



XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

A influência da variação temporal das concentrações de exposição em áreas contaminadas no cálculo do risco à saúde humana

Karina Lopes Joussef, kajoussef@yahoo.com.br

Orientador: Prof. Henry Xavier Corseuil, corseuil@ens.ufsc.br

Bonito, 24 de outubro de 2012.

INTRODUÇÃO

Contaminação de solo e de águas subterrâneas por derivados de petróleo

→ { magnitude do impacto ambiental;
potencial dano à saúde decorrente de efeitos carcinogênicos.

Benzeno
Tolueno
Etilbenzeno
Xilenos



AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA

Caracterizar os potenciais efeitos de substâncias específicas sobre a saúde de indivíduos ou populações (NRC, 1983).

metodologia → RBCA (*Risk-Based Corrective Action*) - ASTM (*American Society for Testing and Materials*)

procedimento → ACBR (Ação Corretiva Baseada no Risco) - CETESB

→ Quantificação do risco à saúde humana:

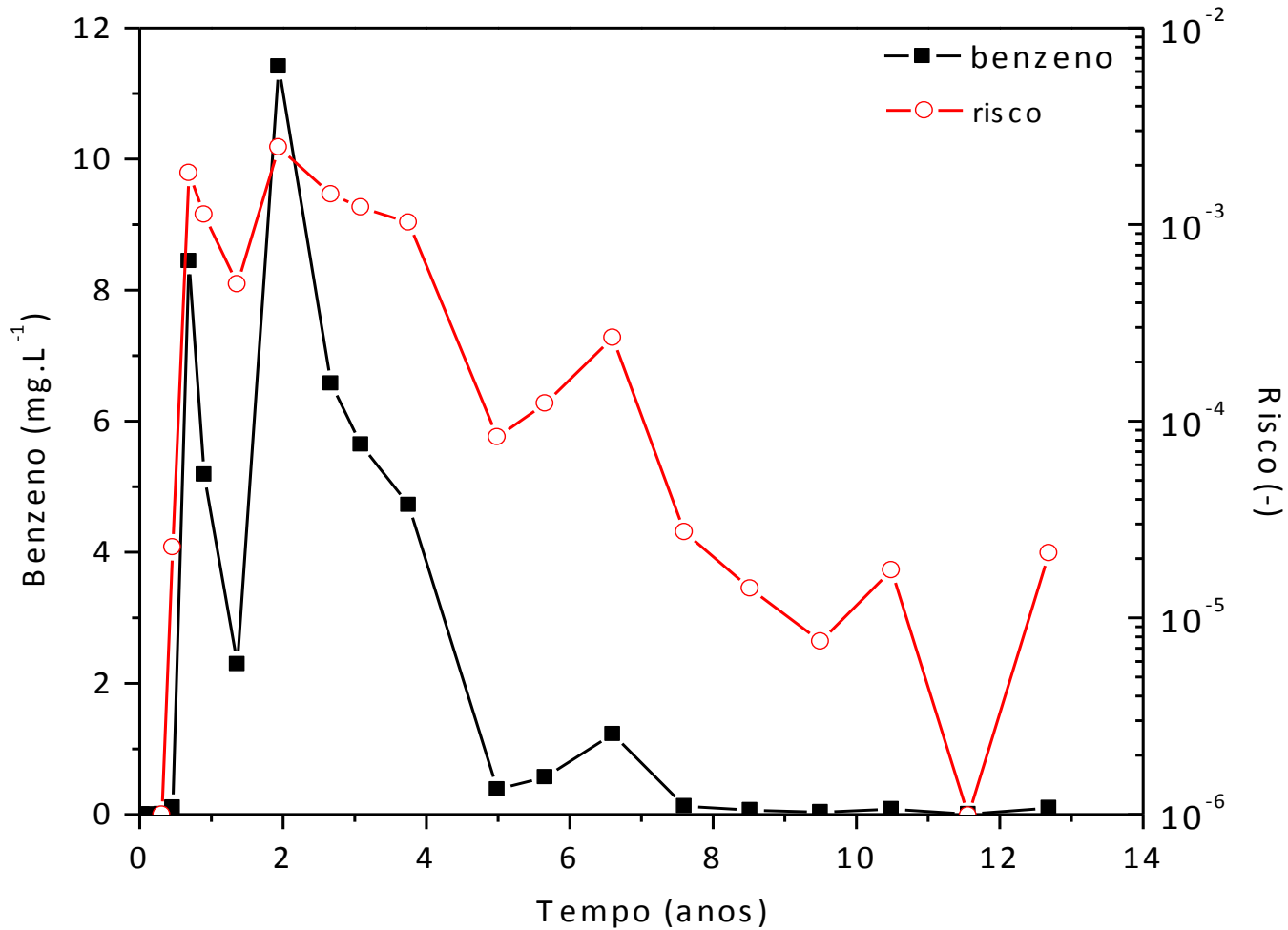
Exposição
Máxima
Razoável (EMR)

