

# XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

*VII FENÁGUA - Feira Nacional da Água*

*XVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços*

## **A INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO TEMPORAL DAS CONCENTRAÇÕES DE EXPOSIÇÃO EM ÁREAS CONTAMINADAS NO CÁLCULO DE RISCO À SAÚDE HUMANA**

Karina Lopes Joussef<sup>1</sup>; Cristina Cardoso Nunes<sup>1</sup>; Henry Xavier Corseuil<sup>1</sup>

**Resumo** – As metodologias tradicionais de avaliação de risco à saúde humana (i.e., RBCA) assumem que os receptores estão expostos a uma concentração máxima e constante ao longo de uma duração de exposição fixa (25 – 30 anos). As variações nas concentrações dos contaminantes que ocorrem ao longo do tempo no meio impactado, devido aos processos naturais de dissolução, transporte e biodegradação não são levadas em consideração no cálculo do risco. Este critério pode acarretar em uma superestimação da exposição. O objetivo deste trabalho é discutir a inclusão da temporalidade na quantificação do risco por meio da aplicação de um modelo de cálculo de risco (incremental) a dados de campo. Deste modo, espera-se obter uma análise crítica do risco que expresse a real exposição a qual estão submetidos os receptores.

**Abstract** – Standard methodologies of human health risk assessment (i.e., RBCA) assume that the receptors are exposed to a maximum concentration and constant along a fixed exposure duration (25-30 years). Variation in the concentrations of contaminants that occur over time in the impacted area due to natural processes of dissolution, transport and biodegradation are not taken into consideration in calculating the risk. This assumption may result in overestimation of exposure. The aims of this work is to discuss the inclusion of temporality in the quantification of risk through the application of a model for calculating risk (incremental) to field data. Thus, it is expected to get a critical analysis of the risk that expresses the real exposure to the receptors which are submitted.

**Palavras-Chave** – gerenciamento de áreas contaminadas, avaliação de risco à saúde humana, variação temporal das concentrações.

---

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Laboratório de Remediação de Águas Subterrâneas (REMAS) – Florianópolis, SC – 88040-970. Tel (48) 3721-7569. Emails: [kajoussef@yahoo.com.br](mailto:kajoussef@yahoo.com.br); [criscnunes@ens.ufsc.br](mailto:criscnunes@ens.ufsc.br); [corseuil@ens.ufsc.br](mailto:corseuil@ens.ufsc.br)

## 1 – INTRODUÇÃO

No processo de gerenciamento de áreas contaminadas, a avaliação de risco à saúde humana representa uma etapa chave a fim de caracterizar os potenciais efeitos de substâncias específicas sobre a saúde de indivíduos ou populações [1]. As atividades desenvolvidas na avaliação de risco são a base para definir a necessidade e prioridade de ações corretivas, estabelecer valores orientadores baseados no risco e metas de remediação específicas para o local impactado.

As referências técnico-científicas mais utilizadas na avaliação de risco estão reunidas na metodologia RBCA (*Risk-Based Corrective Action*) da ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Para a quantificação do risco, o método tradicional assume uma relação linear entre a dose de ingresso de contaminantes e o risco à saúde dos indivíduos, em que os receptores estão expostos a uma concentração máxima e constante ao longo de uma duração de exposição fixa (25 ou 30 anos, dependendo do tipo de receptor e uso do solo). Entretanto, os compostos químicos estão submetidos a processos de dissolução, transporte e biodegradação no meio impactado, que alteram as suas concentrações ao longo do tempo [2]. Ainda que modelos matemáticos de transporte e transformação (i.e., Modflow, Bioscreen, RISC 4, RBCA Tool Kit, SCBR [3]) sejam utilizados para obter as concentrações em pontos de exposição, a prática conservadora entre os gestores de risco é escolher o máximo valor simulado, considerando-o constante por todo o período de exposição, conforme critério adotado pelas metodologias de avaliação de risco à saúde humana (i.e., RBCA, USEPA), o que pode acarretar em uma superestimação da exposição. Desta forma, no cálculo do risco, as variações das concentrações ao longo do tempo não são levadas em consideração.

Na literatura, poucos estudos relatam a influência da variação temporal das concentrações na quantificação do risco [4,5]. Nestes trabalhos, modelos de fluxo e transformação são usados para obter as concentrações dos compostos químicos nos ambientes impactados e, por conseguinte, calcular o risco para cada intervalo de tempo. No primeiro estudo [4], os autores demonstraram a importância da temporalidade na avaliação de risco (Figura 1). Já no segundo [5], o foco foi determinar o risco de todo o tempo de exposição (risco total), como a somatória dos valores de risco incrementais associados a cada intervalo de tempo.

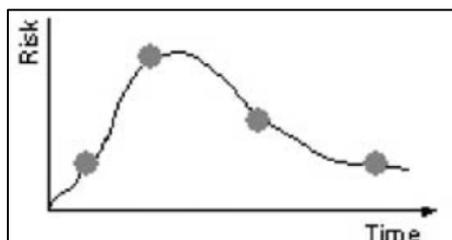


Figura 1. Variação do risco à saúde humana ao longo do tempo.

Fonte: Bién et al. (2004)<sup>[4]</sup>

Assim, este trabalho tem como objetivo discutir a inclusão da temporalidade na quantificação do risco por meio da aplicação de um modelo de cálculo de risco (incremental) a dados de campo. Os valores fornecidos pelo modelo adotado serão então comparados com aqueles obtidos pela abordagem tradicional (RBCA), permitindo analisar a sua viabilidade para inclusão nos procedimentos de análise de risco à saúde humana e implementação em softwares de modelagem ambiental.

