

## Avaliação de Riscos à Saúde Humana em Águas Subterrâneas Contaminadas: uma abordagem com software de análise

ROBERTO CALDEIRA DO NASCIMENTO<sup>1</sup>;  
TIRZAH MOREIRA SIQUEIRA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Pelotas – roberto\_caldeira@live.com*

<sup>3</sup>*Universidade Federal de Pelotas – tirzahsiqueira@hotmail.com*

### 1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

Entre suas iniciativas, o projeto “Ciências Ambientais Aplicadas” desenvolve um software de acesso aberto voltado para a Avaliação de Risco à Saúde Humana (ARSH). Esse procedimento consiste em analisar qualitativamente ou quantitativamente os potenciais impactos à saúde decorrentes da exposição a substâncias químicas, tanto em indivíduos quanto em grupos populacionais situados dentro ou fora da área de contaminação (BRASIL, 2010). O sistema opera a partir de modelos computacionais que integram informações ambientais e toxicológicas para estimar e quantificar os riscos de forma padronizada.

O software foi planejado em três etapas, todas implementadas entre 2020 a 2025: a primeira voltada à avaliação de risco para receptores diretamente expostos na fonte de contaminação; a segunda para receptores indiretamente expostos, devido à dispersão de contaminantes por solo, água, ar ou alimentos; e a terceira para a avaliação probabilística, que estima a probabilidade e magnitude dos efeitos adversos à saúde humana.

Entre suas funções, o sistema permite configurar cenários de exposição de acordo com os meios contaminados e formas de contato, selecionar contaminantes de interesse a partir de um banco de dados com número CAS e descrição, ajustar parâmetros de exposição conforme o perfil dos receptores (como idade, ocupação e local de residência) e calcular riscos, quocientes de perigo e concentrações máximas aceitáveis baseadas no risco (RBSL), além de aplicar fatores de redução para simulação de cenários com medidas de controle.

Atualmente, o software encontra-se em fase de testes e demonstração de resultados, nos quais são utilizados estudos de caso reais já existentes sobre contaminação ambiental para verificar sua funcionalidade e precisão. Essa etapa tem como objetivo confirmar se o sistema é capaz de processar dados e gerar resultados compatíveis com análises reconhecidas na literatura técnica, garantindo sua confiabilidade para futuros usos. Com interface intuitiva e base científica robusta, o software se apresenta como uma ferramenta prática e acessível para transformar dados ambientais complexos em informações claras, apoiando a prevenção e mitigação de riscos à saúde humana.

### 2. ANÁLISE DE MERCADO

O software é voltado para a comunidade acadêmica (estudantes e pesquisadores) e profissionais de órgãos públicos e privados, servindo tanto para Avaliações de Risco à Saúde Humana (ARSH) em estudos científicos quanto para ensino, capacitação e cursos.

No Brasil, a ferramenta mais usada são as planilhas de ARSH da CETESB (2013), que, embora gratuitas, não realizam cálculos do terceiro nível da

metodologia, baseado em abordagem estocástica/probabilística. Outras soluções pagas oferecem esse recurso.

O software desenvolvido será gratuito, com manuais de uso, permitindo ampla aplicação em aulas, treinamentos, projetos acadêmicos e estudos técnicos, sem barreiras de licenciamento, tornando-se uma alternativa acessível e robusta para diversos usuários.

### 3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

O primeiro passo consistiu na identificação do contaminante de interesse que atingiu a camada subterrânea. O Níquel, com concentração de 3,17 mg/L, ultrapassou o limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que regulamenta os padrões de qualidade para águas subterrâneas destinadas ao consumo humano e à irrigação.

Esse valor foi inserido no software (Figura 1 - lado esquerdo), no Nível 01 – Cenários de Exposição. Como o artigo de referência indicava que a água subterrânea era utilizada tanto para consumo humano quanto para atividades de irrigação e higiene, foram selecionadas as vias de contato dérmico e ingestão com água subterrânea contaminada. O contato dérmico contempla situações como banho e higiene pessoal, enquanto a ingestão abrange o consumo direto da água e sua utilização no preparo de alimentos.