$R = I\downarrow n \times SF$
Máxima exposição razoavelmente esperada de ocorrer em um local para cenários de ~~uso atual e futuro~~ (USEPA, 1989; ASTM, 1995) concentração de exposição constante

$I\downarrow n = C \times IR \times EF \times ED / BW \times AT$ [mg/kg.dia]

duração de exposição fixa (25-30 anos)

→ Compostos químicos → processos de dissolução, transporte e biodegradação no meio impactado, responsáveis pela redução de sua massa e de suas concentrações ao longo do tempo (Wiedemeier et al, 1999).



INTRODUÇÃO

➔ USEPA, 1992: UCL 95% (concentração média com limite superior de confiança de 95%)

➔ Amostragem na investigação ambiental realizada uma única vez;

Prática → concentração máxima medida

➔ Modelo matemáticos de transporte e transformação (i.e., Modflow, Bioscreen, Risc 4, RBCA Tool Kit, SCBR):

Prática → concentração máxima simulada

~~Variação das
concentrações dos
contaminantes~~

→ **Compostos não carcinogênicos:** testes toxicológicos de dose recebida (RfD – dose de referência [mg.kg.dia^{-1}])

RfD agudo

exposição intermitente e de curto período de tempo (aguda)



RfD crônico (30 anos)

exposição contínua e de longo prazo (crônica)

→ *A estimativa do risco para diferentes escalas de tempo deve considerar a influência da duração da dose sobre a toxicidade (USEPA, 2006).*

→ Banco de dados toxicológicos (RAIS – *Risk Assessment Information System* - EPA):

RfD crônica : exposições > que 7 anos

RfD subcrônica : exposições entre 2 semanas e 7 anos

Risco variável ao longo do tempo

variação

concentração dos contaminantes

duração de exposição

- **Andricevic et al. (2011)**
- **Chen, B (2009)**
→ risco não carcinogênico agudo e crônico.
- **Bién et al. (2004)**
→ mudança no tipo de uso de solo (industrial → residencial);
→ aspecto espacial: mapas de risco carcinogênico ao longo do tempo (ArcGis).

Risco total

variação

concentração dos contaminantes

duração de exposição

- **Baciocchi et al. (2010):**
→ duração de exposição efetiva (tempo para esgotamento da fonte) para diferentes tipos de solo;
→ risco carcinogênico total: somatória dos valores de risco incrementais associados a cada intervalo de tempo.

