

**AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA POR
METAIS PESADOS
EM SANTO AMARO DA PURIFICAÇÃO**

**CAPÍTULO VII
ROTAS DE EXPOSIÇÃO**

1. INTRODUÇÃO

O propósito deste capítulo é identificar a cada um dos cinco elementos de cada rota de exposição que possam existir em Santo Amaro da Purificação, determinando por sua vez, se estes elementos estão ligados entre si. Serão estabelecidos os parâmetros para categorizar cada rota de exposição como completa ou potencial.

1.1. IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE ROTAS DE EXPOSIÇÃO

Uma Rota de exposição é um processo que permite o contato dos indivíduos com os contaminantes originados em uma fonte de contaminação. Não é simplesmente um compartimento ambiental (solo, ar, água, etc) ou uma via de exposição (inalação, ingestão, contato); pelo contrário, inclui a todos os elementos que ligam uma fonte de contaminação com a população receptora. A rota de exposição é composta pelos seguintes cinco elementos: fonte de contaminação, Compartimento ambiental e mecanismos de transporte, Ponto de exposição, Via de exposição e População receptora. Estes elementos poderiam ocorrer no presente, no passado ou no futuro.

Fonte de contaminação: é a fonte de emissão do contaminante ao ambiente. Entretanto, no caso em que a fonte original seja desconhecida, pode ser representada pelo compartimento ambiental responsável pela contaminação de um ponto de exposição.

Compartimento ambiental e mecanismos de transporte: os compartimentos ambientais são vários, incluindo: materiais ou substâncias de resíduos, água subterrânea ou profunda (aquíferos), água superficial, ar, solo superficial, subsolo, sedimento e biota. Os mecanismos de transporte servem para mover os contaminantes através dos compartimentos ambientais, desde a fonte até os pontos onde a exposição humana pode ocorrer.

Ponto de exposição: é o lugar onde ocorre ou pode ocorrer o contato humano com o compartimento ambiental contaminado, por exemplo, uma residência, local de trabalho, parque desportivo, jardim, curso de água (rio, etc), corpo de água (lago, etc), um manancial, um poço ou uma fonte de alimentos.

Via de exposição: são os caminhos pelos quais o contaminante pode estabelecer contato com o organismo, tais como: a ingestão, a inalação e a absorção ou o contato dérmico.

População receptora: são as pessoas que estão expostas ou potencialmente (podem chegar a estar) expostas aos contaminantes de interesse em um ponto de exposição.

As diferentes rotas de exposição, mesmo que tenham um mesmo contaminante em comum, podem significar diferentes problemas de saúde. Mesmo assim, um compartimento ambiental específico ou uma via de exposição, podem chegar a ser parte de múltiplas rotas de exposição e mecanismos de transporte diferentes podem dar lugar a que as pessoas se exponham a distintas concentrações dos contaminantes.

A tabela VII-1 assinala as rotas de exposição específicas para cada compartimento ambiental.

Tabela VII-1. Rotas de exposição específica de cada meio

MEIO AMBIENTAL	ROTAS DE EXPOSIÇÃO
ÁGUA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ingestão direta. 2. Contato e reação dérmicas. Contato e reação oculares. 3. Inalação secundária pelo uso doméstico (vapor, aerossol).
SOLO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ingestão direta (principalmente crianças de 9 meses a 5 anos). 2. Contato e reação dérmicas. Contato e reação oculares. 3. Inalação de compostos químicos voláteis presentes no solo. 4. Inalação de pó.
AR	<ol style="list-style-type: none"> 1. Inalação. 2. Contato e reação dérmicas. Contato e reação oculares.
BIOTA/ CADEIA ALIMENTAR	<ol style="list-style-type: none"> 1. Consumo de plantas, animais ou produtos contaminados, secundário ao consumo de água contaminada. 2. Consumo de plantas, animais ou produtos contaminados, secundário ao consumo ou contato com solo, pó ou ar contaminado. 3. Consumo de plantas, animais ou produtos contaminados. 4. Contato dérmico com, ou reação à, plantas, animais ou produtos contaminados.
MEIOS MISCELÂNEOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ingestão direta. 2. Contato e reação dérmicas. Contato e reação oculares. 3. Inalação secundária à volatilidade ou arraste dos contaminantes de meios miscelâneos

Fonte: ATSDR (1992)

1.2. Categorização das rotas como potenciais ou completas

A rota de exposição completa ou potencial representa uma condição de exposição passada, presente ou futura. Qualquer contaminante associado com as rotas, requererá uma avaliação posterior na seção de implicações à saúde pública.

