

**7ª Reunião do GT - Gerenciamento de Áreas Contaminadas  
CONAMA - 25 e 26 de julho de 2007**

**MODELO DE AVALIAÇÃO DE RISCO UTILIZADO  
PELA CETESB PARA DERIVAÇÃO DOS VALORES  
ORIENTADORES DE INTERVENÇÃO NO ESTADO DE  
SÃO PAULO**

**Msc Eng. Agro. Claudio Luiz Dias**

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB)  
Gerente do Setor de Qualidade de Águas Subterrâneas (ESSS)  
e-mail: [claudiod@cetesbnet.sp.gov.br](mailto:claudiod@cetesbnet.sp.gov.br)



SECRETARIA DO  
MEIO AMBIENTE



**Os Valores Orientadores são instrumentos para a avaliar a qualidade do solo e da água subterrânea a fim de prevenir, controlar e gerenciar a contaminação desses meios por substâncias químicas.**

**Valor Orientador de Intervenção:** é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem **riscos potenciais**, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerado um cenário de exposição padronizado.



SECRETARIA DO  
MEIO AMBIENTE



**Segundo revisão de literatura, quando os países estabelecem valores orientadores (que recebem diferentes nomes), o fazem no âmbito Federal.**

**Nos Estados Unidos, os valores orientadores genéricos para solos - Soil Screen Levels - SSL são nacionais. Há ainda valores regionais para definir metas de remediação denominados de PRG - *Preliminary Remediation Gols.***

**Na Comunidade Européia, estão sendo realizados trabalhos para a harmonização de metodologias de cálculo de risco e critérios de estabelecimento de valores orientadores e de remediação de áreas contaminadas - **HERACLES HUMAN AND ECOLOGICAL RISK ASSESSMENT FOR CONTAMINATED LAND IN EUROPEAN MEMBER STATES.****



SECRETARIA DO  
MEIO AMBIENTE



GOVERNO DO ESTADO DE  
**SÃO PAULO**  
RESPEITO POR VOCÊ

AUSTRÁLIA			SUÉCIA		REINO UNIDO			HOLANDA		ALEMANHA			
HUMAN INVESTIGATION LEVELS - HILS			GUIDELINE VALUES		ACTION TRIGGER VALUE			INTERVENTION VALUES		ACTION VALUES			
A	D	F			JD,A	P,L	R	GLC-C		Pi	Res/Pa	Res	Ind/Co

ESPANHA			ESTADOS UNIDOS				CANADÁ		
NÍVEIS GENÉRICOS DE REFERÊNCIA - NGRS			PRGS USEPA REGION 9-		SSLS USEPA FEDERAL		SOIL QUALITY GUIDELINES - SQGS		
Indust	Urb	Outros	Resid	Indust	Resd	Indust.	Res/Pa	Com	Indust

Austrália: **A = Residencial – com alto grau de exposição de crianças ao solo - (ex.: creches, pré-escolas); D = Residencial sem contato com solo – prédios; F = Comercial/Industrial.**

Reino Unido: **JD, A - Jardins Domésticos, Área Agrícola (hortas arrendadas); P, L - Parques, gramados e espaços para lazer (comparado a parques urbanos); R - Construções, e áreas pavimentadas (comparado ao residencial e comercial); GLC-C – postos de serviços de gasolina ;**

Alemanha: **Pi = parques infantis; Res= áreas residenciais; PRe= parques de recreacionais e I/C = industrial/comercial.**

Canadá : **R/PA = Residencial/Parques; Co = Comercial; Ind = Industrial**



SECRETARIA DO  
MEIO AMBIENTE



**O Valor Orientador de Intervenção** no Estado de São Paulo é um “valor de corte” para desencadear a exigência de uma investigação detalhada, na qual a extensão das eventuais contaminações será delimitada e uma avaliação de risco específica para as condições locais será executada.

A **ferramenta** para definir esse “valor de corte” é a **avaliação de risco à saúde humana**, considerando um cenário de exposição padronizado em função de diferentes usos do solo.