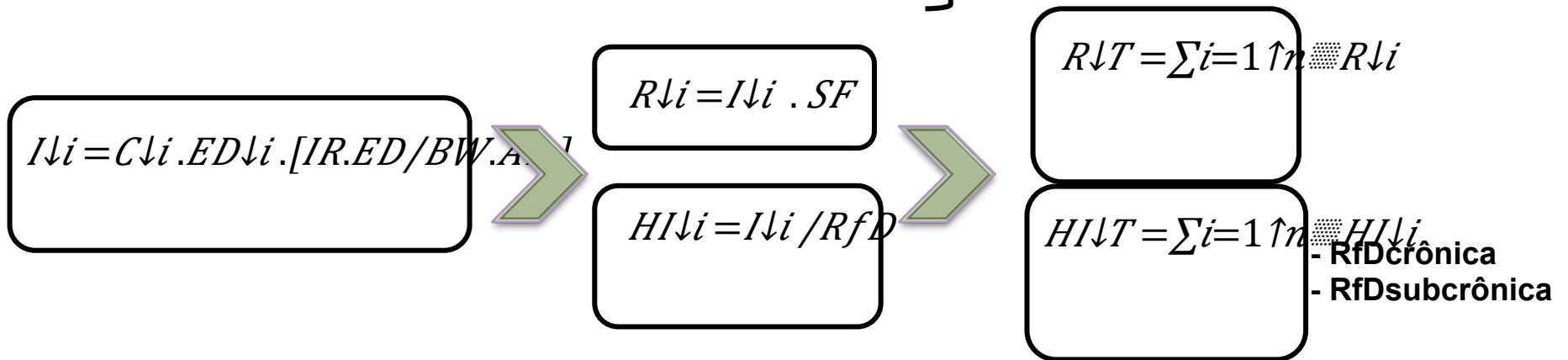
Quantificar o risco à saúde humana em função da variação das concentrações dos contaminantes em águas subterrâneas impactadas pela mistura de gasolina com etanol

RISCO À SAÚDE HUMANA

➔ Risco Carcinogênico e Não Carcinogênico Temporal Incremental (RTI)

- via de ingresso: ingestão de água subterrânea
- uso de solo: comercial/industrial

CETESB, 2009



➔ Risco Carcinogênico e Não Carcinogênico (RBCA)

$I = C \cdot IR \cdot EF \cdot ED / BW \cdot AT \text{ (mg/kg.dia)}$

$R = I \cdot SF$

$HI = I / RfD$

ESTUDO DE CASO

- ➔ Área da atenuação natural monitorada (ANM): implantada por Fernandes (2002) em 1998;
- ➔ Localização: Fazenda Experimental da Ressacada (sul de Florianópolis);
- ➔ Monitoramento da água subterrânea com poços multinível.

