

RISCOS DE POLUIÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA DE AVALIAÇÃO REGIONAL

Stephen S. D. Foster (1)
Ricardo César Hirata (2)
Gerônimo Albuquerque Rocha (2)

ABSTRACT

Improving the protection of groundwater against serious pollution is an urgent but difficult task, involving rather complex and poorly defined concepts. During infiltration through soil and transport in aquifers many contaminants are naturally attenuated, but not all surface environments are equally effective in this respect. Moreover certain contaminants are mobile and persistent in most environments. If protection strategies are not to be unnecessarily restrictive, aquifer pollution vulnerability, which can be considered an intrinsic characteristic, needs to be ranked and mapped. Groundwater pollution risk is most logically defined in terms of the interaction between aquifer vulnerability and the pollution loading that is, or will be, applied to the subsurface. High pollution risk should require implementation of a realistic protection strategy. The options in this respect are considered.

INTRODUÇÃO

Nas duas últimas décadas tem-se acentuado o desenvolvimento da exploração de águas subterrâneas no Brasil. Estima-se hoje a existência de 80.000 poços tubulares ativos (além de milhares de poços rasos, escavados), que fornecem água para os diversos fins, sobretudo para abastecimento urbano. Centenas de núcleos urbanos de porte variado são hoje abastecidos exclusivamente por água subterrânea. Numerosos polos agro-industriais e agro-pecuários têm a água subterrânea como manancial prioritário para atendimento da demanda de água.

A crescente utilização dos recursos hídricos subterrâneos tende a aumentar nos próximos anos, tanto pelas necessidades decorrentes da concentração demográfica e da expansão econômica, como por suas vantagens relativas sobre as águas superficiais. Todavia, a situação atual da exploração é marcada por uma visão imediatista de uso do recurso, prevalecendo o descontrole e a falta de mecanismos legais e normativos. Nestas condições, os aquíferos, em diferentes áreas do território nacional, estão sujeitos aos impactos da extração descontrolada por poços e da ocupação indisciplinada do solo, que põem em risco a qualidade das águas.

O reconhecimento de que as águas subterrâneas constituem uma reserva estratégica e vital para o abastecimento público, remete a uma especial preocupação com a proteção dos aquíferos por causa dos seguintes aspectos envolvidos:

- . o aumento e a diversificação de produtos químicos, potencialmente poluidores da água subterrânea, sobretudo nas três últimas décadas;
- . o lançamento in natura de esgotos e efluentes industriais, em larga escala;
- . o grande aumento na aplicação de fertilizantes e pesticidas na agricultura;

(1) Hidrogeólogo, assessor do Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - CEPIS, da OPS
CP 4337, Lima, Peru

(2) Geólogos do Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE
Rua Richuelo, 115 - 4º andar
CEP 01007 - São Paulo - S.P.

- . os efeitos potencialmente nocivos à saúde, associados à poluição de captações de água subterrânea, acarretando concentrações baixas mas persistentes de certos contaminantes de toxicologia pouco conhecida;
- . a dificuldade e a impraticabilidade de se promover a remoção de poluentes em um grande número de fontes pontuais de captação (poços);
- . o fato de que a reabilitação de um aquífero poluído requer custos muito elevados, implicando muitas vezes no simples abandono da área de captação.

Apesar disso, existe uma atitude generalizada de subestimação dos riscos de poluição das águas subterrâneas, traduzida pela falta de políticas e de ações voltadas para a proteção dos aquíferos. A esse respeito, pesquisadores com experiência internacional (CLEARY & MILLER, 1984) assinalam que a poluição de água subterrânea nos países centrais não havia sido constatada até 15 anos atrás; porém, quando programas detalhados de monitoramento de poços começaram a detectar traços de orgânicos em poços de abastecimento público, foram criados programas governamentais e uma rigorosa legislação de água subterrânea. Após notarem que as indústrias e processos existentes no Brasil são semelhantes aos dos países de origem (estes com inúmeros casos comprovados de poluição) os autores deduzem que os processos de poluição dos aquíferos devem estar acontecendo aqui, só que não são pesquisados.