SECRETARIA DO  
MEIO AMBIENTE



# VALORES DE INTERVENÇÃO PARA SOLOS FORAM DERIVADOS PARA 3 CENÁRIOS DE EXPOSIÇÃO PADRONIZADOS



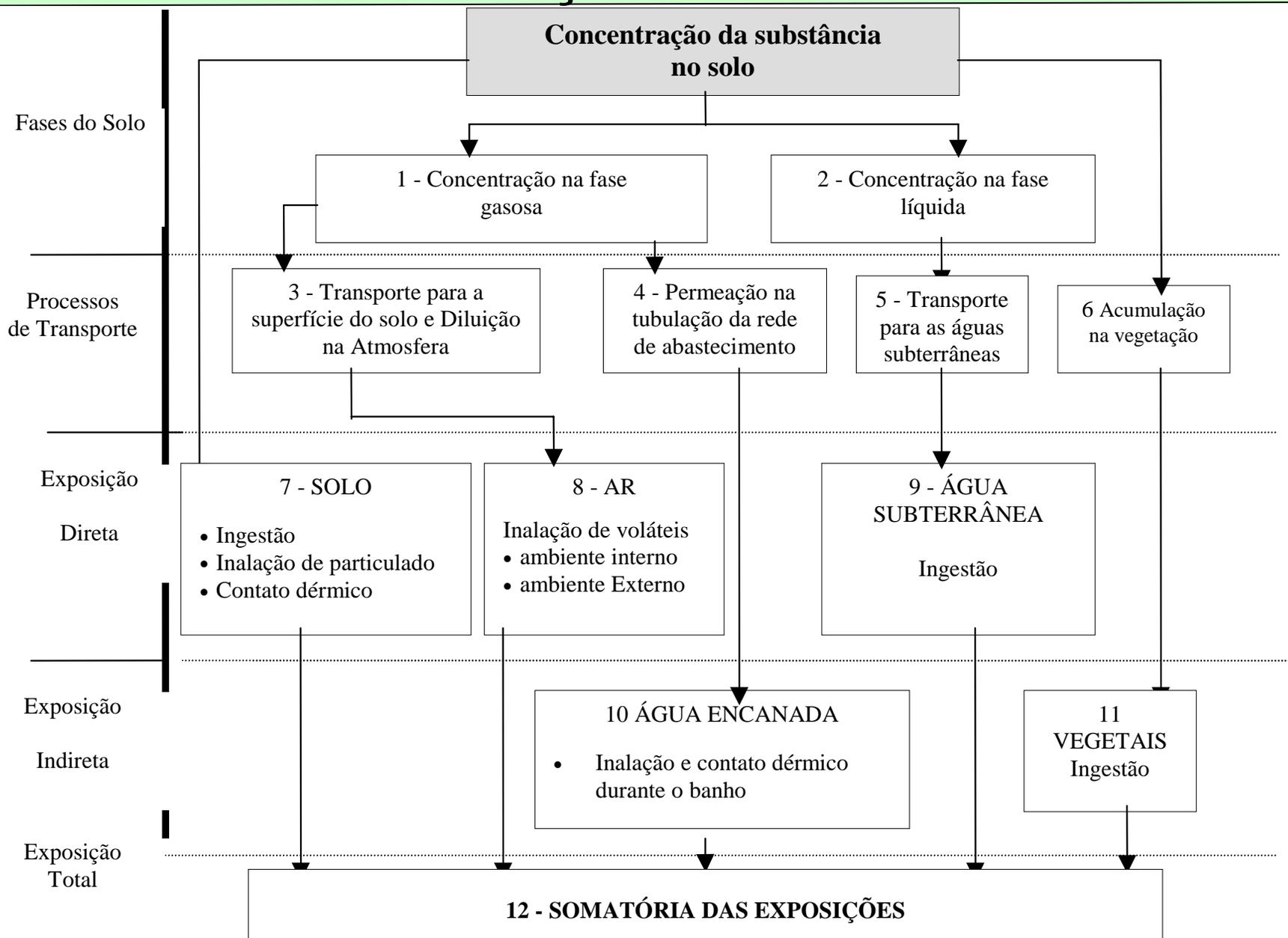
**Cenário de exposição padronizado:** é o conjunto de todas as variáveis sobre as substâncias, o meio físico e receptores, necessárias para a avaliação da exposição em função dos diferentes usos do solo.



