

RISCO DE CONTAMINAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA: CONCEITOS E PRÁTICA

Walter Duarte Costa ¹

RESUMO

A caracterização da contaminação da água subterrânea envolve conceitos que têm sido muito polemizados desde que se investiga as possibilidades dessa contaminação no Brasil. No centro dessa polêmica reside o termo **risco**, que não tem sido aceito por alguns pesquisadores desde que não possa ser quantificado. No presente trabalho é discutida toda a conceituação correlacionada com a possibilidade da poluição de um aquífero e definidas as formas de avaliação do risco de tal ocorrência. Em complemento, é descrito, a título de exemplo, um caso em que foi zoneado esse risco em uma das formas citadas para tal avaliação.

PALAVRAS-CHAVE

Risco; contaminação; água subterrânea

CONCEITUAÇÃO

A análise de riscos sobre a influência perniciosa que um determinado evento ou atividade pode representar para o ser humano ou para o meio ambiente envolve a conceituação de termos como “perigo”, “risco” e “segurança”.

A conceituação desses termos nem sempre é correta, como pode ser facilmente constatado pelas definições encontradas no Dicionário Aurélio Buarque de Holanda Ferreira, um dos mais conceituados no Brasil, e que podem ser resumidas como segue:

Perigo é todo “estado em que alguma coisa se receia ou se tem medo”, ou, juridicamente com sentido mais amplo, “situação de fato geradora de temor de uma lesão física ou moral a uma pessoa ou de uma ofensa a seus direitos”.

Risco é a “probabilidade ou possibilidade de perigo”.

Segurança é estar “completamente livre de perigos, medos ou receios”.

Essas definições, além de considerar o *risco* como sinônimo de *perigo*, apresentam uma concepção errônea e enganosa sobre segurança, quando a relaciona à liberdade total de perigos ou de riscos, o que é totalmente inviável na natureza, pois não existe nenhuma atividade humana completamente livre de perigo. Assim, é inaceitável o conceito de *segurança absoluta*, pelo que, se deve caracterizar com a máxima clareza possível a diferenciação entre perigo e risco, para que se entenda o conceito de *segurança relativa*.

1) Dr. Prof. do Instituto de Geociências da UFMG. Endereço: Rua do Ouro, 780/102 – Serra Belo Horizonte – MG – 30.220-000. Telefone: (31) 3287.5232 - Fax: (31) 3225.3870. E-mail: walter.costa@terra.com.br

O *perigo* é uma situação que possa gerar danos, quer para o ser humano ou para o meio ambiente, constituindo-se numa propriedade intrínseca a um evento ou a uma substância. Assim, uma carreta transportando um produto químico representa um duplo perigo: o perigo relacionado com a possibilidade de vazamento desse produto em conseqüência de um acidente e o perigo representado pela toxicidade do produto vazado.

O *risco* de um acidente envolvendo situações danosas ao homem ou ao meio ambiente é função direta dos seguintes fatores: perigo, probabilidade, exposição e conseqüências.

O *perigo*, como já visto, considera a propriedade intrínseca ao fato gerador, pelo que se faz necessário em cada caso avaliar o seu efeito potencial. A *probabilidade* refere-se à freqüência com que tal acidente é passível de ocorrer em um determinado tempo (ano, mês, dia). A *exposição* corresponde às formas de contato entre o agente gerador e o agente passivo, tanto em relação à quantidade, como em relação ao tempo. As *conseqüências* correspondem à forma de reação do receptor em relação à ação geradora do perigo, podendo incluir danos físicos (doenças e morte) ou econômicos.

Assim, o risco é tanto maior quanto maior for o efeito potencial do agente causador do perigo, maior a freqüência com que for passível de ocorrer, maior for a exposição a que o agente passivo estiver sujeito e maiores forem as conseqüências desse perigo.

A *segurança relativa* é inversamente proporcional ao risco, sendo tão maior quanto menor for este.

Os acidentes envolvendo riscos podem apresentar efeitos *imediatos* ou *retardados*. Assim, a explosão provocada por um vazamento de combustíveis no subsolo é um efeito imediato, enquanto a contaminação que esse combustível vazado poderá provocar ao atingir as águas subterrâneas pode levar muito tempo, sendo, por conseguinte, um efeito retardado.

Essa diversidade de efeitos dificulta e até impede a caracterização da segurança das inúmeras atividades humanas, sendo na maior parte dos casos, impossível responder às seguintes perguntas:

- Como medir a segurança?
- Como determinar a segurança relativa de uma atividade?
- Quanto custa para aumentar a segurança de um empreendimento?