Numa estratégia de defesa da qualidade das águas subterrâneas, propõe-se, como passo inicial, uma avaliação regional, a nível de reconhecimento e com base em dados disponíveis, que consiste em mapear os graus de vulnerabilidade natural dos sistemas aquíferos e caracterizar os riscos potenciais de poluição associada à carga contaminante. A base técnica resultante constituirá um instrumento para o planejamento das políticas e ações de proteção das águas subterrâneas.

RISCO DE POLUIÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA: FUNDAMENTOS

A caracterização mais aproximada da idéia de risco de poluição de água subterrânea consiste na associação e interação entre a vulnerabilidade natural do aquífero e a carga contaminante aplicada no solo ou em sub-superfície (figura 1).

De acordo com este esquema, pode-se configurar uma situação de alta vulnerabilidade, porém sem risco de poluição, pela ausência de carga poluidora significativa, ou vice-versa. A carga poluidora pode ser controlada ou modificada; o mesmo não ocorre com a vulnerabilidade natural, que é uma propriedade intrínseca do aquífero.

A vulnerabilidade de um aquífero à poluição significa sua maior ou menor susceptibilidade de ser afetado por uma carga contaminante imposta. É um conceito inverso ao de capacidade de assimilação de um corpo de água receptor, com a diferença de que o aquífero possui uma cobertura não saturada que proporciona uma proteção adicional. A caracterização da vulnerabilidade do aquífero pode ser melhor expressa por meio dos seguintes fatores (figura 1):

- . acessibilidade da zona saturada à penetração de poluentes;
- . capacidade de atenuação, resultante de retenção físico-química ou reação de poluentes.

Estes dois fatores naturais são passíveis de interação com os elementos característicos da carga poluidora, a saber:

- . o modo de disposição no solo ou em sub-superfície;
- . a mobilidade físico-química e a persistência do poluente.

A interação destes fatores permite avaliar o grau de risco de poluição a que um aquífero está sujeito. Nesta avaliação devem ser ponderados, ainda, a escala e magnitude do episódio de poluição, assim como a essencialidade do recurso hídrico.

drico afetado.

METODOLOGIA DE RECONHECIMENTO REGIONAL

Para as condições brasileiras, considera-se recomendável a realização de trabalhos de reconhecimento básico, em âmbito estadual ou regional (escala 1:250.000 ou 1:500.000), da situação de vulnerabilidade e risco de poluição dos aquíferos, de modo a identificar e a delimitar áreas potencialmente críticas. Este tipo de trabalho, de caráter expedito, procura tirar partido de dados existentes e levantamentos hidrogeológicos disponíveis, sem que necessariamente sejam utilizados os recursos e atividades adicionais. É, portanto, um método que deve ser claramente diferenciado daqueles que se baseiam em investigações de campo, incluindo amostragens, medições de nível da água e de efluentes, e, em muitos casos, a perfuração de poços de monitoração, - os quais pertencem a um estágio mais avançado de estudo (quadro 1).

Neste sentido, FOSTER & HIRATA (1988) propõem um roteiro básico de avaliação, em separado, da vulnerabilidade natural do aquífero e da carga contaminante, de cuja interação deve resultar uma caracterização preliminar das áreas de risco.

Caracterização da vulnerabilidade natural

Os componentes da vulnerabilidade de um aquífero não são diretamente mensuráveis e, sim, determinados por meio de combinações de outros fatores (tabela 2). Além disso, dados referentes a vários fatores não podem ser facilmente estimados ou não estão disponíveis, o que obriga na prática a uma redução e simplificação da lista de parâmetros requeridos. No limite, a lista de parâmetros disponíveis ficará reduzida a três, a saber:

- a) o tipo de ocorrência da água subterrânea (ou a condição do aquífero)
- b) as características dos estratos acima da zona saturada, em termos de grau de consolidação e tipo litológico;
- c) a profundidade do nível da água.