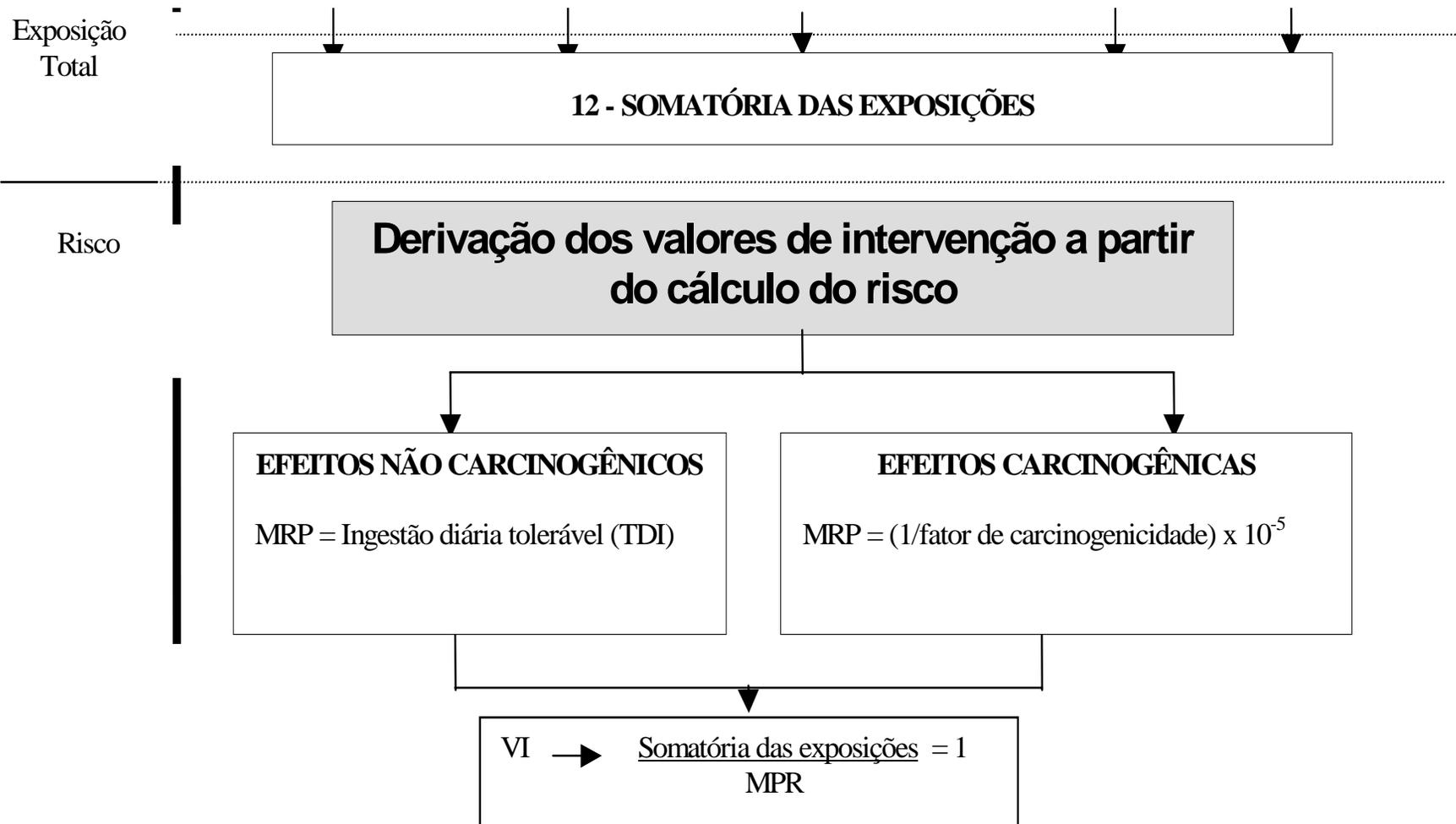
**Risco** - probabilidade de ocorrência de um efeito adverso à saúde como resultado de uma **exposição** à substâncias tóxicas.