1.2.1. Rotas de exposição completa

Uma rota de exposição completa é aquela em que seus cinco elementos ligam a fonte de contaminação com a população receptora. Sem importar que a rota seja passada, presente ou futura, em todos os casos em que a rota seja completa, a população será considerada exposta.

1.2.2. Rotas de exposição potencial

Uma rota de exposição potencial ocorre quando falta um ou mais dos elementos que constituem uma rota de exposição. Uma rota de exposição potencial indica que um contaminante pode haver ocorrido no passado, que pode ocorrer no presente, ou que poderá ocorrer no futuro.

2. AVALIAÇÃO DAS ROTAS DE EXPOSIÇÃO EM SANTO AMARO

2.1. Foco Principal – Instalações da PLUMBUM

2.1.1. Solo Superficial

Até o momento do reconhecimento pelas autoridades da grave situação de risco decorrente da deposição de resíduos e das emissões atmosféricas e de efluentes, não existiam maiores controles que limitassem o acesso direto de pessoas às áreas contaminadas da usina. A utilização de resíduos como material de capeamento das ruas, logradouros e, mesmo, nas residências, em Santo Amaro da Purificação impunha, praticamente, o contato permanente de todos os residentes, principalmente nas áreas onde não houve o recobrimento da escória com asfalto, pedras ou outro material.

Conforme ficou demonstrado por meio da comparação dos dados ambientais com os valores de referência, os metais **cádmio, chumbo, cobre e zinco** foram determinados como **contaminantes de interesse** presentes no foco principal, ou seja, na área da PLUMBUM.

Durante o período de funcionamento da usina, e mesmo após a tentativa de remediação realizada na área, os solos estiveram e permanecem contaminados por altas concentrações dos contaminados assinalados. Desta forma existiu, existe e existirá – caso não se realizem procedimentos de remediação adequados – **rota de exposição completa** por solo contaminado, caracterizada pela existência comprovada dos seus cinco componentes:

Fonte: deposição das emissões atmosféricas e deposição de resíduos (escória) em diversos pontos da PLUMBUM.

Compartimento ambiental: solo contaminado em amplas áreas da PLUMBUM.

Local de exposição:

No passado: no local de trabalho, nas instalações da PLUMBUM.

No presente e futuro: nas instalações da PLUMBUM.

Vias de Exposição: as possíveis vias de exposição na área do foco principal (PLUMBUM) são por ingestão, contato dérmico e inalação de material particulado suspenso (poeira).

População Exposta: As populações expostas são as seguintes:

No passado :

a) Trabalhadores, prestadores de serviço e visitantes durante funcionamento da PLUMBUM;

b) Trabalhadores, prestadores de serviço e visitantes durante funcionamento da fábrica de guardanapos BOKALOKA.

No presente e futuro:

a) Servidores de manutenção e de vigilância nas instalações da PLUMBUM;

b) Pessoas da comunidade que, conforme presenciado durante a visita à fábrica, colhem frutas ou buscam sucatas na área da PLUMBUM.

2.1.2. Águas subterrâneas

Os dados existentes indicam que as concentrações dos metais **chumbo e cádmio** estão acima dos valores de referência e, portanto, são **contaminantes de interesse para águas subterrâneas** na área das instalações da PLUMBUM.

Não foram observadas rotas de exposição humana para as águas subterrâneas na área da PLUMBUM. Como recomendação, as águas subterrâneas na área da PLUMBUM não devem ser utilizadas para nenhum uso que resulte em exposição humana. Enquanto persistirem as condições de contaminação do solo, as águas subterrâneas na área devem ser avaliadas como uma **rota de exposição potencial futura**.