A metodologia empírica (Foster, 1987) proposta para avaliação da vulnerabilidade natural do aquífero, engloba sucessivamente estes três fatores (figura 2). A primeira fase consiste na identificação do tipo de ocorrência da água subterrânea, num intervalo de 0 - 1. A segunda fase trata da especificação dos tipos litológicos acima da zona saturada do aquífero, com a discriminação do grau de consolidação (presença ou ausência de permeabilidade por fissuras) e das características granulométricas e litológicas. Este fator é representado numa escala de 0,4 - 1,0, além de um sufixo para os casos de tipos litológicos que apresentam fissuras ou com baixa capacidade de atenuação de contaminantes. A terceira fase é estimativa da profundidade do nível da água (ou do teto de aquífero confinado), numa escala 0,4 - 1,0. O produto destes três parâmetros será o índice de vulnerabilidade, expresso numa escala de 0 - 1, em termos relativos.

Mapas de vulnerabilidade obtidos por meio de esquemas simplificados como esse, devem ser sempre interpretados com certa precaução, uma vez que não existe uma vulnerabilidade geral a um contaminante universal, num cenário típico de contaminação. Não obstante, considera-se que um sistema de classificação e mapeamento de aquíferos com base em um só índice de vulnerabilidade pode ser útil ao nível de reconhecimento. Sua validade técnica pode ser assumida desde que fique claro que este índice não se refere a contaminantes móveis e persistentes que não sofrem retenção significativa ou transformação durante o transporte em sub-superfície. Esquemas generalizados e simplificados, quando não existe informação suficiente ou dados adequados, vêm sendo progressivamente desenvolvidos (Albinet & Margat, 1970; Aller et al, 1985).

Caracterização da carga contaminante

Do ponto de vista teórico, quatro características semi-independentes da carga contaminante precisam ser estabelecidas para cada atividade:

a) a classe de contaminantes envolvida, definida quanto a sua tendência de degradação (como resultado de atividade bacteriológica ou reação química) e a tendência ou retardamento devido a processos de troca de cations, sorção e outros,

b) a intensidade do evento de contaminação, em termos da concentração relativa de cada contaminante em relação aos valores recomendados pela OMS para a estabilidade da água e da extensão da área afetada.

c) o modo de disposição no solo ou sub-solo, analisado quanto à carga líquida associada e a profundidade de descarga do efluente ou de lixiviação de resíduos sólidos.

d) a duração de aplicação da carga contaminante, incluindo o período em que a carga é aplicada e a probabilidade de que ela atinja o sub-solo.

Cada uma destas características atua com os diferentes componentes da vulnerabilidade natural do aquífero, resultando no maior ou menor risco de contaminação. Desta maneira, não é apropriado combinar esses quatro componentes da carga num só índice, à semelhança da vulnerabilidade.

Na prática, dado o estágio atual de conhecimento técnico, é difícil encontrar todos os dados requeridos para a caracterização da carga contaminante numa determinada área (tabela 2). Face a este problema, uma alternativa viável é focar a questão por grupos de atividades geradoras de contaminação e, a partir daí, listar as atividades predominantes na área (tabela 1).

Em áreas urbanas, a principal preocupação é a carga contaminante em zonas residenciais sem esgotamento sanitário, em tanques e fossas negras, que incluem nutrientes e sais (nitrato e cloro), bactérias e vírus e compostos orgânicos solúveis.

Nas áreas de concentração industrial, devido a extrema diversidade de atividades, processos de fabricação e práticas de disposição de efluentes, há maior dificuldade em estimar a carga contaminante. Geralmente é possível estimar o volume de efluente a partir da quantidade de água utilizada, mas é difícil estabelecer a fração infiltrada no sub-solo. Resíduos sólidos, dispostos em lixões ou aterros sanitários, podem ter seus volumes de lixiviados estimados com certa segurança; porém, em muitos casos, não há informação confiável sobre a composição dos resíduos. Em todos os casos, torna-se necessário identificar cada fonte e analisá-las uma a uma.