**Avaliação de risco** - estimativa da **exposição**

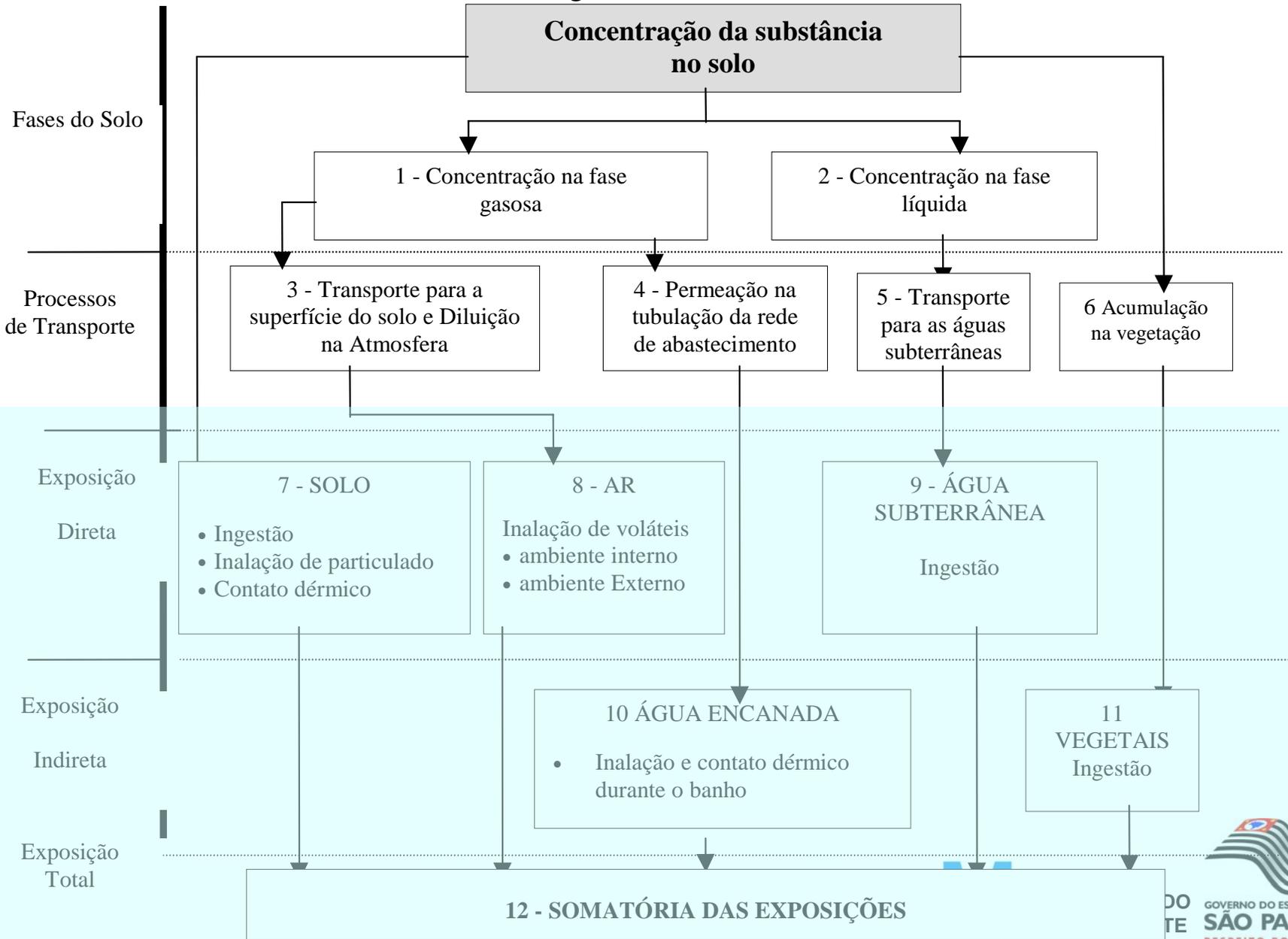
# AVALIAÇÃO DE RISCO PARA DERIVAÇÃO DE VALORES DE INTERVENÇÃO PARA SOLO



# AVALIAÇÃO DE RISCO PARA DERIVAÇÃO DE VALORES DE INTERVENÇÃO PARA SOLO



# AVALIAÇÃO DE RISCO PARA DERIVAÇÃO DE VALORES DE INTERVENÇÃO PARA SOLO



# DISTRIBUIÇÃO NAS FASES DO SOLO E TRANSPORTE

## PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DAS SUBSTÂNCIAS

- peso molecular;
- pressão de vapor a 25°C;
- solubilidade em água a 25°C;
- coeficiente de partição da substância entre solo-água ( $K_d$ )
- coeficiente de partição octanol-água ( $K_{ow}$ );