2.1.3. Alimentos

2.1.3.1. Vegetais

A comparação com os valores de referência (Portaria ANVISA 685/98) não permite a constatação de contaminantes de interesse nas amostras de vegetais alimentícios coletadas nas instalações da Plumbum. Algumas amostras, no entanto, assinalaram a presença de metais pesados. A única amostra de leite

bovino analisada, de animal que pastava nas instalações da usina, apresentou concentração de chumbo acima do valor de referência.

Durante o período de operação da usina, sob condições de emissões de contaminantes mais graves, principalmente atmosféricas, é possível ter havido exposição dos trabalhadores, seus familiares e pessoas que consumiam alimentos (vegetal ou animal) da área da usina. Durante a visita à área, notou-se a presença de pessoas da comunidade que coletavam frutas nas áreas internas da PLUMBUM.

Por estas razões, os alimentos provenientes da área da Plumbum constituem **rota de exposição potencial passada, presente e futura**, enquanto perdure a situação de contaminação.

2.2. Foco Secundário – Rio Subaé

2.2.1. Sedimentos

Os dados ambientais avaliados indicam que os metais pesados **cádmio, chumbo** (passado e presente), **cobre, mercúrio, níquel e zinco** (presente, sem dados do passado) apresentam concentrações acima dos valores de referência.

As maiores concentrações dos metais chumbo e cádmio foram encontradas nas proximidades do ponto de emissão da PLUMBUM. Isto indica, passados mais de 10 anos do fim das emissões para o rio Subaé, a retenção dos metais pelos sedimentos, próximo ao ponto de emissão, mas não permite uma avaliação sobre a mobilidade e biodisponibilidade futura dos contaminantes. O maior risco de exposição ocorre devido a possibilidade de contaminação da biota aquática comestível, principalmente moluscos e crustáceos.

Os dados existentes permitem a avaliação dos sedimentos contaminados como uma **rota de exposição completa passada, presente e futura**.

2.2.2. Biota aquática – moluscos

Os resultados dos estudos indicam concentrações de chumbo, arsênio e cádmio acima dos valores de referência.

A contaminação do rio Subaé pelas emissões da PLUMBUM já havia sido comprovada pelos resultados da amostragem de sedimento. Os manguezais que se iniciam em Santo Amaro e seguem até a foz do rio Subaé na Baía de Todos os Santos apresentam ambiente propício para a deposição e fixação dos metais. Devido a contaminação do rio Subaé pelas emissões da PLUMBUM ser um processo constante, durante o funcionamento da empresa, e também devido a forma perene da contaminação dos sedimentos, a exposição humana por moluscos contaminados existiu, existe e existirá (por um período de difícil

previsão) constituindo uma **rota de exposição completa** pela ingestão de moluscos contaminados.

É difícil prever os mecanismos de transporte dos metais contidos nos sedimentos e sua mobilização pela biota comestível. Por este motivo também é difícil prever se outros metais contidos nos sedimentos não venham – no futuro – ser mobilizados principalmente por moluscos e crustáceos, apresentando concentrações impróprias para o consumo humano.

A classificação como **rota de exposição completa** dos contaminantes **chumbo e cádmio** para os moluscos pescados no rio Subaé deve-se a presença dos cinco componentes que caracterizam uma rota de exposição:

Fonte: moluscos pescados no rio Subaé

Compartimento ambiental contaminado: moluscos pescados no rio Subaé.

Via de exposição: Ingestão de moluscos contaminados.

Local de exposição: nos locais (residências, restaurantes) onde se consomem moluscos contaminados.