Em áreas agrícolas, algumas práticas de manejo da terra podem causar uma séria contaminação difusa das águas subterrâneas, com altas taxas de lixiviação de nitratos e outros ions móveis e persistentes. A taxa de lixiviação é normalmente estimada em termos de proporção de perda do peso aplicado.

De um modo geral, importa sobretudo identificar e prestar especial atenção aqueles constituintes que apresentam maior ameaça à saúde pública. Dentre os constituintes inorgânicos, os nitratos são os de ocorrência mais generalizada e problemática, devido a sua alta mobilidade e estabilidade em sistemas anaeróbios. Os metais pesados perigosos (cadmio, cromo, chumbo, mercúrio) tendem a ser imobilizados por precipitação e só migram em condições de pH e Eh baixos. Quanto aos constituintes orgânicos, os que parecem apresentar ameaça maior são alguns dos alcanos e alquenos clorados, relativamente solúveis na água.

Considera-se que, mesmo com as dificuldades de se caracterizar a carga contaminante em relação com as águas subterrâneas, é possível estabelecer uma graduação em termos de sua periculosidade (MAZUREK, 1979). A partir das informações

sobre os contaminantes envolvidos e suas concentrações, associadas à carga hidráulica, pode-se estabelecer três níveis (reduzido, moderado, elevado) distinguindo fontes potencialmente perigosas de outras que não oferecem grandes riscos.

Cartografia

Uma vez definida a vulnerabilidade natural do aquífero, sugere-se que este índice seja representado em mapa, com a delimitação das distintas áreas. Em cada domínio devem ser, também, representados os parâmetros hidrogeológicos adotados, como referência para uma avaliação mais específica do risco de contaminação.

Sobre o mapa de vulnerabilidade podem ser assinalados os pontos referentes à carga contaminante, com indicação das suas principais características. Ao lado disso, deve-se organizar um cadastro de fontes de poluição, com dados mais completos. No caso de fontes multipontais ou difusas de contaminação, é mais prático delimitar a extensão das áreas com hachuras e representar os parâmetros da carga contaminante.

O exame conjunto, em mapa, das áreas mais vulneráveis em associação com fontes de contaminação potencialmente perigosas, ressaltará áreas críticas que serão objeto de estudos de detalhe, com programas de monitoração, e de medidas especiais de proteção.

ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO

O mapa de vulnerabilidade e risco de poluição de águas subterrâneas, a nível de reconhecimento regional, constitui uma base técnica de planejamento para as ações governamentais de controle e proteção dos aquíferos, na medida em que identifica e representa o zoneamento cartográfico de áreas potencialmente críticas.

Para o estabelecimento de políticas e programas de prevenção e controle da poluição, há que se considerar duas estratégias ou concepções distintas: a primeira, aparentemente mais simples, consiste em impor diferentes níveis de restrição, por meio dos chamados perímetros de proteção em torno de poços ou baterias de poços, caracterizando cada zona por um tempo de trânsito específico (variando de meses a alguns anos) em relação a estas fontes de captação. Este enfoque, apesar da conveniência administrativa e simplicidade legislativa, apresenta as seguintes restrições a uma aplicação efetiva:

- o número crescente de poços em muitas áreas torna inviável o estabelecimento de zonas de proteção fixas;
- as deficiências dos dados e as incertezas técnicas dificultam o cálculo das dimensões requeridas pelos perímetros de proteção, exigindo um trabalho de detalhe, caso a caso, normalmente oneroso;
- o enfoque de perímetro de proteção está centrado no tempo de trânsito na zona saturada quando, na prática, é a zona não saturada a que oferece a barreira mais eficaz contra a contaminação.