- coeficiente de partição da substância entre solo-água corrigido pela fração de matéria orgânica ( $K_{oc}$ );
- Fator de bioconcentração (BCF).

# DISTRIBUIÇÃO NAS FASES DO SOLO E TRANSPORTE

## CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS CENÁRIOS DE EXPOSIÇÃO

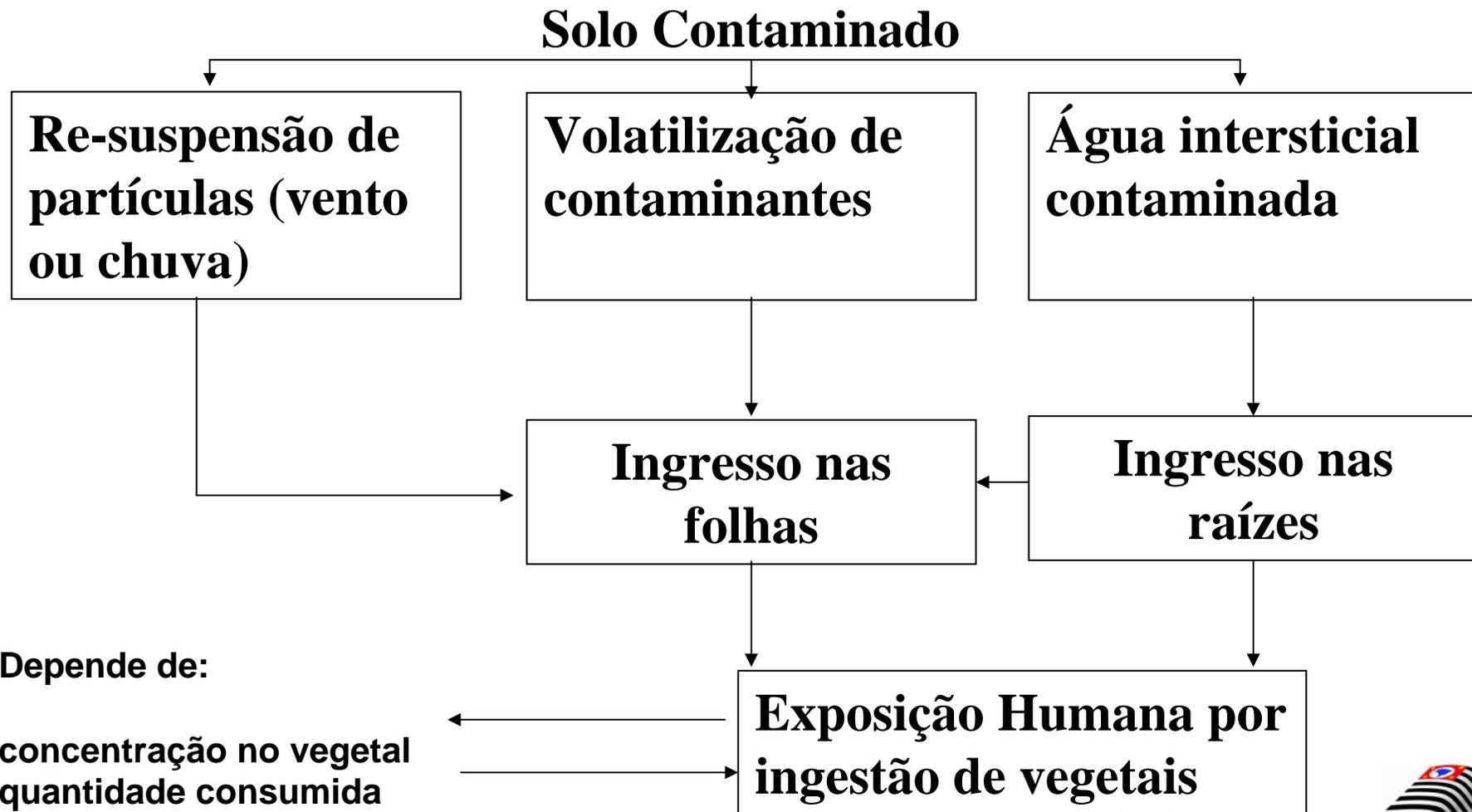
- Porosidade total do solo
- Umidade do solo
- Densidade aparente
- Conteúdo de Carbono Orgânico
- Temperatura do solo
- Velocidade do vento em diferentes alturas
- Área da contaminação
- Profundidade de contaminação
- Espessura do concreto 0,1m
- Volume de ar em banheiros - 6m<sup>3</sup>
- Variáveis dependentes dos Cenários

