

**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



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



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.



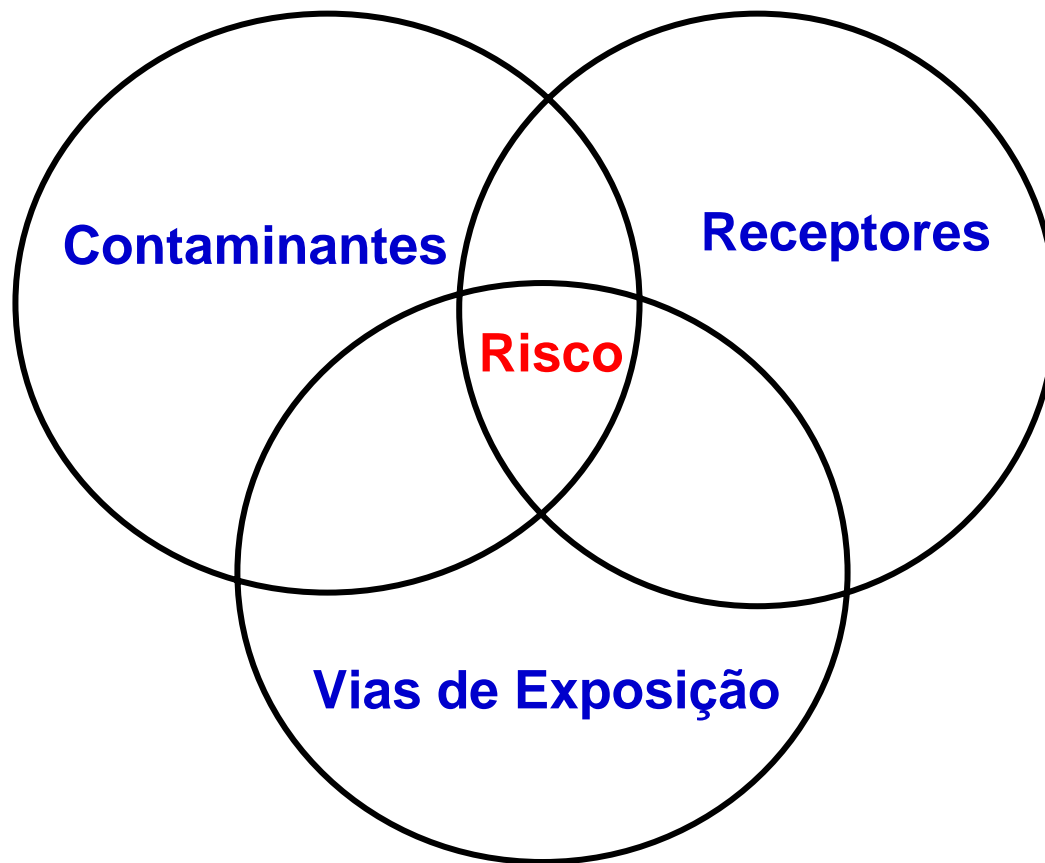
SECRETARIA DO
MEIO AMBIENTE