Essas dúvidas podem ser acrescidas por inúmeras incertezas relacionadas com o processo que integra qualquer acidente envolvendo riscos, desde o agente que originou o processo até a recepção pelo agente representado pelo homem ou pelo meio ambiente.

No caso específico de contaminação das águas subterrâneas, que interessa diretamente ao presente estudo, essas incertezas podem ser agrupadas em função da fonte de contaminação, da percolação do contaminante, da forma de captação da água subterrânea e da recepção pelo ser humano da água subterrânea. Segundo Reichard et al (1990), as principais incertezas são as seguintes:

- a) Incertezas relacionadas com a fonte de contaminação
 - qual a fonte que liberou a carga contaminante?
 - quando se iniciou essa liberação e quanto tempo durou?
 - quais componentes foram liberados?
 - qual a composição química dos componentes liberados?
 - a liberação foi contínua ou intermitente? qual o volume liberado?
 - quais as características de mobilidade e persistência dos contaminantes liberados?
- b) Incertezas quanto ao caminho de percolação do contaminante
 - a geologia do meio receptor está muito bem caracterizada?
 - há boas informações sobre os parâmetros hidrodinâmicos do meio?
 - quais os processos de atenuação que podem ocorrer com o contaminante?
 - qual a proporção de degradação ou retardamento do contaminante?
 - a pluma de contaminação está bem caracterizada?
 - é possível quantificar a dispersão hidrodinâmica em função da heterogeneidade do meio?
- c) Incertezas com relação à captação da água subterrânea
 - o poço de captação está no sentido de propagação da pluma?

- que tipo de contaminante poderá chegar até o poço?
 - qual a concentração do contaminante que chegará ao poço?
 - quando o contaminante alcançará o poço?
 - qual a proporção de diluição do contaminante até chegar ao poço?
- d) Incertezas quanto à exposição
- a água do poço será usada para ingestão?
 - qual a duração e continuidade da ingestão?
 - qual a sensibilidade dos ingestores a determinados contaminantes?
 - a água captada sofrerá algum tipo de tratamento antes de ingerida?
 - qual a diluição e/ou tratamento que ocorrerá após o consumo?

Diante de tantas incertezas, muitas das quais não apresentam a mínima possibilidade de serem esclarecidas, faz-se necessário, além de avaliar os riscos envolvidos, gerenciá-los no sentido de aplicar a melhor solução que o caso requer.

Esse gerenciamento inclui a integração de conceitos variados na área social, política e financeira, considerando que o processo de remediação de uma contaminação é sempre muito oneroso e nem sempre eficaz, razão pela qual, pode ser mais recomendável evitar que a água subterrânea possa ser captada e consumida do que investido um elevado montante de recursos financeiros e que no final persista ainda algum risco para o aquífero tratado. Nesse caso, apenas foi reduzido o efeito potencial do perigo e aumentada um pouco a segurança relativa, mas o nível de risco pode ainda permanecer intolerável ou até inaceitável.

AValiação DO RISCO

A avaliação do risco de qualquer acidente que possa causar dano ao ser humano ou ao meio ambiente varia em função do nível de abordagem do problema.

No nível de *investigação preliminar* a avaliação varia desde puramente qualitativa até semi-quantitativa e corresponde aos estudos em caráter regional incluindo uma ou mais fontes de risco.

No nível de *investigação detalhada* essa avaliação é quantitativa, incluindo todos os fatores que influem na definição do risco (perigo, probabilidade, exposição e conseqüências). Essa investigação é sempre realizada quando o objeto do acidente está bem caracterizado e o estudo visa definir soluções para um problema já existente.

NÍVEL DE INVESTIGAÇÃO PRELIMINAR

Este é o nível que possui caráter regional, onde várias fontes de risco podem ser analisadas em uma vasta região, pelo que, não cabe detalhamento na avaliação dos riscos envolvidos. Dos quatro componentes acima citados para a análise do risco, somente se faz necessário caracterizar nesse nível de abordagem o *perigo* e suas *conseqüências*, representadas pelas diferentes fontes de risco abordadas nesse estudo.

O perigo é representado pelas diferentes cargas contaminantes presentes na região estudada, bem como suas possíveis conseqüências para as águas subterrâneas dessa região que, no caso, constituem o agente receptor em termos de meio ambiente e agente transmissor com relação aos seus consumidores.

A avaliação do perigo existente em cada carga contaminante analisada levará em consideração o efeito potencial que as substâncias que integram tal contaminação podem representar em termos de saúde, segurança ou conseqüências ambientais.