Cenários de exposição		Agr	Resid	Industrial
Taxa de renovação de ar	V/h	1,25	0,50	0,75
Altura da construção	m	2,00	2,00	2,50
Área da construção	m <sup>2</sup>	50,00	50,00	200,00

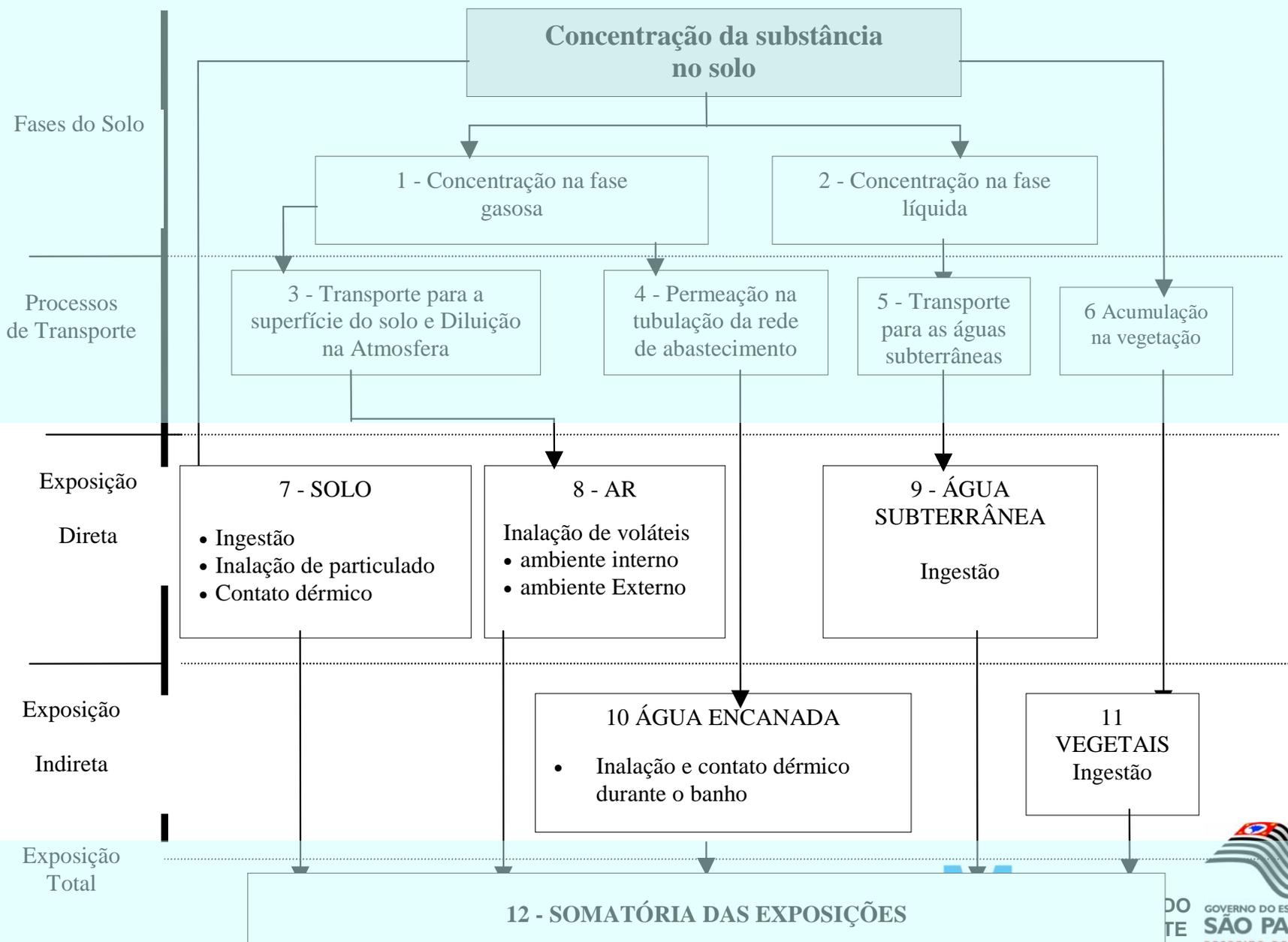
# BIOCONCENTRAÇÃO EM VEGETAIS

(Modelo Trapps & Matthies)

Modelo conceitual de ingresso de contaminantes em plantas



# AVALIAÇÃO DE RISCO PARA DERIVAÇÃO DE VALORES DE INTERVENÇÃO PARA SOLO



# EXPOSIÇÕES DIRETAS E INDIRETAS

## CARACTERIZAÇÃO DE POPULAÇÃO

**Peso corpóreo** - 70 kg para adultos

**Quantidade de solo ingerido**

**Área corpórea total**

**Área corpórea parcial ou área descoberta da pele**

**Volume de ar inalado**

**Consumo diário de vegetais** (folhas, frutos e tubérculos)

**Consumo diário de água**, 2 L/dia, para adultos, 1 L/dia para crianças.

**Tempo de Permanência** - variável nos diferentes cenários

**Expectativa de vida** - 70 anos -> 64 como adulto e 6 anos como criança.



SECRETARIA DO  
MEIO AMBIENTE



# EXPOSIÇÕES DIRETAS E INDIRETAS

## VIAS DE EXPOSIÇÃO

**ingestão** de água, solo e tubérculos, folhas e frutos cultivados na área contaminada;

**inalação** de material particulado originado de um solo contaminado e vapores; e

**contato dérmico** com o solo/poeira e com a água durante o banho.



**Assim, para avaliação o risco em um cenário de exposição padronizado é preciso definir as variáveis de exposição requeridas pelo modelo utilizado.**

**Isso demanda tempo para compilação de dados nacionais existentes e investimentos em pesquisas para gerar dados não existentes.**

**O estabelecimento de valores de intervenção é um processo dinâmico, e estes são atualizados quando novos conhecimentos são adquiridos.**

# DEMONSTRAÇÃO DO MODELO



SECRETARIA DO  
MEIO AMBIENTE



## Influência do pH do solo nos cálculos dos valores de intervenção

O pH é utilizado para calcular a fração não dissociada da substância orgânica -  $f_{nd}$ , a partir da Constante de Dissociação Ácida – pKA, por meio da seguinte fórmula:

$$f_{nd} = 1/(1+10^{(pH-pKA)})$$

A constante de dissociação ácida é utilizada no cálculo do Coeficiente de partição solo-água corrigido para o carbono orgânico -  $K_{oc}$

# AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE ALGUNS PARÂMETROS NO RESULTADO FINAL DA MODELAGEM DE AVALIAÇÃO DE RISCO

## Influência do pH do solo nos cálculos dos valores de intervenção

substâncias que possuem pKA:

Cianeto, Fenol, p-Cresol, Catechol, Resorcinol, Hidroquinona, o-Cresol, m-Cresol, HCN , 2-Clorofenol, 3-Clorofenol, 4-Clorofenol, 2,3-Diclorofenol, 2,4-Diclorofenol, 2,5-Diclorofenol, 2,6-Diclorofenol, 3,4-Diclorofenol, 3,5-Diclorofenol, 2,3,4-, riclorofenol, 2,3,6-Triclorofenol, 3,4,5-Triclorofenol, 3,4,5-Triclorofenol, 2,4,6-Triclorofenol, 2,4,5-Triclorofenol, 2,3,4,5-Tetraclorofenol, 2,3,4,6-Tetraclorofenol, 2,3,5,6-Tetraclorofenol, Pentaclorofenol.