População exposta:

Passado, presente e futuro:

Pessoas que consumiram, consomem e venham a consumir moluscos contaminados pescados no rio Subaé

2.3. Fora dos focos

2.3.1. Alimentos

Não foram detectadas concentrações de metais pesados acima dos valores de referência na amostragem de frutas (manga, banana) e tubérculo (aipim) realizada para o presente trabalho. No entanto, estudos anteriores (TAVARES e CARVALHO, 1992; CUNHA & ARAÚJO, 2001), detectaram os metais cádmio e chumbo em concentrações que, mesmo na inexistência de limites recomendados nas normas estabelecidas pela ANVISA, poderiam representar risco de exposição para o consumo humano. As concentrações mais elevadas encontradas por TAVARES e CARVALHO (1992), na época em que a usina ainda estava em atividade, sugere uma maior participação da contaminação pelo material particulado lançado pelas emissões atmosféricas.

Por outro lado, os dados com maiores concentrações são insuficientes no seu relato de localização e concentração de metais por espécie vegetal. Os altos teores de metais pesados comprovados em amostras de solo superficial no entorno da usina poderiam reforçar a hipótese de contaminação das plantas. No entanto, as características do solo na região, argiloso e presença mediana de matéria orgânica, atuam na fixação e baixa biodisponibilidade dos metais pesados.

De qualquer maneira, a existência de solo superficial contaminado implica na classificação dos vegetais comestíveis nas proximidades da PLUMBUM como **rota**

potencial de exposição no passado e no presente. Caso não sejam tomadas medidas de remediação quanto aos solos contaminados, os alimentos vegetais provenientes de áreas no entorno da PLUMBUM se constituirão em **rota de exposição futura.**

Em relação ao leite bovino, não foram encontrados indícios de contaminação por metais pesados nas amostras analisadas.

2.3.2. Águas subterrâneas

Os resultados obtidos assinalam que a escória utilizada na base das ruas e logradouros (70% da área central de Santo Amaro foram cobertas com a escória da PLUMBUM) não atingiu os aquíferos de captação. Esta situação pode decorrer da baixa solubilidade da escória, bem como da geologia local, caracterizada por camadas de argila de baixa permeação. Segundo dos ANJOS (1998), em estudo realizados na área da PLUMBUM, o potencial hidrogeniônico alto, a alta presença da matéria orgânica, a capacidade de troca catiônica no solo, o tipo de argilo minerais (majoritariamente montmorilonítico) e a textura do solo argilosa a muito argilosa, favoreceram os processos de retenção dos metais no solo.

Desta forma, conclui-se que as águas subterrâneas **não apresentam rota de exposição humana.**

2.3.3. Solo superficial

Sabe-se que a escória da produção de chumbo foi utilizada como material de cobertura de base em – aproximadamente – 70% das ruas e logradouros de Santo Amaro. No entanto, principalmente no centro da cidade, estas ruas e logradouros contendo escória na sua base foram cobertas com pedras e/ou asfalto, não permitindo uma exposição direta dos residentes e transeuntes.

Nesta condição, o risco de exposição humana ocorre (e já ocorreu) quando da remoção deste material em trabalhos de reparos/manutenção ou durante a colocação de redes de água pluvial e esgotos. Tal já ocorreu, por exemplo, em janeiro de 1998, através de obras de saneamento básico iniciadas pelo Programa Bahia Azul do Governo do Estado da Bahia.

As ruas próximas a fundição, por exemplo, foram escavadas e revolvidas, expondo as camadas de escória utilizadas como lastro na pavimentação daquele local. A abertura de valas em ocasiões de reparo das redes de água e esgoto, com mobilização e deposição inadequada da escória, pode representar uma **rota de exposição potencial** por solo e poeira.

Nas localidades no entorno da PLUMBUM as condições das ruas e logradouros são diferentes daquelas existentes nas áreas mais centrais da cidade. Aqui

observa-se, com exceção da Av. Rui Barbosa, ruas e residências - onde se utilizou escória nas suas bases – sem nenhuma cobertura isolante.

A contaminação do solo, como observado, ocorre nas imediações, até 500 metros de distância da PLUMBUM, principalmente na localidade “Caixa d’Água”. A origem desta contaminação, presume-se, decorre da utilização de escória como material de aterramento em toda área, bem como pela emissão atmosférica de material particulado pela metalúrgica durante seu funcionamento.