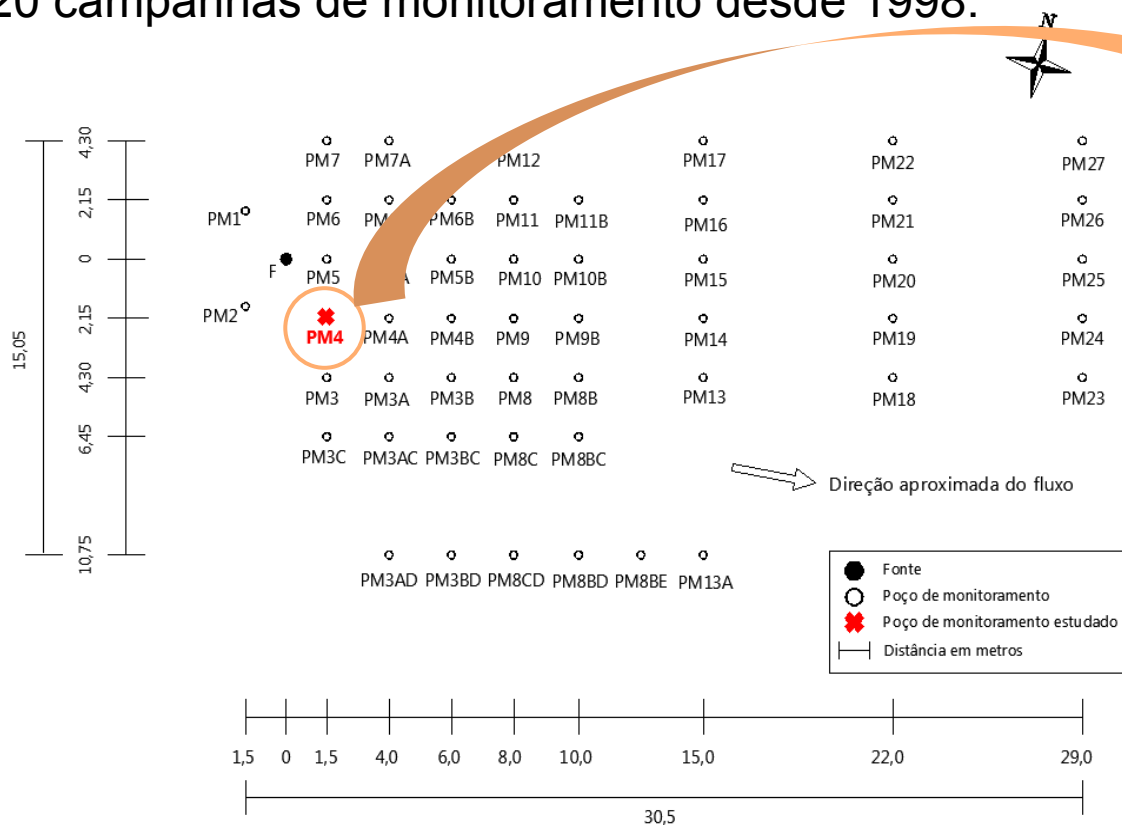


Área Experimental ANM

Poço multinível de monitoramento

ESTUDO DE CASO

- ➔ 100 L de gasolina com 24% de etanol;
- ➔ 51 poços multinível com as seguintes