Na etapa seguinte, em Contaminantes de Interesse (Figura 1 - lado direito), o Níquel foi adicionado à lista de poluentes, registrando-se sua concentração na água subterrânea.

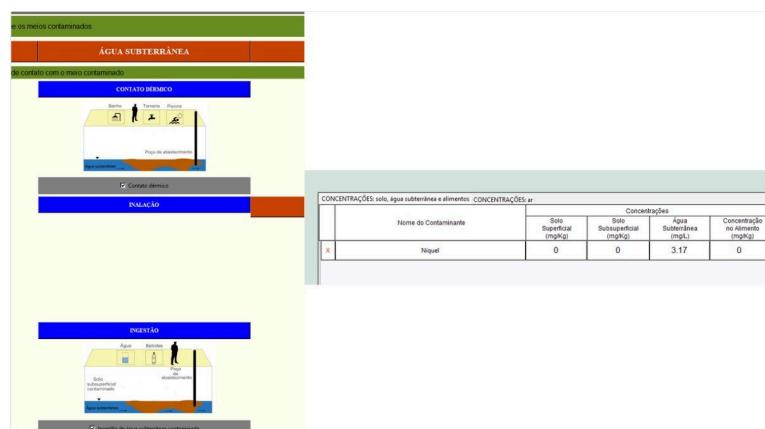


Figura 01: Inserção dos dados no software: à esquerda, definição dos cenários de exposição (vias de contato dérmico e ingestão); à direita, registro do níquel como contaminante de interesse e sua concentração na água subterrânea.

Fonte: Autores (2025).

Em seguida, no módulo de Parâmetros de Exposição (Figura 2), foram definidos os receptores populacionais considerados mais suscetíveis: crianças e adultos de áreas residenciais rurais e urbanas. Essa diferenciação se justifica pela variação de fatores fisiológicos (massa corporal, área superficial de pele exposta e taxas de ingestão de água) e pelos diferentes padrões de uso do recurso hídrico. A frequência de exposição e a frequência de contato dérmico com a água subterrânea foram estabelecidas em 365 dias/ano, refletindo o uso contínuo da água para consumo, banho e demais atividades cotidianas.

Selecione o(s) tipo(s) de receptor(es):

RESIDENCIAL RURAL	RESIDENCIAL URBANO	TRABALHADORES
<input checked="" type="checkbox"/> CRIANÇA	<input checked="" type="checkbox"/> CRIANÇA	<input type="checkbox"/> COMERCIAL E INDUSTRIAL
<input checked="" type="checkbox"/> ADULTO	<input checked="" type="checkbox"/> ADULTO	<input type="checkbox"/> OBRA CIVIL E ESCAVAÇÃO

FE\_d/a      FE      Freqüência de Exposição para Contato dérmico com a água subterrânea  
 Freqüência da Exposição      dias/ano      dias/ano

365	365	365	365	250	250	CETESB, 2009
365	365	365	365	250	250	CETESB, 2009

Figura 2 – Definição dos parâmetros de exposição no software.  
Fonte: Autores (2025).

A partir dessas definições, o software aplicou equações padronizadas para o cálculo de risco. Para a via de ingestão de água contaminada, utilizou-se a Equação 1, que integra parâmetros como concentração do contaminante (C), taxa de ingestão (TI<sub>a</sub>), frequência e duração da exposição (FE e DE), massa corporal (PC) e tempo ponderado da avaliação (AT). Já para o contato dérmico com a água subterrânea, aplicou-se a Equação 2, que inclui variáveis adicionais, como a área de pele exposta (SA), a constante de permeabilidade dérmica (K<sub>p</sub>) e a frequência de eventos de contato (EV).