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



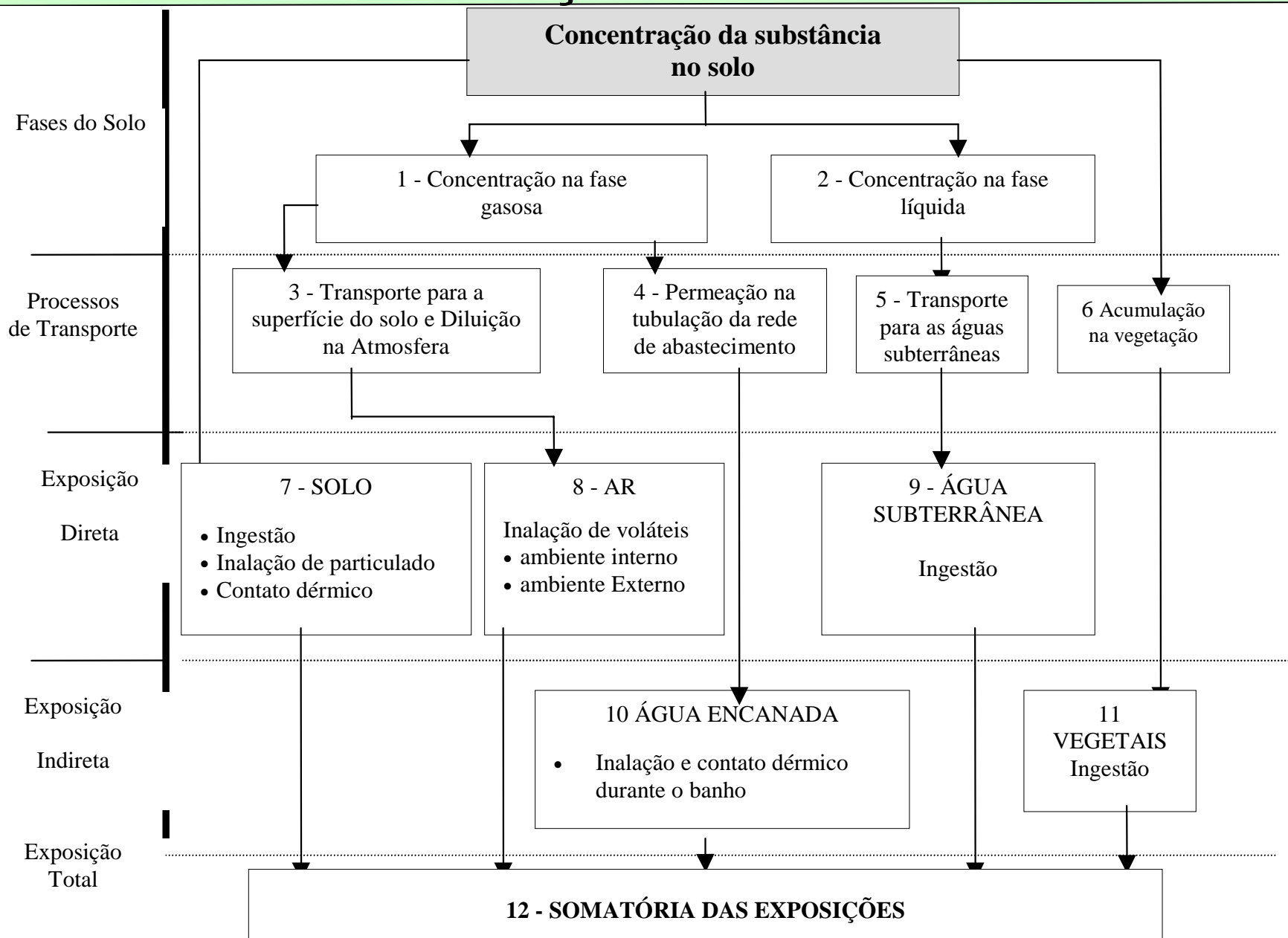
Cenário de exposição padronizado: é o conjunto de todas as variáveis sobre as substâncias, o meio físico e receptores, necessárias para a avaliação da exposição em função dos diferentes usos do solo.