Em vista disso, torna-se necessário buscar uma segunda via, mais ampla, flexível e universalmente aplicável para a proteção das águas subterrâneas. Trata-se de promover o controle das atividades agrícolas, industriais e urbanas face à vulnerabilidade do aquífero à poluição, considerando a importância local do ecurso hídrico subterrâneo no fornecimento de água potável. A questão crucial é saber se se deve permitir a existência de indústrias que utilizam produtos químicos altamente tóxicos e persistentes, e de atividades agrícolas que dependem da aplicação de grandes quantidades de fertilizantes e praguicidas em áreas de alta vulnerabilidade de contaminação do aquífero.

A atitude mais realista e prática na conservação da qualidade das águas sub

terrâneas, talvez seja buscar a combinação das duas opções, por meio das seguintes diretrizes:

- . exercer a proteção geral do aquífero, sobretudo na área de recarga, com medidas de controle das atividades que o afetam;
- . estabelecer áreas de proteção especial em torno das baterias de poços de abastecimento público de água.

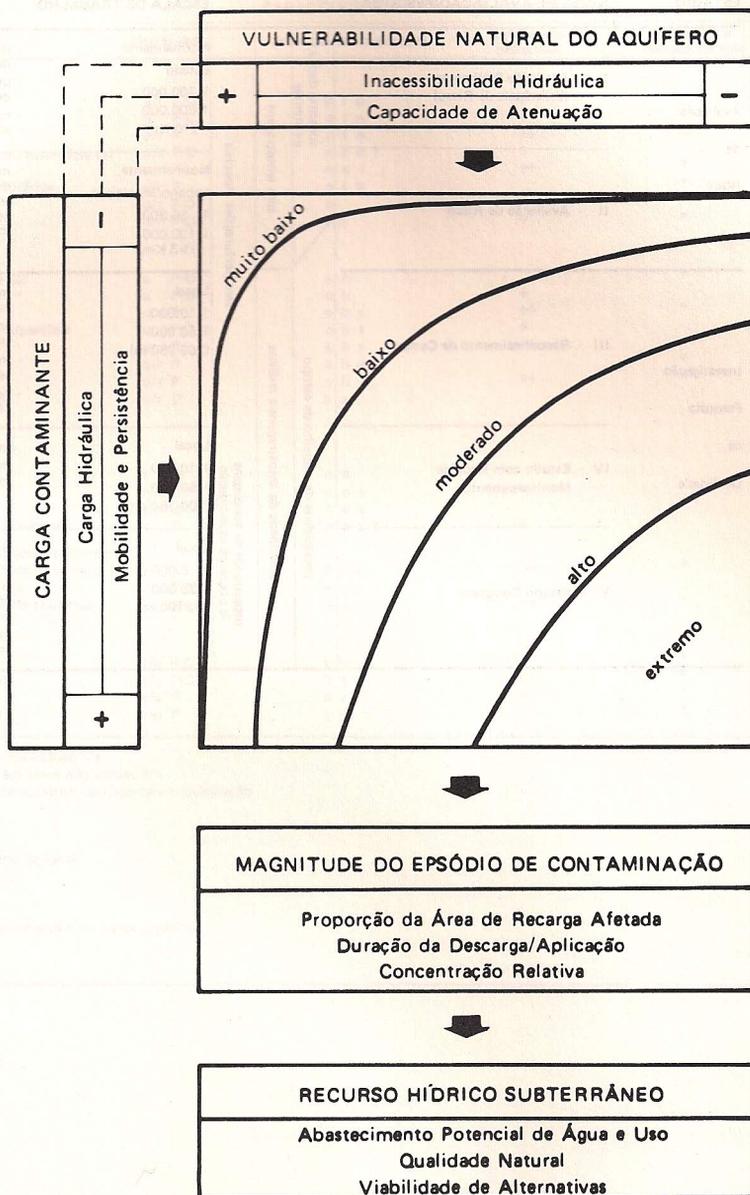
AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Vera Lucia do Amaral Haber, que datilografou os manuscritos, e a Maria de Fátima Vieira de Azevedo, Rosângela Faria Valadão Castro e Armando Fava Filho que elaboraram as ilustrações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBINET, M. & MARGAT, J. 1970. Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Bull BRGM 2me Series : 3 (4) : 13-22.
- ALLER, L, BENNET, T, LEHR, J.H. & PETTY, R.J. 1985. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. US-EPA Report 600/2-85/018.
- CLEARY, R.W. & MILLER, D.W. (1984). Aspectos Fundamentais e Monitoramento de Poluição de Água Subterrânea, Fortaleza, CE, Anais 2: 313-330.
- FOSTER, S.S.D., 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. Proc. Int. Conf. "Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants!" (Noordwijk, The Netherlands, March-April, 1987).
- FOSTER, S.S.D. & HIRATA, R.C., 1988. Evaluacion del riesgo de contaminacion de las aguas subterraneas - metodo de reconocimiento basado en datos existentes. CEPIS-OPS, Lima, Peru; Version preliminar, 84p.
- LE GRAND, H.E. 1983. A standardised system for evaluating waste disposal sites. NWWA (Worthington/Ohio - U.S.A.) 49 pp.
- MAZUREK, J., 1979. Summary of the modified Le Grand method. National Center for Groundwater Research, University of Oklahoma, Norman, OK., U.S.A.
- WHO, 1982. Rapid assessment of sources of air, water, and land pollution. WHO Offset Publication 62, 113 p.