$$I = \frac{C.TI.FE.DE}{AT.PC}$$

Equação 1 - Ingestão de água contaminada ou bebidas feitas com esta água

sendo:

**C** = Concentração média do contaminante na água (mg/L);

**TI** = Taxa diária de ingestão de água (L/dia);

**FE** = Frequência da exposição (dias/ano);

**DE** = Duração da exposição (anos);

**AT** = Tempo ponderado da avaliação (dias);

**PC** = Massa corpórea (kg).

$$I = \frac{C.SA.Kp.ET.EV.DE.CF}{AT.PC}$$

Equação 2 - Contato dérmico com a água contaminada

sendo:

**C** = Concentração média do contaminante na água (mg/L);

**SA** = Área superficial de pele exposta para contato dérmico com a água (cm<sup>2</sup>);

**K<sub>p</sub>** = Coeficiente de permeabilidade dérmica (cm/h);

**ET** = Tempo de exposição durante o evento (h/dia);

**EV** = Frequência de eventos dias/ano;

**DE** = Duração da exposição (anos);

**CF** = Fator de conversão (1 L / 1.000 cm<sup>3</sup>);

**AT** = Tempo ponderado da avaliação (dias);

**PC** = Massa corpórea (kg).

Os resultados obtidos na aba de Riscos e Quocientes de Perigo (Figura 3) indicaram que o Níquel apresentou risco significativo por ingestão, com quociente de perigo (HQ) de 7,68, valor muito acima do limite de segurança estabelecido

(HQ ≤ 1). Na via de contato dérmico, o quociente de perigo foi menor, de  $1,69 \times 10^{-1}$ , não excedendo o limite.

Riscos e Quocientes de Perigo						
Nº CAS	Contaminante	Efeito Adverso	Água Subterrânea			
			Contato dérmico	Inalação de vapores em ambientes abertos	Inalação de vapores em ambientes fechados	Ingestão
			NC	1,69e+01	NA	NA
7440-02-0	Níquel	C	ND	NA	NA	7,68e+00
Somatório por via de exposição						
			Efeito Adverso	Contato dérmico	Inalação de vapores em ambientes abertos	Inalação de vapores em ambientes fechados
			NC	1,69e+01	0,00e+00	0,00e+00
			C	0,00e+00	0,00e+00	0,00e+00
Ingestão						
Somatório por via de exposição						
			7,68e+00			

Figura 03: Resultados de riscos e quocientes de perigo no software.

Fonte: Autores (2025).

#### 4. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO

Espera-se que, por meio da aplicação dos testes, seja possível validar todas as etapas do processo, demonstrando a aplicabilidade do software na avaliação proposta. Além disso, os resultados deverão indicar sua efetividade ou, se necessário, orientar para ajustes e aprimoramentos futuros.

#### 5. CONCLUSÕES

O estudo demonstrou a utilidade do software de Avaliação de Risco à Saúde Humana (ARSH) para simular cenários de exposição a contaminantes em águas subterrâneas. O caso aplicado com o níquel evidenciou risco significativo na via de ingestão ( $HQ = 7,68$ ), enquanto o contato dérmico permaneceu dentro do limite seguro.

Os resultados confirmam a capacidade da ferramenta em integrar parâmetros ambientais e populacionais para gerar indicadores confiáveis, além de reforçar sua relevância como solução aberta e gratuita. Dessa forma, o software se mostra promissor para apoiar pesquisas, ensino e ações de prevenção em saúde ambiental, devendo ser ampliado e testado em novos cenários para consolidar sua aplicabilidade.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Saúde. Diretrizes para elaboração de estudo de avaliação de risco à saúde humana por exposição a contaminantes químicos. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/svs/saude-ambiental/arsh>. Acesso em: 20 ago. 2025.

CETESB. Planilhas para Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas sob Investigação. Versão 3.03, 24 de março de 2023. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/planilhas-para-avaliacao/>. Acesso em: 20 ago. 2025.