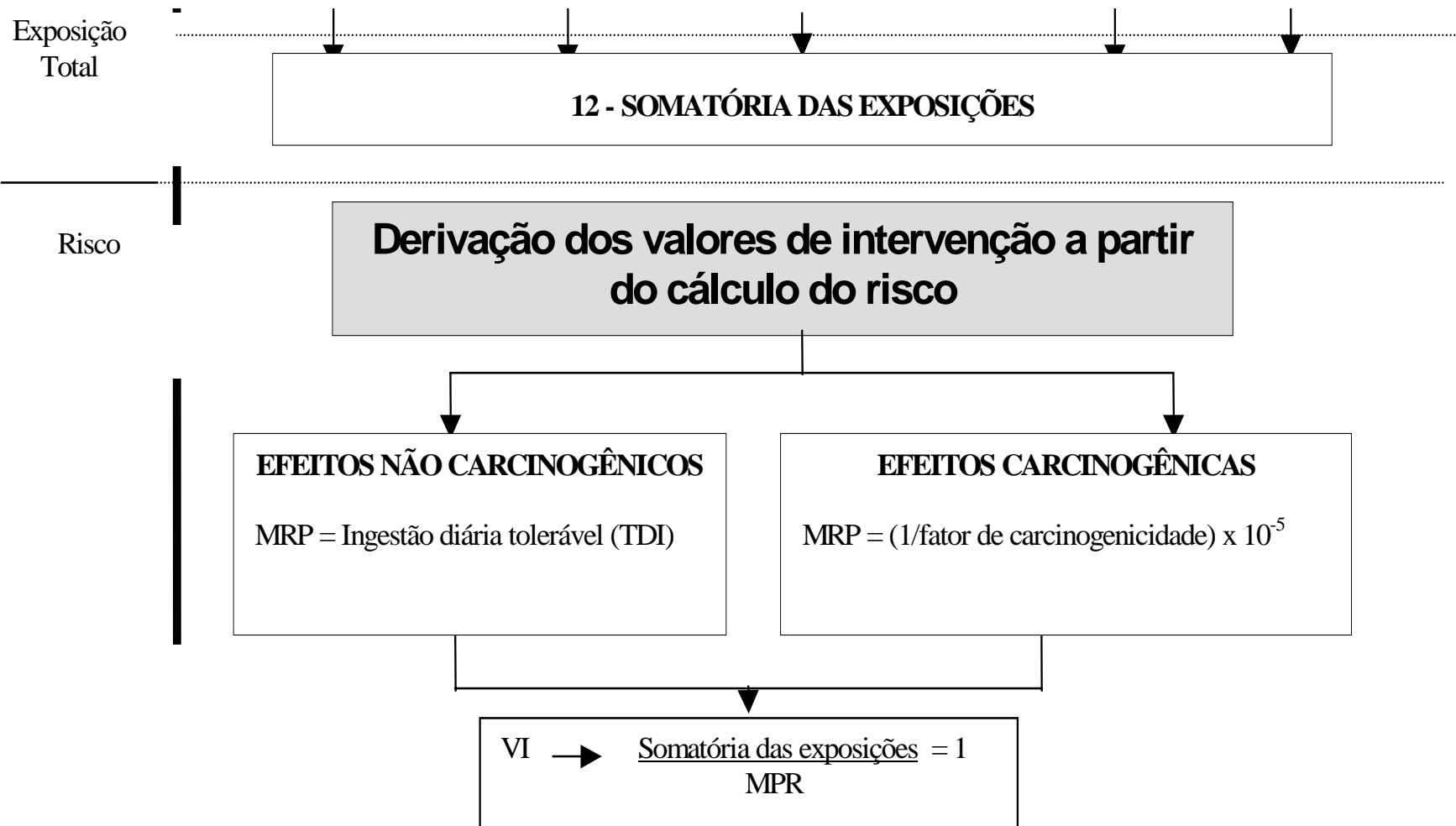
Risco - probabilidade de ocorrência de um efeito adverso à saúde como resultado de uma **exposição** à substâncias tóxicas.