profundidades: 1,0; 2,0; 2,5; 3,5 e 4,5 metros;
- ➔ 20 campanhas de monitoramento desde 1998.



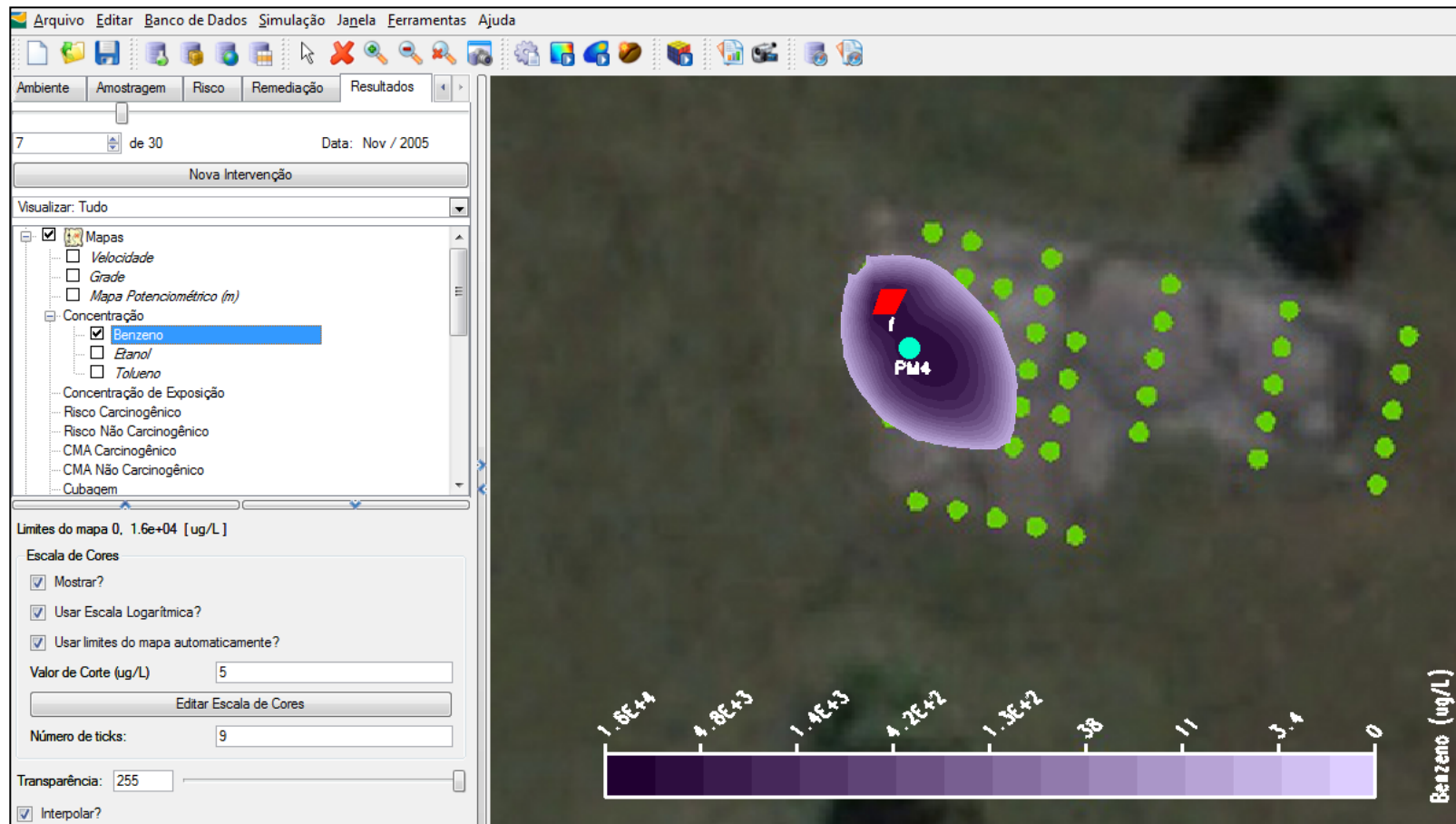
- ✓ PM 4 → maiores concentrações em 2,0 e 2,5m;
- ✓ benzeno e tolueno