Figura 1 – ESQUEMA CONCEITUAL PARA DEFINIÇÃO DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA



**Quadro 1 – NÍVEIS DE AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
(EM ORDEM DE AUMENTO DE INVESTIMENTOS)**

ESTÁGIO	NÍVEL DE AVALIAÇÃO/PESQUISA	ESCALA DE TRABALHO		CRITÉRIOS	
Avaliação de Risco	I - Avaliação Preliminar (Existência de Risco)	somente dados existentes	sem amostragens	Normalmente Estado 1:200.000 1:500.000 (10 Km)	- distribuição e concentração de cargas contaminantes - presença de aquífero freático ou poços confinados - carga hidráulica natural e artificial
	II - Avaliação de Risco			Normalmente Urbano/Municipal 1: 50.000 1:100.000 (1-3 Km)	- mais profunda caracterização de vulnerabilidade do aquífero e carga contaminante e sua interação
Investigação Pesquisa de Qualidade	III - Reconhecimento de Campo	necessidade de trabalho de campo	necessidade de amostragens e análises	Local 1:10.000 1:50.000 (200-250 m)	- medição e amostragem da carga contaminante - amostragem e medição dos poços existentes - métodos geofísicos (se apropriados) - desenvolvimento de modelo conceitual
	IV - Estudo com Rede de Monitoramento			Local 1:10.000 1:50.000 (200-250 m)	mais - instalação de poços para monitoramento
	V - Estudo Completo			Local 1: 5.000 1:25.000 (50-100 m)	mais - ensaios hidráulicos em campo e laboratório - análise de solos e aquíferos em laboratório - modelação matemática e estocásticas, etc.