Avaliação de risco - estimativa da **exposição**

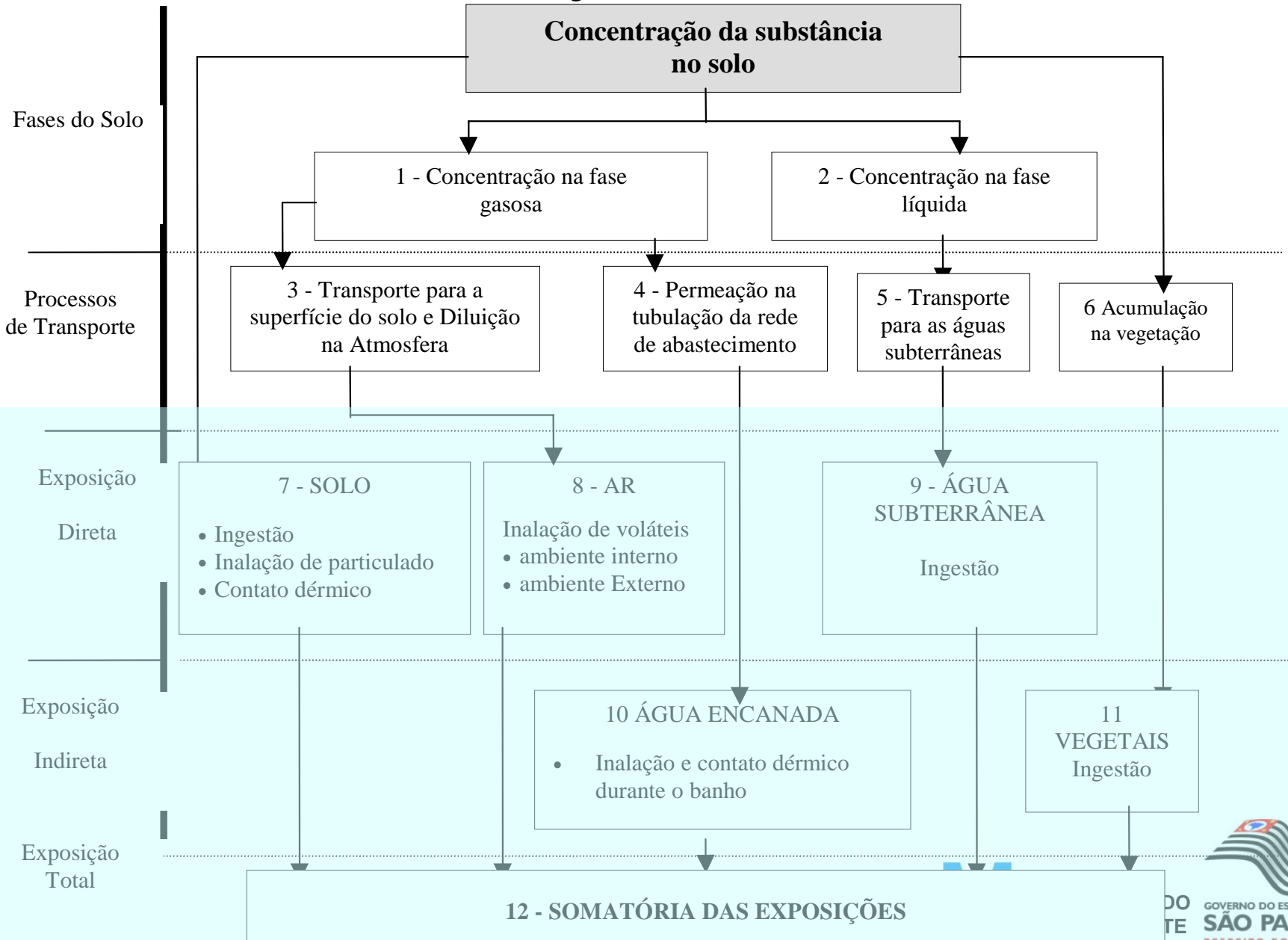
AVALIAÇÃO DE RISCO PARA DERIVAÇÃO DE VALORES DE INTERVENÇÃO PARA SOLO



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 - 6m³