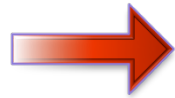
TRANSPORTE E TRANSFORMAÇÃO



SCBR (Solução Corretiva Baseada no Risco)

- Desenvolvido desde 2001 - UFSC (REMAS) – PETROBRAS;
- Auxiliar a tomada de decisão no gerenciamento de áreas impactadas ou potencialmente poluidoras;





SCBR (Solução Corretiva Baseada no Risco)

- Modelo conceitual: contaminação de águas subterrâneas de aquíferos não confinados;
- Modelo bidimensional para simulação do transporte e transformação dos poluentes;
- Combustíveis brasileiros: influência do etanol sobre a biodegradação e solubilidade dos hidrocarbonetos (efeito cossolvência).

Modelo de fluxo bidimensional (Boussineq)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y h \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \left(q_z \Big|_0 + I \right) + F = S_y \frac{\partial h}{\partial t}$$

Mecanismos de transporte e transformação: advecção, dispersão, sorção e biodegradação.

$$\frac{\partial(\rho C)}{\partial t} = \frac{1}{R} \left[\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\rho D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial(\rho C V_i)}{\partial x_i} \right] - \lambda \rho C + \frac{W \rho C}{n \Delta x \Delta y \Delta z}$$

Efeito cossolvência

$$\log S_m = \log S_w + \sigma f$$

S_m : solubilidade do soluto na mistura

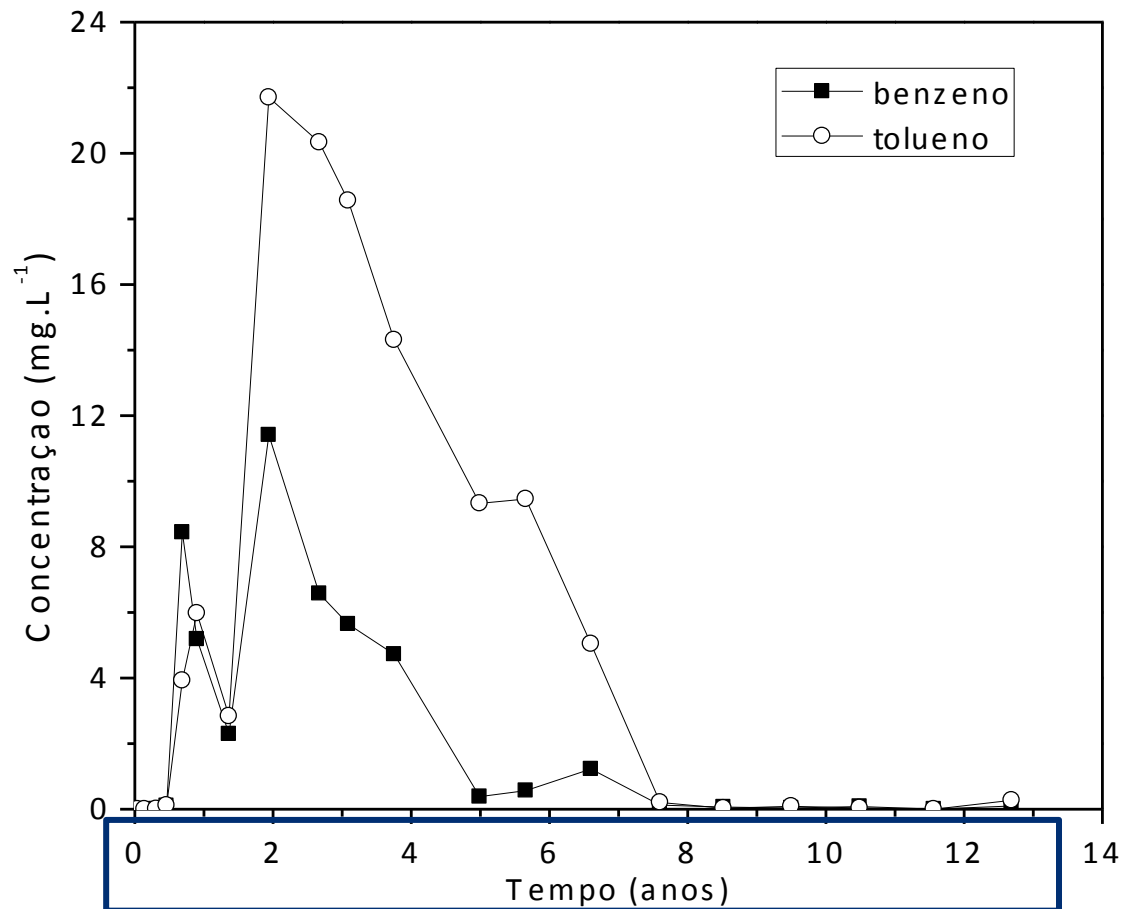
S_w : solubilidade do composto orgânico na água pura