**Tabela 1 – SUMÁRIO DAS PRINCIPAIS ATIVIDADES
POTENCIALMENTE GERADORAS DE CARGA CONTAMINANTE EM SUB-SUPERFÍCIE**

ATIVIDADE	CARACTERÍSTICA DA CARGA CONTAMINANTE			
	distribuição	principal contaminante	sobrecarga hidráulica	ausência de camada de solo
URBANA				
Saneamento "insitu"	u/r P-D	n f o	+	*
Vazamento de esgotos (a)	u P-L	o f n		*
Lagoas de oxidação (a)	u/r P	o f n	++	*
Aplicação de águas residuais em superfície (a)	u/r P-D	n s o f	+	
Rios e canais de recepção (a)	u/r P-L	n o f	++	*
Lixiviado de lixões/aterros sanitários	u/r P	o s h		*
Tanques de combustível	u/r P-D	o		*
Drenos de rodovias	u/r P-D	s o	+	*
INDÚSTRIA				
Vazamento de tanques/tubos (b)	u P-D	o h		*
Derramamento acidental	u P-D	o h	+	*
Lagoas de efluentes	u P	o h s	++	
Lançamento de efluentes em superfície	u P-D	o h s	+	
Canais e rios receptores	u P-L	o h s	++	*
Lixiviado de resíduos sólidos	u/r P	o h s		*
Drenos de pátios	u/r P	o h	++	*
Material em suspensão e gases	u/r D	s o		
AGRÍCOLA (c)				
a. Área de cultivo				
- com agroquímicos	r D	n o		
- e com irrigação	r D	n o s	+	
- com lodos/resíduos	r D	n o s		
- com irrigação de águas residuais	r D	n o s f	+	
b. Beneficiamento/criação de gado e animais				
- lagoas de efluentes sem revestimento	r P	f o n	++	*
- lançamento em superfície	r P-D	n s o f		
- canais e rios receptores de efluentes	r P-L	o n f	++	*
EXTRAÇÃO MINERAL				
Desmante hidráulico	r/u P-D	s h		*
Descarga de água de drenagem	r/u P-D	h s	++	*
Lagoa de decantação	r/u P	h s	+	*
Lixiviado de resíduos sólidos	r/u P	s h		*
(a) Pode incluir componentes industriais				
(b) Pode também ocorrer em áreas não industriais				
(c) Intensificação apresenta aumento no risco de contaminação				
u/r Urbano/Rural				
P/L/D/R Pontual/linear/difuso/regional				
n Nutrientes				
f Patógenos fecais				
o Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica				
s Salinidade				
m Metais pesados				

Tabela 2 – LISTA DE DADOS E INFORMAÇÕES REQUERIDAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE E DA CARGA CONTAMINANTE

VULNERABILIDADE DO AQUIFERO	INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS	INFORMAÇÕES NORMALMENTE DISPONÍVEIS
OCORRÊNCIA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	<ul style="list-style-type: none"> existência de aquífero: qualidade hidroquímica da água subterrânea 	existência de aquífero qualidade hidroquímica da água subterrânea e uso
INACESSIBILIDADE HIDRÁULICA	<ul style="list-style-type: none"> tipo de ocorrência de água subterrânea profundidade da água subterrânea capacidade de infiltração do solo conteúdo de umidade da zona não saturada / retenção específica condutividade hidráulica vertical do aquífero ou aquífero 	tipo de ocorrência da água subterrânea profundidade da água subterrânea litologia, grau de consolidação e conteúdo de argila do aquífero ou aquífero
CAPACIDADE DE ATENUAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> espessura de solo e textura distribuição e tamanho dos grãos (fissuras) mineralogia da matriz (argila / óxidos de Fe e Al / conteúdo de matéria orgânica) porcentagem de argila 	característica litológica do aquífero ou aquífero
CARGA CONTAMINANTE		
CONTAMINANTE – MOBILIDADE E PERSISTÊNCIA	<ul style="list-style-type: none"> substância contaminante característica físico-químicas (filtração, sorção, troca iônica, volume, solubilidade) reatividade química (precipitação, hidrólise, complexação) biodegradabilidade 	possibilidade de ocorrência do contaminante aspectos gerais da mobilidade do contaminante aspectos gerais da reação química persistência relativa do contaminante
INTENSIDADE DO CONTAMINANTE	<ul style="list-style-type: none"> concentração relativa à padrões de qualidade do evento contaminador proporção afetada da área de recarga tratamento dos resíduos contaminantes 	concentração máxima possível do evento tipo de fonte contaminadora
MODO DE DISPOSIÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> profundidade da descarga do contaminante carga hidráulica (associado com descarga de contaminante + infiltração precipitação + escoamento superficial) 	profundidade da descarga do contaminante carga hidráulica
DURAÇÃO DA CARGA CONTAMINANTE	<ul style="list-style-type: none"> duração da aplicação probabilidade da ocorrência da carga 	tipo de fonte contaminadora

Figura 2 — ESQUEMA PARA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL DO AQUIFERO