**Alterações do pH do solo não resultam em nenhuma alteração do valor de intervenção**



SECRETARIA DO  
MEIO AMBIENTE



GOVERNO DO ESTADO DE  
**SÃO PAULO**  
RESPEITO POR VOCÊ

## Influência da **Temperatura** do solo nos cálculos dos valores de intervenção

A temperatura do solo influencia o cálculo do Coeficiente de partição ar-água  $K_{lw}$ , que influencia o grau de evaporação do contaminante  $K_{wa}$ :

$$K_{lw} = \frac{V_p}{S \cdot R \cdot T}$$

VP = vapor de pressão

S = solubilidade

R = constante dos gases

T = temperatura

E também a constante de capacidade de fugacidade em ar  $Z_a = 1/R \cdot T$ , que influencia o cálculo da partição da massa do contaminante nas frações sólida, gasosa e líquida.

# AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE ALGUNS PARÂMETROS NO RESULTADO FINAL DA MODELAGEM DE AVALIAÇÃO DE RISCO

## Influência da **Temperatura** do solo nos cálculos dos valores de intervenção

Na prática **não tem influência**.

Exemplo:

Benzeno em cenário residencial.

Temperatura de 289K (25 °C)  
Valor de intervenção de 0,08 mg/kg

Temperatura de 500K (227 °C)  
Valor de intervenção de 0,10 mg/kg

Temperatura de 100K (-173 °C)  
Valor de intervenção de 0,05 mg/kg

# AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE ALGUNS PARÂMETROS NO RESULTADO FINAL DA MODELAGEM DE AVALIAÇÃO DE RISCO

## Influência da profundidade do nível d'água do solo nos cálculos dos valores de intervenção

A profundidade do nível d'água - DG indica também a profundidade da contaminação, pois foi padronizado que a contaminação encontra-se no limite superior da franja capilar.

Aumentando a profundidade do nível d'água, o valor de intervenção de substâncias voláteis fica mais permissivo, mas **com pouca significância**. Não interfere no caso de substâncias inorgânicas ou pouco voláteis.

Exemplo: Benzeno em cenário residencial

DG = 1,5 m

DG = 3,0 m

VI = 0,08 mg/kg

VI = 0,092 mg/kg



SECRETARIA DO  
MEIO AMBIENTE



# AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE ALGUNS PARÂMETROS NO RESULTADO FINAL DA MODELAGEM DE AVALIAÇÃO DE RISCO

## Influência da **matéria orgânica** do solo nos cálculos dos valores de intervenção

É utilizada no cálculo do Coeficiente de partição solo-água – Kd para substâncias orgânicas, é dado pela fórmula:  $K_{oc} \cdot FOC$

A fração de carbono orgânico (FOC) **tem influência** diretamente proporcional sobre os valores calculados, para **substâncias orgânicas**.

Exemplo: Benzeno em cenário residencial.

FOC 0,0116 (2% de MO)  
VI = 0,08 mg/kg

FOC 0,0116 (5% de MO)  
VI = 0,17 mg/kg

$FOC = 0,0058 \times \% \text{ de matéria orgânica}$



SECRETARIA DO  
MEIO AMBIENTE



## Influência do **peso corpóreo** nos cálculos dos valores de intervenção

O peso corpóreo tem grande influência no cálculo do valor de intervenção pois as doses toxicológicas são dadas em mg por quilograma de peso corpóreo por dia.

**Diminuindo** o peso corpóreo, o valor de intervenção fica **mais restritivo**, para todas as substâncias. Para metais, quando considerado apenas o risco à criança, a influência dessa variável é muito mais significativa.

# AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE ALGUNS PARÂMETROS NO RESULTADO FINAL DA MODELAGEM DE AVALIAÇÃO DE RISCO

## Influência do **peso corpóreo** nos cálculos dos valores de intervenção

Exemplos:

Chumbo cenário residencial.

Peso criança = 15 kg

VI = 250 mg/kg

Peso criança = 10 kg

VI = 170 mg/kg

Benzeno em cenário residencial

Peso criança = 15 kg

Peso adulto = 70 kg

VI = 0,08 mg/kg

Peso criança = 10 kg

Peso adulto = 60 kg

VI = 0,07 mg/kg

É necessário avaliar se em áreas sujeitas a contaminação, há significativas variações de parâmetros populacionais médios, nas diferentes regiões do país.



SECRETARIA DO  
MEIO AMBIENTE



GOVERNO DO ESTADO DE  
**SÃO PAULO**  
RESPEITO POR VOCÊ

**No Estado de São Paulo, assim como no Brasil há regiões com diferentes características do solo e diferenças populacionais.**

**Entretanto, a prática do uso dos valores orientadores, por 6 anos, tem demonstrado que é eficiente um valor único para todo o Estado.**

**As diferenças regionais são contempladas quando da avaliação de risco caso-a-caso, que definirá se a área será cadastrada como “contaminada”.**

**Para substâncias não contempladas na lista de valores orientadores, o órgão ambiental adota valores internacionais para a tomada de decisão quanto à necessidade de maiores investigações da área.**

**Isto se repete para outros meios como o ar, água superficial e sedimentos, bem como vegetação.**

# VALORES DE INTERVENÇÃO PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA

SEGUNDO A LEI FEDERAL 9.433, QUE DISPÕE SOBRE A POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS, A ÁGUA É UM RECURSO NATURAL QUE EM CASO DE ESCASSEZ, O **USO PRIORITÁRIO É O CONSUMO HUMANO** E A DESSEDENTAÇÃO DE ANIMAIS, SENDO QUE A GESTÃO DO RECURSO HÍDRICO DEVE SEMPRE PROPORCIONAR O USO MÚLTIPLO DAS ÁGUAS.