σ : capacidade relativa do cossolvente em solubilizar os compostos orgânicos

f : fração em volume do cossolvente

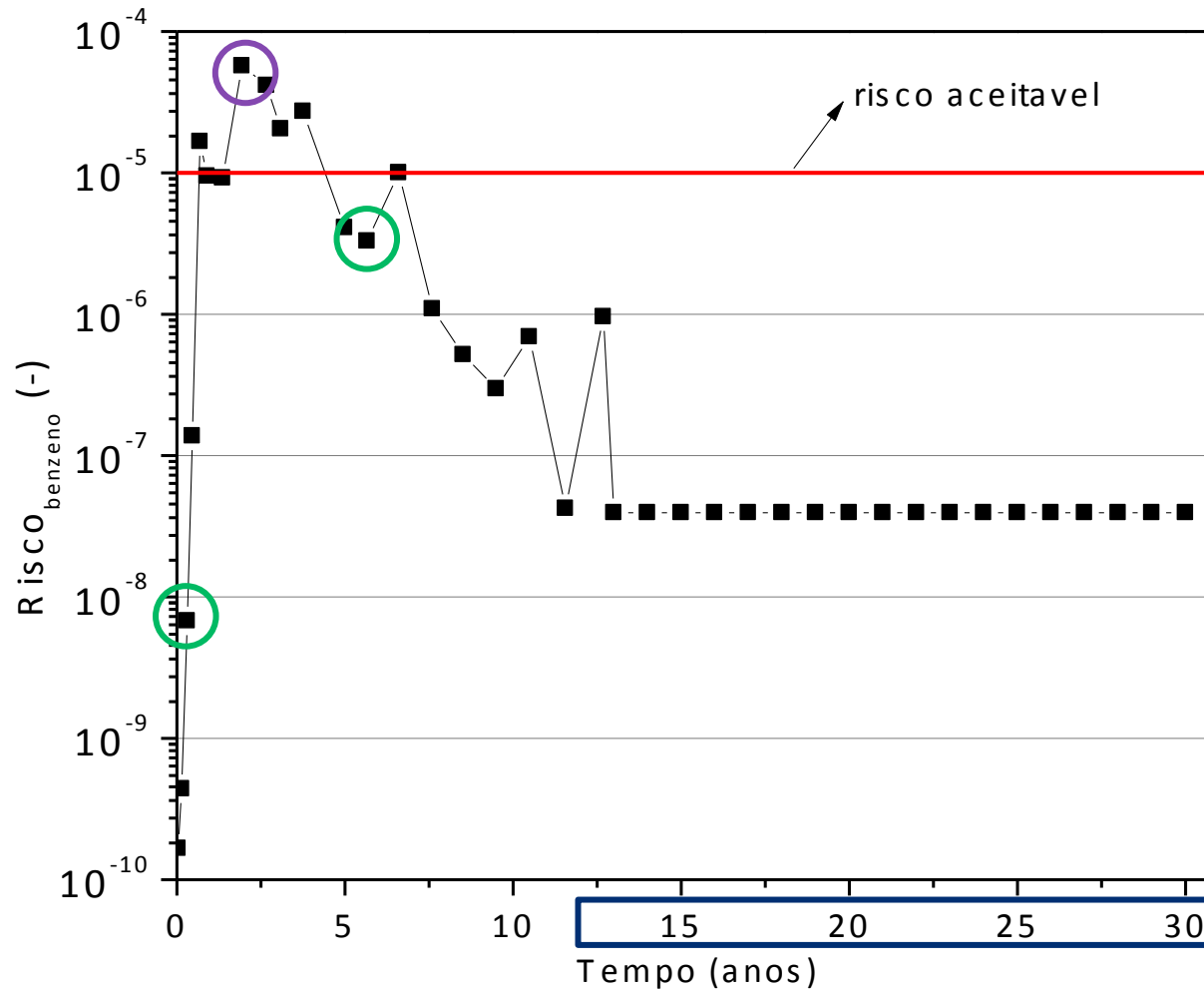
RESULTADOS ESPERADOS

Área Experimental ANM (Ressacada) – poço de monitoramento PM4



RESULTADOS ESPERADOS

Área Experimental ANM (Ressacada) – poço de monitoramento PM4



RESULTADOS ESPERADOS

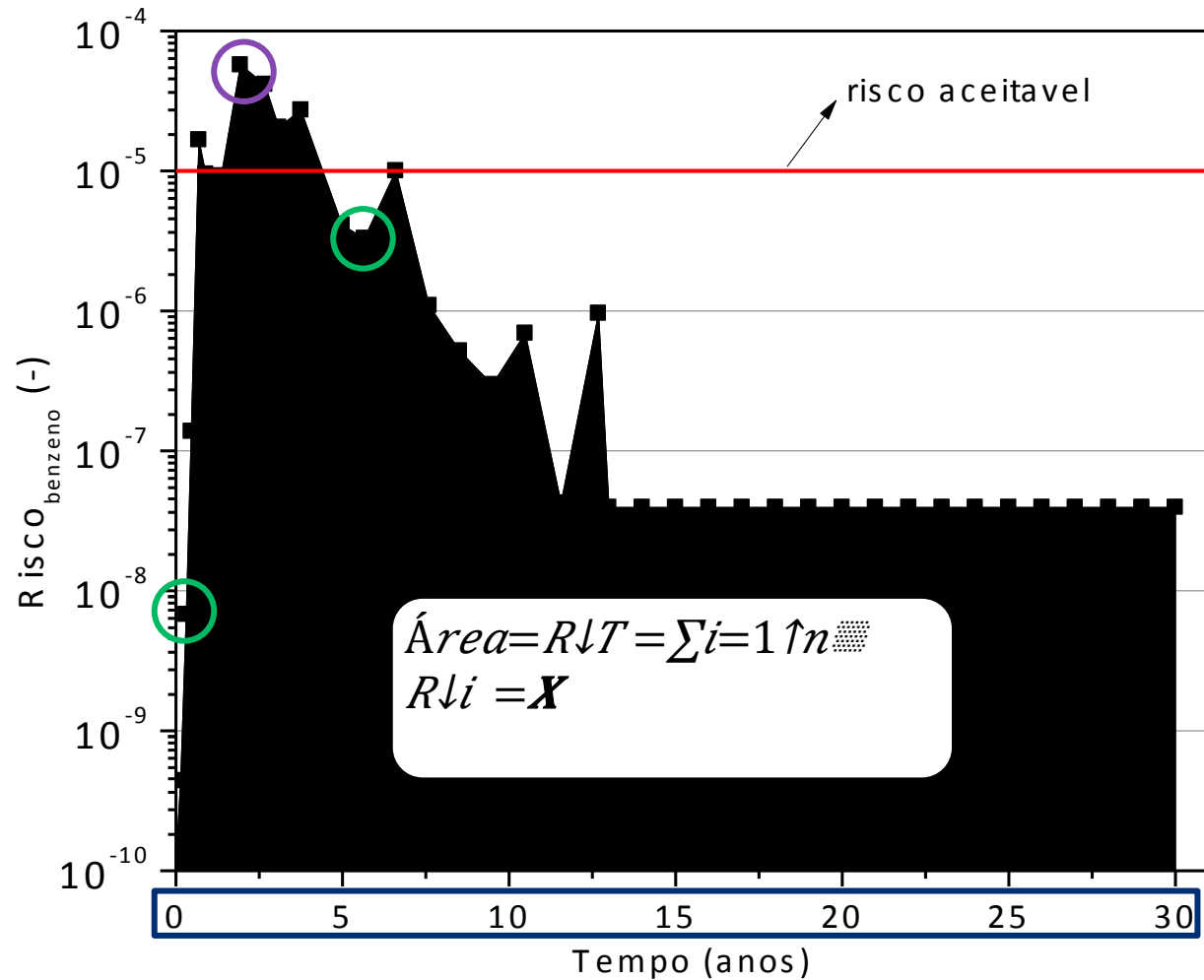
Área Experimental ANM (Ressacada) – poço de monitoramento PM4

Risco Total Incremental = ?

Risco (RBCA)

subestimado

superestimado



RESULTADOS ESPERADOS

- ➔ Subestimação do risco carcinogênico pela metodologia RBCA quando comparado com o risco do método temporal incremental (RIT):
 - Áreas recentemente impactadas (tempo de resposta a um cenário de contaminação é rápido);
 - Áreas impactadas a um longo tempo (concentrações baixas);

- ➔ O oposto pode ser verificado, ou seja, superestimação do risco pelo método tradicional, quando a amostragem for realizada no pico da curva de concentração;

- ➔ Mesmo com diferença entre os valores de dose de referência (uma ordem de grandeza: tolueno → $RfD_{\text{subcrônica}} = 0,8 \text{ mg.kg.dia}^{-1}$, $RfD_{\text{crônica}} = 0,08 \text{ mg.kg.dia}^{-1}$), espera-se que nos casos de amostragem realizada no início da contaminação, o risco não carcinogênico pelo método (RTI - subcrônica) seja maior quando comparado com o risco determinado pela metodologia RBCA (crônico).

- ➔ Com método que considera a variação das concentrações ao longo do tempo, espera-se obter uma análise mais crítica da quantificação do risco, diminuindo as incertezas e proporcionando suporte para tomada de decisão considerando a real exposição a qual estão submetidos os receptores.



XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

A influência da variação temporal das concentrações de exposição em áreas contaminadas no cálculo do risco à saúde humana

Karina Lopes Joussef, kajoussef@yahoo.com.br

Orientador: Prof. Henry Xavier Corseuil, corseuil@ens.ufsc.br

Bonito, 24 de outubro de 2012.