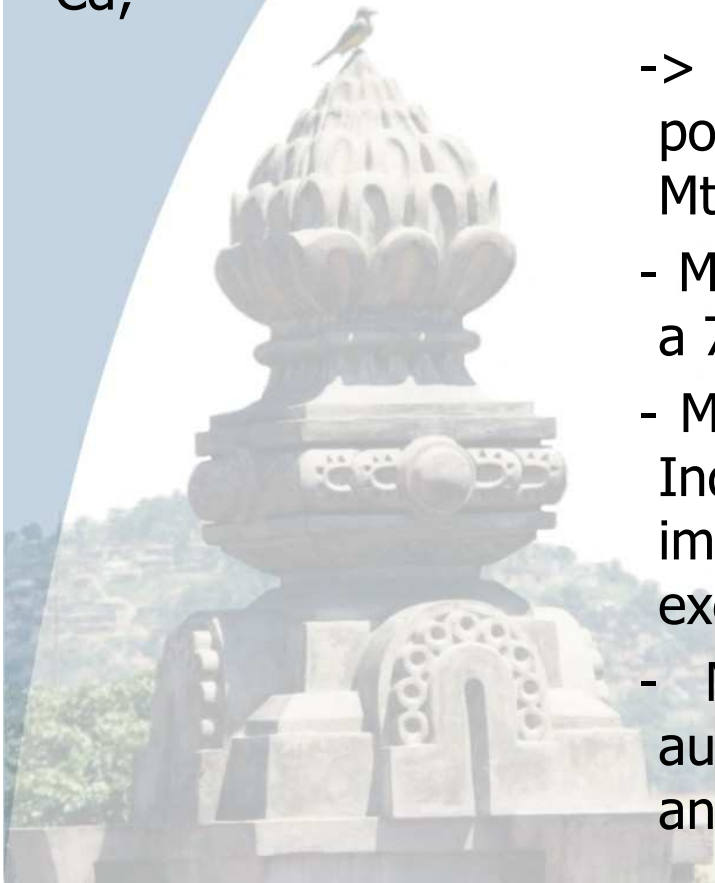


TOXICOCINÉTICA

• *Distribuição*

- Após absorção: Cd amplamente distribuído pelo organismo, principalmente fígado e rins (50% do total de Cd no organismo);
- Interação com a metalotioneína (Mt): importante para a toxicocinética do Cd;

- > intensidade de exposição \Rightarrow $>$ [Cd] no fígado, pois eliminação é baixa devido à ligação com a Mt;
- Mt: ptn BPM, rica em cisteína e capaz de se ligar a 7 átomos de Cd / molécula;
- Mt: sintetizada pelo fígado, rins e outros órgãos. Induzida pela presença do metal é adequada para imobilizar o Cd acumulado \Rightarrow indisponível para exercer sua toxicidade nesta forma;
- Média de concentração de Cd nos órgãos aumenta com a idade, atinge um patamar aos 50 anos e depois há o declínio;



TOXICOCINÉTICA

• *Distribuição*

- Distribuído ligado principalmente aos eritrócitos. [Cd] no plasma é baixa;
- 80 a 90% do Cd do organismo estão ligados à Mt \Rightarrow \downarrow níveis de Cd circulante, \downarrow sua biodisponibilidade;
 - Placenta sintetiza Mt e atua como barreira parcial à exposição fetal ao Cd;
 - Concentrações Cd no cordão umbilical = 1/2 Cd-S materno;
 - [Cd] leite materno = 5 - 10% Cd-S (por causa da inibição da transferência do sangue devido à ligação do Cd à Mt nas células sanguíneas);



TOXICOCINÉTICA

• *Biotransformação e Excreção*

- Cd transportado para o fígado onde é produzida a ligação Cd-Mt;
- Esta ligação imobiliza o metal e protege os órgãos da ação tóxica do Cd;
 - Excreção muito lenta $\Rightarrow t_{1/2}$ muito longo (17 - 38 anos);
 - Cd absorvido é excretado pela urina;
 - Grande parte do Cd inalado ou ingerido é excretado pelas fezes devido à não absorção pelo TGI.