## 2 – METODOLOGIA

Com o intuito de avaliar as implicações que as variações das concentrações têm sobre a quantificação do risco, este estudo terá como base uma série de quatorze anos de dados de campo de compostos monoaromáticos (BTEX) de um derramamento controlado de gasolina brasileira [6], realizado na Fazenda Experimental da Ressacada (Florianópolis – SC). Nesta etapa, o estudo se limitará ao cenário de ingestão de água subterrânea contaminada, por receptores adultos sobre a fonte de contaminação, mas poderá ser estendida às outras vias de ingresso.

### 2.1 – Risco Temporal Incremental

Esta abordagem, baseada no modelo apresentado no estudo de [5], utilizará as concentrações monitoradas em campo dos compostos ao longo do experimento ( $C_{POE,i}$ ) como concentrações de exposição. A duração de exposição será variável e equivalente ao intervalo de tempo entre as campanhas de monitoramento ( $ED_i$ ). Desta forma, a dose de ingresso e logo, o risco, para um determinado tempo ( $i$ ), corresponderão à exposição corrente e ao incremento das exposições dos períodos anteriores (Equação 1 e Equação 2). Por sua vez, o risco para um determinado tempo de exposição ( $R_T$ ) será calculado como a somatória dos valores de risco associados a cada intervalo de tempo (Equação 3). No trabalho original citado, os autores utilizaram como concentrações de entrada, aquelas simuladas a partir do algoritmo de esgotamento da fonte disponível no software RBCA Tool Kit [7], e duração de exposição equivalente à saída do simulador, sendo esta, portanto, constante.

$$I_i = \left[ \frac{IR \cdot EF}{BW \cdot AT} \right] \cdot \sum C_{POE,i} \cdot ED_i \quad (1)$$

$$R_i = I_i \cdot SF \quad (2)$$

$$R_T = \sum_{i=1}^n R_i \quad (3)$$

onde  $I_i$  é a dose de ingresso no intervalo de tempo  $i$  [ $\text{mg} \cdot \text{kg} \cdot \text{dia}^{-1}$ ];  $IR$  é a taxa de ingestão [ $\text{L} \cdot \text{dia}^{-1}$ ];  $EF$  é a frequência de exposição [ $\text{dias} \cdot \text{ano}^{-1}$ ],  $BW$  é o peso corpóreo [ $\text{kg}$ ];  $AT$  é o período de

exposição [dias];  $C_{POE,i}$  é concentração do contaminante no intervalo de tempo  $i$  [ $\text{mg.L}^{-1}$ ],  $ED_i$  é a duração de exposição equivalente ao intervalo de tempo  $i$  [anos];  $R_i$  é o risco calculado para o intervalo de tempo  $i$  [adimensional];  $SF$  é o fator de carcinogenicidade [ $\text{kg.dia.mg}^{-1}$ ];  $R_T$  é o risco total [adimensional];

### 3 – RESULTADOS ESPERADOS

Com a utilização de uma série de dados de concentrações para comparação entre os resultados de uma avaliação de risco baseada na abordagem tradicional (RBCA) com a de concentração variável no tempo (risco incremental), pretende-se obter uma análise crítica da quantificação do risco que expresse a real exposição a qual estão submetidos os receptores. O entendimento da influência das flutuações das concentrações a partir de dados de campo é relevante para a utilização dessa abordagem em modelos matemáticos que simulem os processos de biodegradação e transporte de contaminantes e que são empregados nas avaliações de risco.

### 4 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NRC. National Research Council. Commission on Life Sciences. Committee on the Institutional Means for Assessment of Risks to Public Health. **Risk assessment in the Federal Government: managing the process**. Washington: National Academy Press, 1983, 191p.
- [2] WIEDEMEIER, T. H.; RIFAI, H. S.; NEWEL, C. J.; WILSON, J. T. **Natural Attenuation of Fuels and Chlorinated Solvents in the Subsurface**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999. 617p.
- [3] SCHNEIDER, A. C.; NUNES, C. C.; JOUSSEF, K. L.; SCHVEITZER JUNIOR, A.; SCHNEIDER, M. R.; ROSARIO, M.; CORSEUIL, H. X. **SCBR model as a decision support system tool for management of biofuels contaminated sites**. In: 5º Encontro Latino Americano de CFD aplicado à Indústria de Óleo e Gás, Rio de Janeiro, 2012.
- [4] BIÉN, J.D.; TER MEER, J.; RULKENS, W.H.; RIJNAARTS, H.H.M. A GIS-based approach for the long-term prediction of human health risks at contaminated site. **Environmental Modeling and Assessment**. n. 9, p.221-226, 2004.
- [5] BACIOCCHI, R., BERARDI, S., VERGINELLI, I. Human health risk assessment: Models for predicting the effective exposure duration of on-site receptors exposed to contaminated groundwater. **Journal of Hazardous Materials**. n.181, p.226-233, 2010.
- [6] CORSEUIL, H. X.; MONIER, A. L.; FERNANDES, M.; SCHNEIDER, M. R.; NUNES, C.C.; ROSARIO, M.; ALVAREZ, P.J.J. BTEX Plume Dynamics Following an Ethanol Blend Release: Geochemical Footprint and Thermodynamic Constraints on Natural Attenuation. **Environmental Science & Technology**. v.45, n.8, p.3422-3429, 2011.
- [7] CONNOR, J.A.; BOWERS, R. L.; McHUGH, T. E.; SPEXET, A. H. **RBCA Tool Kit for Chemical Releases - Software Guidance Manual**. GSI Environmental Inc. Version 2. Houston, Texas, 2007, 120p.