A existência de solo contaminado sem cobertura, e sua existência sob estas condições desde a criação desta povoação na década de 70, apresenta **rota de exposição completa no passado, no presente e no futuro**, caso não sejam tomadas medidas de remediação.

Vias de exposição: as vias de exposição na área assinalada ocorre por ingestão, contato dérmico e inalação de material particulado suspenso (poeira).

População exposta: os grupos de população exposta são os seguintes:

Passado, presente e futuro: populações que residem na localidade “Caixa d’Água” – em toda sua extensão - e Avenida Rui Barbosa, nas residências com solo exposto nos seus quintais.

No futuro: população próxima e trabalhadores em eventos de abertura de valas e galerias durante serviços de reparo ou implantação de redes subterrâneas em ruas e logradouros onde tenha havido a deposição de escória.

2.3.4. Poeira domiciliar

Conforme se observa nos resultados obtidos, os metais **chumbo, cádmio, cobre e zinco** apresentam concentrações acima dos valores de referência.

A principal fonte da poeira domiciliar contaminada durante o período de atividade da usina metalúrgica era as emissões atmosféricas de material particulado. No entanto, decorridos mais de dez anos de paralisação da usina, ainda se observa concentrações elevadas de metais pesados nas amostras de poeira domiciliar.

Isto indica que o solo superficial, contaminado, continua emitindo material particulado com concentrações que provocam a exposição humana. Esta situação deverá permanecer inalterada enquanto não forem realizadas medidas de remediação eficazes no solo superficial contaminado.

Desta forma, a poeira domiciliar se constitui em **rota de exposição completa no passado, no presente e no futuro**.

2.3.5. Roupas e utensílios de trabalho

TAVARES et al. (1989) reportaram que, durante seus levantamentos de campo, foram informados sobre a existência de 500 peças de tecidos utilizados nos filtros de retenção das emissões de material particulado que teriam sido levados pelos trabalhadores para suas residências. Estes materiais de filtro, altamente contaminado com os metais emitidos, eram utilizados como carpetes, tapos e outros usos domésticos.

Estes dados foram também confirmados durante as entrevistas pelos ex-trabalhadores da usina. Além disso, as roupas de trabalho eram levadas para casa aumentando as possibilidades de exposição de suas famílias aos contaminantes.

Estes fatos permitem a classificação de roupas e utensílios de trabalho como uma **rota completa de exposição no passado**, durante o período de operação da usina.

A tabela VII-2 apresenta um resumo das rotas de exposição observadas em Santo Amaro da Purificação.

Tabela VII- 2: Rotas de exposição aos contaminantes laçados pela PLUMBUM, Santo Amaro da Purificação-BA, 2003.

ROTA	ELEMENTOS DA ROTA DE EXPOSIÇÃO					TEMPO
	FONTE	MEIO AMBIENTE	PONTO DE EXPOSIÇÃO	VIA DE EXPOSIÇÃO	POPULAÇÃO RECEPTORA	
Solo superficial	-Foco principal - Focos secundários	Solo superficial	Residências, áreas de lazer, ruas na “Caixa d’Água”	- Ingestão, - Contato dérmico	Residentes da Localidade “Caixa d’Água”	Passado, Presente e Futuro
Alimentos	-Foco principal - Rio Subaé	Alimentos (Vegetais)	Residências	Ingestão	Residentes da Localidade “Caixa d’Água”	Passado, Presente e Futuro
Alimentos	-Foco secundário (Rio Subaé)	Alimentos (moluscos e crustáceos)	Residências	Ingestão	-Comunidades pescadores -Consumidores	Passado, Presente e Futuro
Ar ambiente	-Foco principal - Focos secundários Residências	Poeira domiciliar	- Residências, - ruas - Áreas de lazer	Inalação	Residentes da Localidade “Caixa d’Água”	Passado, Presente e Futuro
Roupas e utensílios de trabalho	-Foco principal - Focos secundários Residências	Roupas Utensílios	Residências dos trabalhadores da Plumbum	- Inalação - Contato dérmico	-Trabalhadores da Plumbum	Passado

Fonte: AMBIOS (2003)