EFEITOS

- Órgãos-alvo: rins e fígado;
- Rins: disfunção na reabsorção do túbulo proximal (proteinúria), câncer;
- Distúrbios no metabolismo do cálcio, osteoporose e osteomalácia;
 - Sistema cardiovascular : doenças coronariana e arterial periférica, aumento da pressão arterial e infarto do miocárdio;
 - Cd altera metabolismo do Zn, Fe, Cu e Se;
 - Fígado: ↓ glicogênio hepático e ↑ glicemia, fibrose, cirrose;
 - Pulmões: necrose dos macrófagos alveolares, câncer;
 - SN: redução da atividade motora e alterações neurocomportamentais;
 - Olhos: degeneração macular;
 - SRM: carcinogênese prostática;
 - IARC: grupo 1



TOXICIDADE DOS METAIS

“CHUMBO”



MARIA DE FÁTIMA RAMOS MOREIRA
SETOR DE METAIS
LABORATÓRIO DE TOXICOLOGIA
FIOCRUZ / ENSP / CESTEJH

Introdução



- ♦ **Metal cinza-azulado, inodoro, maleável, facilmente moldável e se contrai consideravelmente quando resfriado;**
- ♦ **Pertence ao grupo 14 da tabela periódica juntamente com o carbono, silício, germânio e estanho ;**
- ♦ **Onipresente no ambiente → ampla distribuição favorecida por atividades industriais;**
- ♦ **Maior parte do chumbo obtido comercialmente extraído da galena (PbS), minério mais abundante;**
- ♦ **Pode ser encontrado nos minérios de zinco, prata e cobre;**
- ♦ **Ocorre naturalmente nas emissões vulcânicas e intemperismo geológico;**
- ♦ **Principais fontes: rochas ígneas e metamórficas, pulverização da água do mar, e carvão, óleo e madeira.**

Introdução



- ♦ **Concentração natural de chumbo nas águas superficiais e oceanos → muito baixa;**
- ♦ **Níveis em águas subterrâneas variam consideravelmente, dependendo composição do solo e rocha;**
- ♦ **Concentração no solo influenciada por atividades antropogênicas e transporte pelo ar,**
- ♦ **Ocorrendo naturalmente em plantas pelo processo de captação e incorporação;**
- ♦ **Transporte e distribuição do chumbo acontecem → através do ar;**
- ♦ **A maior parte do metal emitido se deposita próximo à fonte;**
- ♦ **Partículas menores do que 2 μm podem ser transportadas por longas distâncias;**

Introdução



- ♦ **Condições atmosféricas e o tamanho do particulado contribuem para ↓ chumbo do ar → solo e águas;**
- ♦ **Pb e seus compostos são pouco solúveis em água ⇒ material depositado tende a ficar localizado ;**
- ♦ **Dependendo do pH, salinidade e presença de quelantes orgânicos: parte do Pb depositado na água → sedimento;**
- ♦ **Por estar fortemente adsorvido no solo, ligado à matéria orgânica ⇒ encontrado nas camadas superiores do solo ⇒ não sendo lixiviado para o subsolo, águas superficiais e subterrâneas;**

Usos e Aplicações

Ministério da Saúde
FIOCRUZ
Fundação Oswaldo Cruz


ESCOLA NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA
SERGIO AROUCA
ENSP

- ♦ **Encontrado em tubos, pesos, munição, revestimentos de cabos e chapas para proteção contra radiação;**
- ♦ **Empregado:, canos, tipos de impressão, produtos de latão e cobre, soldas, revestimento na indústria automobilística, chapas contra vibração e transmissão de ruído na construção civil, remédios tradicionais e tampas de garrafas de bebidas alcoólicas;**
- ♦ **Amplamente utilizado:**
 - **52% em baterias e fundição de metais não-ferrosos;**
 - **48% em cabos, pigmentos, tintas, ligas (latão e bronze), revestimento resistente a ácidos para tanques e frascos, cristais, esmaltes, cerâmicas vitrificadas, estabilizantes (plásticos e borrachas),**