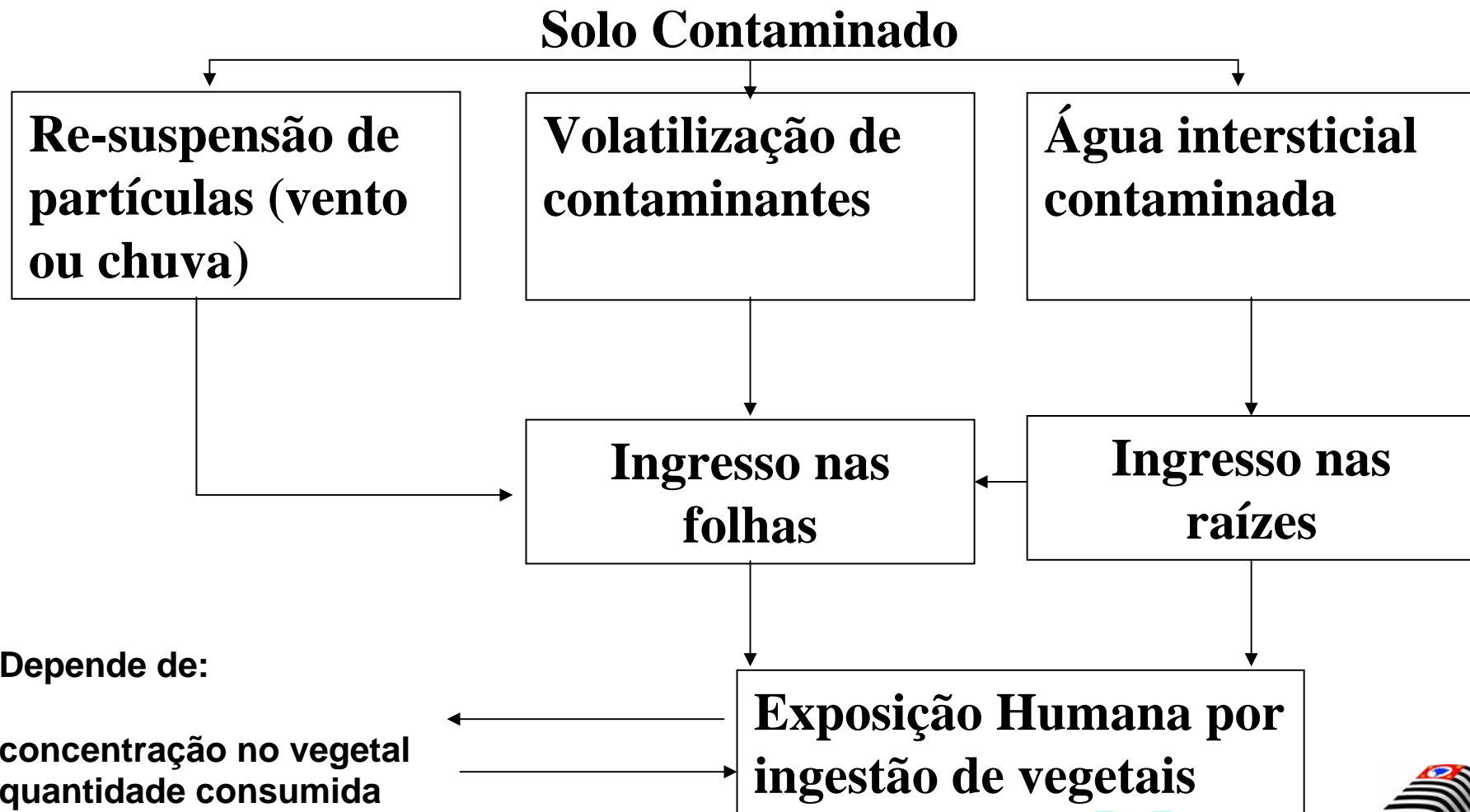
- Variáveis dependentes dos Cenários

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 ²	50,00	50,00	200,00

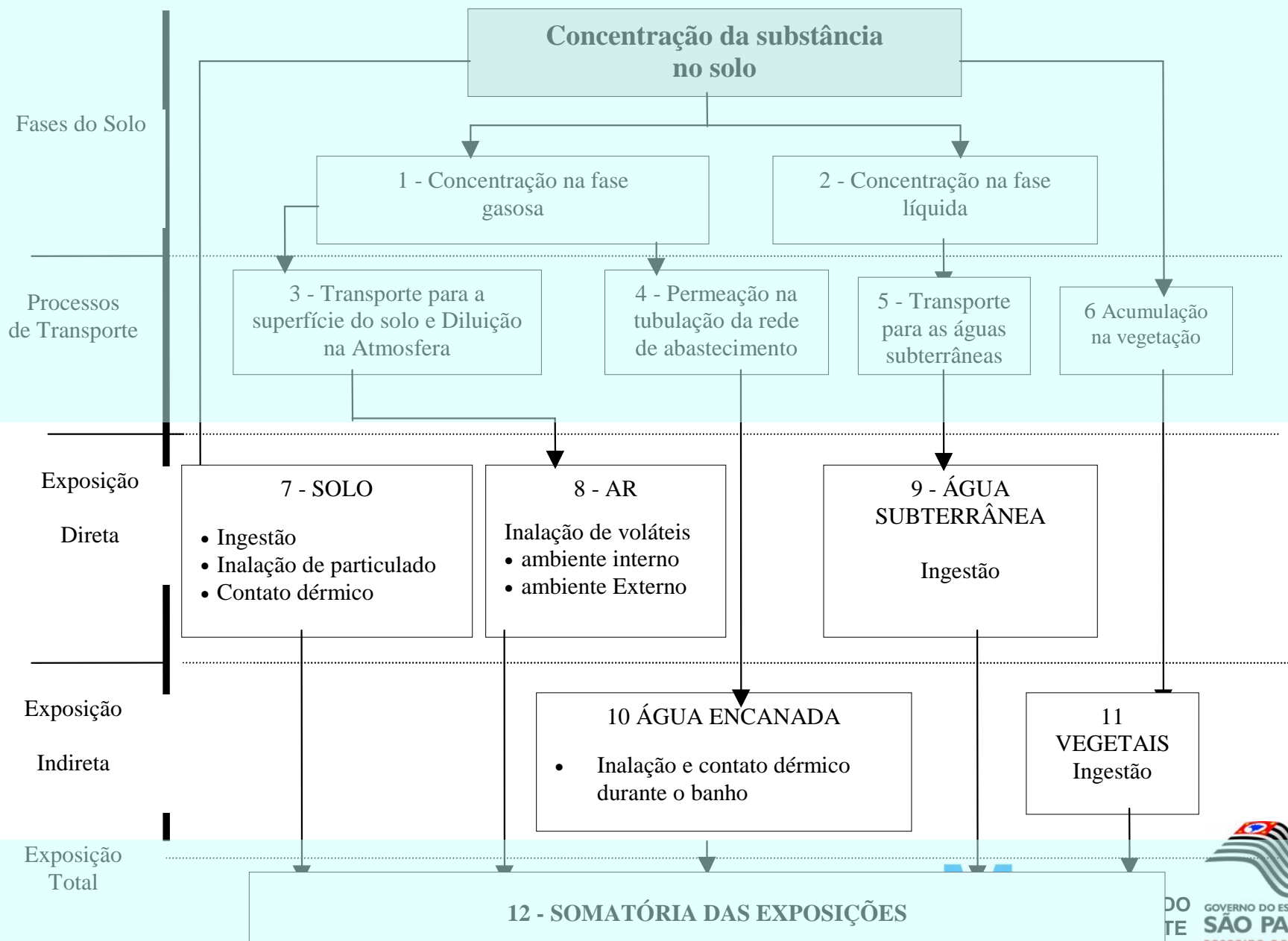
BIOCONCENTRAÇÃO EM VEGETAIS

(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.



**SECRETARIA DO
MEIO AMBIENTE**



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



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.

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**