A avaliação do perigo dessas cargas leva sempre à definição de padrões de aceitabilidade, onde são estabelecidos limites críticos além dos quais se torna iminente o risco de danos inaceitáveis

à saúde. Esses limites correspondem, pois, à quantidade que uma determinada substância pode ser ingerida durante a vida sem causar danos significativos. Esse nível de risco torna-se mais exigente quando a substância é cancerígena, pois qualquer nível de exposição pode causar o mesmo efeito.

Por outro lado, a falta de elementos detalhados na fase de investigação preliminar torna ainda mais evidente a influência exercida pelas inúmeras incertezas relacionadas no item anterior, dificultando significativamente a avaliação do risco e impedindo uma quantificação dos parâmetros característicos de uma avaliação detalhada.

NÍVEL DE INVESTIGAÇÃO DETALHADA

Independentemente da necessidade precípua de executar uma investigação detalhada, face à uma evidência já constatada para uma contaminação comprovada, todo trabalho em nível preliminar deve embasar estudos mais detalhados e localizados, em função de futuras demandas para melhor diagnosticar os impactos gerados pelas fontes de contaminação ora abordadas e indicar soluções remediativas para cada problema surgido.

O risco de um acidente, antes de avaliado, deve ser classificado em função das características de seus principais componentes.

Conforme citado no item anterior, o perigo de uma carga contaminante é controlado pelos padrões de aceitabilidade e conseqüente risco para cada substância presente nessa carga.

Assim, a análise de riscos complementa a caracterização do perigo através da classificação de cenários que levam em consideração a probabilidade de ocorrência (frequência) e a severidade das conseqüências.

Para isso, pode ser utilizada a técnica APR (Análise Preliminar de Risco) recomendada pela AICLE (1987) e que teve origem na área militar, com a finalidade de possibilitar uma revisão nos novos sistemas de mísseis nos Estados Unidos.

Por tal análise, a *freqüência* de ocorrência de um determinado evento que implique em risco ambiental pode ser classificado segundo as categorias apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Categorias de Frequência do Acidente

CATEGORIA	DENOMINAÇÃO	FAIXA (OCOR./ANO)	DESCRIÇÃO
A	Remota	$F < 10^{-3}$	Não esperado ocorrer durante a vida útil da instalação
B	Improvável	$10^{-3} \leq F < 10^{-2}$	Improvável de ocorrer durante a vida útil da instalação
C	Provável	$10^{-2} \leq F < 10^{-1}$	Provável de ocorrer durante a vida útil da instalação
D	Freqüente	$F > 10^{-1}$	Esperado ocorrer pelo menos uma vez durante a vida útil da instalação

A severidade das conseqüências de um acidente pode ser enquadrada nas categorias apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Categorias da Severidade das Consequências

CATEGORIA	DESCRIÇÃO
I – Desprezível	A falha não resultará em degradação maior do sistema, não sendo esperadas lesões, sendo desprezível o aumento de risco para o sistema.
II – Marginal ou Limítrofe	A falha irá degradar o sistema em uma certa extensão, porém sem comprometê-lo seriamente nem causar lesões graves.
III – Crítica	A falha causará danos substanciais ao sistema, provocando lesões e resultando em riscos inaceitáveis que requerem ações preventivas para impedi-los ou corretivas imediatas para repará-los.
IV - Catastrófica	A falha produzirá severa degradação ao sistema e ao meio ambiente, resultando em sua perda total, ou ainda, em lesões graves e/ou mortes, requerendo ações preventivas e/ou corretivas imediatas.

A **classificação do risco** pode ser obtida pela combinação das categorias de frequência e severidade das consequências dos quadros acima, conforme indicado no Quadro 3.

Quadro 3 - Matriz Qualitativa para Classificação dos Riscos

VALOR DO RISCO	COMBINAÇÃO DAS CATEGORIAS
RISCO CRÍTICO	IV,D – IV,C – III,D
RISCO SÉRIO	IV,B – III,C – II,D
RISCO MODERADO	IV,A – III,B – II,C
RISCO BAIXO	III,A – II,B – I,C – I,D
RISCO DESPREZÍVEL	II,A – I,B – I,A

A **avaliação de risco** de acidentes envolvendo eventos que propiciem mais de uma hipótese acidental pode ser baseada na seguinte equação:

$$R = \frac{1}{N} \sum x_i f_i$$

Sendo:

R = Risco total do evento

N = Número de pessoas expostas aos riscos, calculado com base na maior área atingida pelo acidente

f = Frequência anual de um dado acidente

x = Número de mortes resultantes do acidente

i = Número de hipóteses acidentais

EXEMPLO DE UM ZONEAMENTO DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO

Como exemplo prático de uma avaliação de risco de contaminação de água subterrânea, foi escolhido um caso de investigação preliminar, quando um município de grande porte (Belo Horizonte, com mais de 2.200.000 habitantes) teve caracterizado, através de uma tese de doutoramento (COSTA, 2002), o potencial de contaminação de seus aquíferos a partir de seis diferentes tipos de cargas contaminantes, a saber: postos de combustíveis, cemitérios, indústrias, aterro sanitário, hospitais e esgotos.