Fontes de Exposição Humana e Ambiental



- ↪ ***Principal fonte primária: exploração de minérios;***
- ↪ ***Fonte secundária: reciclagem de fragmentos de metal ou baterias;***
- ↪ ***Maiores fontes ambientais que contribuem para ingestão diária: ar, poeira, alimentos, bebidas e tintas;***
- ↪ ***Principais fontes de poluição do ar:***
 - **Combustão de gasolina e óleo (60%), e de carvão (3%);**
 - **Produção de metal não-ferroso (17%), e de aço/ferro (11%);**
 - **Incineração de lixo, mineração de metal não-ferroso, aplicações industriais e combustão de madeira (9%).**

Fontes de Exposição Humana e Ambiental



↪ Contribuição para ingestão total de chumbo por dia:

• Fumaça de cigarro, ingestão de lascas de superfícies pintadas (crianças), inalação de emissões dos automóveis, alimentos enlatados e água de tubulação com solda de chumbo e medicamentos populares;

Alimentos tais como frutas, vegetais, carnes, grãos, frutos do mar, bebidas suaves e vinhos;

Outras fontes de contaminação na alimentação:

Potes ou pratos de cerâmica vitrificados incorretamente, vidraria de cristal contendo chumbo, latas e chaleiras com solda a base do metal.

Cinética e Metabolismo

Fundação Oswaldo Cruz



☆ ***Compostos de Pb inorgânico penetram no organismo:***

→ inalação (importante na exposição ocupacional) ou ingestão (predominante em exposições da população em geral). Só compostos de Pb orgânico penetram pela pele íntegra;

☆ **Pb** → Não é metabolizado. Complexado por macromoléculas e diretamente absorvido, distribuído e excretado;

☆ **Absorção** → influenciada pela rota de exposição, espécie química, tamanho da partícula, solubilidade dos compostos, meio de exposição e variações individuais;

Cinética e Metabolismo



☆ *Absorção no trato gastrointestinal :*

- Varia de 2 a 16% após refeição. Porém, de 60 a 80% se administrado em jejum;**
- Mulheres grávidas e crianças absorvem 45 a 50% do Pb ingerido da dieta;**
- Influenciada por fatores nutricionais tais como ingestão de Ca, Fe, P e proteínas;**
- Possivelmente envolve mecanismo de competição com o Ca;**

Cinética e Metabolismo

- ☆ **Após absorção, Pb se distribui entre sangue (plasma e eritrócitos), tecidos moles (rins, medula óssea, fígado e cérebro) e tecidos mineralizados (ossos e dentes);**
- ☆ **Distribuição pelo organismo depende da taxa de transferência do sangue para os \neq s órgãos e tecidos;**
- ☆ **Distribuição do chumbo entre órgãos \rightarrow gradiente de concentração e da afinidade com o tecido específico. Atravessa a barreira hematoencefálica e placentária;**
- ☆ **$T_{1/2}$ chumbo: aproximadamente 25 dias sangue, 40 dias tecidos moles e > 25 anos na porção não lábil dos ossos.**

Cinética e Metabolismo



- ☆ **Distribuição:** caminho metabólico do Ca, se acumulando nos ossos e dentes. Em equilíbrio, os ossos contêm > 90% e 73% do conteúdo corpóreo total de um adulto e de uma criança, respectivamente;
- ☆ **Ossos:** depósito inerte e lábil. O Pb ósseo cortical biologicamente inerte, porém, sob certas condições → mobilizado para o sangue com aparição de sintomas tóxicos;
- ☆ **Excreção:** urina (cerca de 75 - 80%), fezes (15%), bile e secreção do trato gastrointestinal;

Aspectos Toxicocinéticos



- **Pb acumulado nos tecidos mineralizados → metabolicamente inativo, podendo ser mobilizado para o sangue em casos de deficiências alimentares, de doenças como osteoporose e, em algumas condições fisiológicas importantes, causando intoxicação aguda;**
- **Plasma: componente do sangue que contém o Pb livre para cruzar as membranas celulares e causar seus efeitos tóxicos;**
- **Durante a gravidez, existe acentuada mobilização do Pb ósseo para o sangue. Assim, a influência do estado nutricional materno e as consequências toxicológicas, tanto para a mãe como para o feto, merecem atenção.**