RELEMBRANDO, O **VALOR DE INTERVENÇÃO** É A CONCENTRAÇÃO DE UMA DETERMINADA SUBSTÂNCIA NO SOLO E **NA ÁGUA SUBTERRÂNEA** ACIMA DA QUAL EXISTEM RISCOS POTENCIAIS DIRETOS E INDIRETOS DE EFEITOS ADVERSOS À SAÚDE, CONSIDERADO UM CENÁRIO DE EXPOSIÇÃO PADRONIZADO.

DESTA FORMA, A CETESB ADOTOU COMO VALORES DE INTERVENÇÃO PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA, OS **PADRÕES DE POTABILIDADE** DEFINIDOS PELO MINISTÉRIO DA SAÚDE.



SECRETARIA DO  
MEIO AMBIENTE



GOVERNO DO ESTADO DE  
**SÃO PAULO**  
RESPEITO POR VOCÊ

# VALORES DE INTERVENÇÃO PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA

NO BRASIL, O MINISTÉRIO DA SAÚDE PUBLICOU A PORTARIA 518/04, QUE CONTÉM OS PADRÕES DE POTABILIDADE, ADAPTANDO OS VALORES DE POTABILIDADE DERIVADOS PELA OMS (WHO, 2004):

VISAM A PROTEÇÃO À SAÚDE HUMANA, PARA UM CONSUMO DE ÁGUA (2L/DIA), EXPECTATIVA DE VIDA DE 70 ANOS, PESO CORPÓREO DE 70 KG E UMA DOSE DIÁRIA PERMITIDA OU RISCO DE CÂNCER DE  $10^{-5}$ . TÊM COMO OBJETIVO DAR SUPORTE AO DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE GERENCIAMENTO DE RISCO.

NOS CASOS EM QUE ESTES VALORES FOREM EXCEDIDOS, DEVEM SER REALIZADAS INVESTIGAÇÕES DETALHADAS PARA INTERPRETAR O SIGNIFICADO DESTES FATOS SOBRE A SAÚDE HUMANA E PARA ORIENTAR AS MEDIDAS DE REMEDIAÇÃO, CONSIDERANDO AS VIAS DE EXPOSIÇÃO MAIS RELEVANTES.

**PORTANTO, POTABILIDADE = VALOR DE INTERVENÇÃO**



SECRETARIA DO  
MEIO AMBIENTE



GOVERNO DO ESTADO DE  
**SÃO PAULO**  
RESPEITO POR VOCÊ

# ESTADO DA ARTE NA DERIVAÇÃO DE VALORES ORIENTADORES NA CETESB

Com a publicação da **DECISÃO DE DIRETORIA Nº 103/2007/C/E**, de 22 de junho de 2007, que dispõe sobre o procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas, a CETESB tem:

**3 meses** para **elaboração das planilhas** para avaliação de risco para áreas contaminadas sob investigação; e

**6 meses** para **revisão da lista de valores orientadores** de intervenção, com base nas planilhas para avaliação de risco para áreas contaminadas sob investigação.

Essas planilhas serão de **domínio público**, disponibilizadas na página eletrônica da CETESB.



SECRETARIA DO  
MEIO AMBIENTE



**SEGUINDO A TENDÊNCIA INTERNACIONAL, O BRASIL DEVE TER VALORES ORIENTADORES DE INTERVENÇÃO NACIONAIS PARA SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA.**

**HÁ NECESSIDADE FOMENTO EM PESQUISAS PARA GERAR DADOS NACIONAIS E REGIONAIS PARA ALIMENTAR MODELOS DE AVALIAÇÃO DE RISCO, AVALIANDO SE EM ÁREAS SUJEITAS A CONTAMINAÇÃO, HÁ SIGNIFICATIVAS VARIAÇÕES DE PARÂMETROS POPULACIONAIS MÉDIOS.**

## REAVALIAÇÃO PERIÓDICA DOS VALORES ORIENTADORES PUBLICADOS COM BASE EM:

- AVALIAÇÃO PRÁTICA DO USO DESSES VALORES;
- RESULTADOS OBTIDOS EM PESQUISAS NACIONAIS, INCLUINDO A AVALIAÇÃO DA NECESSIDADE OU NÃO DE REGIONALIZAÇÃO;
- AVANÇOS TECNOLÓGICOS NACIONAIS E INTERNACIONAIS.

**Grato**



**SECRETARIA DO  
MEIO AMBIENTE**