Considerando a extensão da área pesquisada (335 km²) e a diversidade de fontes poluentes, esse trabalho adotou critérios prioritariamente qualitativos para a avaliação dos riscos, baseando-se no esquema proposto por Foster & Hirata (1993), que considera a vulnerabilidade dos aquíferos e o potencial das cargas contaminantes como elementos caracterizadores desses riscos.

Nessa pesquisa, a **vulnerabilidade do aquífero** foi mapeada com base em critério adaptado pelo autor para as circunstâncias locais, resultando no zoneamento de 4 categorias mais importantes: fraca, média, forte e extrema.

Por outro lado, o **potencial das cargas contaminantes** analisadas nessa pesquisa foi classificado pelo seu autor segundo as seguintes categorias: reduzido ou inexistente, moderado e elevado.

Cruzando-se essas classificações no modelo proposto por Foster & Hirata (1993), obtém-se o esquema de zoneamento apresentado na Figura 1.

		VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO			
		FRACA	MÉDIA	FORTE	EXTREMA
POTENCIALIDADE DA CARGA CONTAMINANTE	REDUZIDA OU INEXISTENTE	I			
	MODERADA		II	III	
	ELEVADA				IV

Figura 1 - Classificação do Risco à Contaminação das Águas Subterrâneas de Belo Horizonte

Os riscos assim determinados foram divididos em 4 categorias assim definidas:

- I - Ausência de risco iminente
- II - Riscos de pequenas proporções
- III - Riscos de proporções médias
- IV - Riscos de elevadas proporções

Os cuidados a observar na utilização da água subterrânea em cada uma das zonas acima classificadas são os seguintes:

- Zona I** - Não há cuidados a observar
- Zona II** - Necessário conhecer os dados existentes sobre contaminação nas proximidades do local previsto para captação da água subterrânea (raio de 100 m).
- Zona III** - Necessário investigar a qualidade da água subterrânea com poços exploratórios.
- Zona IV** - Evitar o consumo da água subterrânea.

Na figura 2, foi procedido o zoneamento do risco à contaminação das águas subterrâneas no município de Belo Horizonte, obedecendo aos critérios acima definidos, sendo ainda plotados todos os poços tubulares existentes nesse município.

Apesar de qualitativo, esse mapa mostra uma situação geral tranquilizadora para as águas subterrâneas do município estudado, já que dominam nessa extensa área as zonas I e II, ou seja, com ausência de risco iminente e com riscos de pequenas proporções, respectivamente.

Note-se ainda que, as áreas de risco de elevadas proporções restringem-se a 11 manchas em todo o município, onde apenas duas delas apresentam grandes extensões e que são relacionadas com o aterro sanitário e com a indústria Manesman.

Apesar dessa situação aparentemente tranqüila, observa-se nessa figura que já existe um grande número de poços perfurados nas áreas de riscos de proporções médias a elevadas, como indicam os seguintes números:

- Zona I: 68 poços - 26%
- Zona II: 128 poços - 50%
- Zona III: 43 poços - 17%
- Zona IV: 19 poços - 7%

Observa-se desses números que, apesar de 76% dos poços não apresentarem evidências de estarem captando águas contaminadas, 24% desses poços são passíveis de induzir algum risco aos seus consumidores, principalmente os 19 poços perfurados na zona IV.

Obviamente, o risco iminente pode ser significativamente minimizado em muitos locais aparentemente perigosos, pelas condições intrínsecas de atenuação da zona vadosa, pela obstrução à infiltração das águas pluviais e pelas inúmeras incertezas comentadas no presente trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- AICLÉ – American Institute of Chemical Engineers – 1987 – “Guidelines for Process Equipment Reliability Data”, New York-USP, in BRANT Meio Ambiente – 2001 (inédito)
- COSTA, W. D. – 1997 – Gestión y conservación del agua: Contaminación de las aguas subterráneas en el Brasil – Seminário apresentado na Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad de Alcalá de Henares (Madrid) e na Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Valladolid – Espanha. Inédito.
- COSTA, W.D. – 2002 – Caracterização das Condições de Uso e Preservação das águas subterrâneas no município de Belo Horizonte-MG – Tese de Doutorado apresentada na USP
- FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C.A. – 1993 – Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes. IG. Bol.n.10, 92 p. São Paulo.
- HIRATA, R.C.A. – 1997 – Vulnerabilidade e Risco de Contaminação dos Recursos Hídricos Subterráneos – Sem. Impactos Ambientais e Águas Subterrâneas no Brasil – ABAS/CPRM, Rio de Janeiro.
- HIRATA, R.C.A.; BASTOS, C.R. de A.; ROCHA, G.A. (Coord.) - 1997 – Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo IG/CETESB, 2v. 144p. São Paulo.
- REICHARD, E; CRANOR, C; RAUCHER, R; ZAPPONI, G. – 1990 – Groundwater contamination risk assessment: a guide to understanding and managing uncertainties – IAHS publ. n. 196, 205 p. Oxfordshire, UK.