- ✧ O chumbo é um elemento tóxico não essencial que se acumula no organismo;
- ✧ Afeta todos os órgãos e sistemas do organismo → mecanismos de toxicidade propostos (chumbo inibe e/ou imita o cálcio e interage com proteínas) envolvem processos bioquímicos fundamentais;
- ✧ *Importante*: reversibilidade das mudanças bioquímicas e funcionais induzidas em exposição moderada;
- ✧ *Interferência do Pb* no funcionamento das membranas celulares e enzimas → efeitos através da formação de complexos com grupamentos -SH, H_3PO_3 , $-NH_2$ e $-OH$;

Efeitos nos Seres Humanos



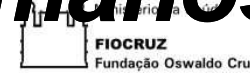
- ✧ **Órgãos críticos:** sistema nervoso, medula óssea e rins;
- ✧ **Efeitos tóxicos críticos:** distúrbios no sistema nervoso e desvios na síntese do heme;
- ✧ **Distúrbios na síntese do heme → detecção precoce de exposição, antes de aparecer sintomas clínicos.**
- **Efeitos Neurológicos**
 - ★ **Sistema Nervoso:** órgão mais sensível ao envenenamento por chumbo;
 - ★ **Encefalopatia:** sério desvio tóxico induzido pelo chumbo.

Efeitos nos Seres Humanos

➤ ***Efeitos Hematológicos***

- ★ ***Anemia*** → resultado da ação tóxica sobre as células vermelhas e eritropoiéticas na medula óssea;
- ★ ***Efeitos***: inibição da síntese da hemoglobina, diminuição do tempo de vida dos eritrócitos circulantes, resultando na estimulação da eritropoiese;
- ★ ***Efeitos hematológicos do chumbo***: fornecem indicadores bioquímicos de exposição ao chumbo na ausência de efeitos quimicamente detectáveis.

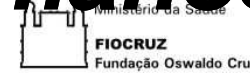
Efeitos nos Seres Humanos



➤ *Efeitos Renais*

- ★ *Efeitos tóxicos* sobre os rins → Pb-S relativamente alto;
- ★ *Dividem-se* em disfunção tubular renal reversível (exposição aguda) e nefropatia intersticial irreversível (exposição crônica);
- ★ *Associação* entre *exposição* ao chumbo e *hipertensão* → efeito mediado através dos mecanismos renais;
- ★ *Gota Saturnínica*: função tubular diminuída.

Efeitos nos Seres Humanos



➤ ***Efeitos Endócrinos***

★ **Correlação inversa forte entre os níveis de Pb-S e vitamina D;**

★ **Sistema endócrino-vitamina D responsável pela manutenção da homeostase do cálcio → o chumbo prejudica o crescimento e maturação da célula.**

➤ ***Efeitos sobre o crescimento***

★ **Associação entre Pb-S e crescimento reduzido.**

Efeitos nos Seres Humanos

➤ ***Efeitos Reprodutivos e de Desenvolvimento***

- ★ ***Evidências de efeitos adversos no sistema reprodutor masculino e feminino;***
- ★ ***Fertilidade reduzida e taxa de absorção aumentada em mulheres sob exposição excessiva;***
- ★ ***Efeitos sobre os testículos: contagem reduzida de esperma e motilidade;***
- ★ ***Atravessa a barreira placentária, causando danos fetais (viabilidade do feto e seu desenvolvimento);***
- ★ ***Conseqüências de exposição pré-natal → peso reduzido e nascimento prematuro.***

Efeitos nos Seres Humanos



- ***Efeitos Carcinogênicos***
- ★ **Classificado como carcinogênico 2B pela IARC;**
- ***Efeitos Cardiovasculares***
- ★ **Intoxicações agudas: pressão sanguínea alta;**
- ***Efeitos Gastrointestinais***
- ★ ***Cólica*: efeito precoce de intoxicação por Pb.**