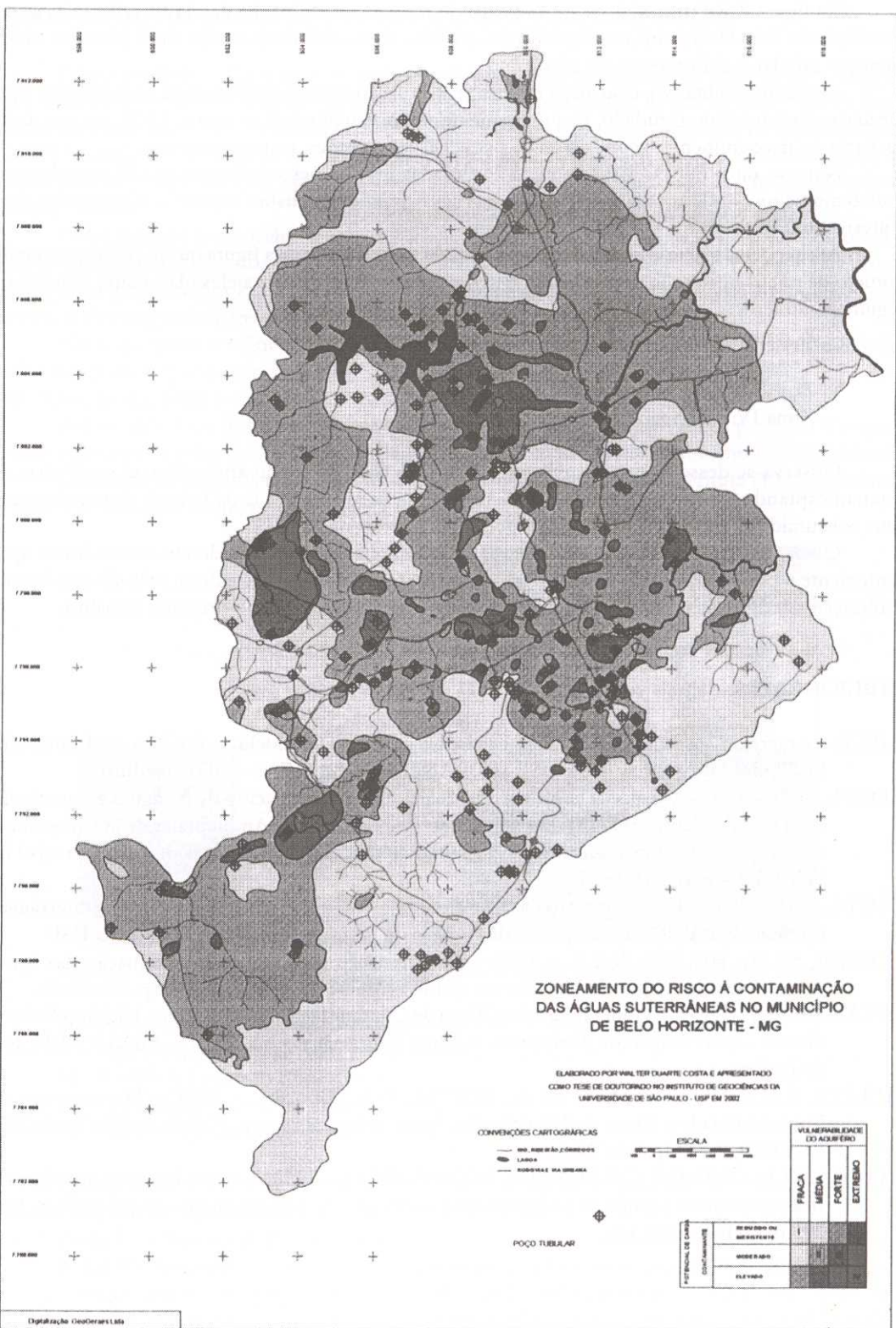


Figura 2