



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS IBAMA

DIRETORIA DE ECOSISTEMAS – DIREC

CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS – CECAV

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD



PRODUTO 05

TERMO DE REFERÊNCIA Nº 119701

ANDRÉ LUIZ DE MOURA CADAMURO
CONSULTOR TÉCNICO, GEÓLOGO - CECAV/IBAMA
CONTRATO Nº 2006/000372

RELATÓRIO DE PROPOSTA METODOLÓGICA PARA
ELABORAÇÃO DE TERMO DE REFERÊNCIA VISANDO ESTUDOS
HIDROGEOLÓGICOS EM CAVERNAS

Dezembro de 2006



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

RELATÓRIO DE PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ELABORAÇÃO DE TERMO DE REFERÊNCIA VISANDO ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS EM CAVERNAS, ELABORADO.

1. INTRODUÇÃO

As inúmeras interferências antrópicas no meio ambiente cárstico brasileiro têm desencadeado uma série de alterações físicas, biológicas e sócio-econômicas em várias regiões do país. As atividades impactantes, que buscam nos carstes suprimentos minerais, hídricos e mesmo àquelas relacionadas à "simples" ocupação urbana e/ou rural, com uma gama variada de interferências (disposição de resíduos sólidos, fossas e/ou redes de esgoto, implantação de cemitérios, instalação de postos de combustíveis, curtumes, atividades agropecuárias, etc) promovem alterações significativas ao equilíbrio sensível dos sistemas cársticos e, conseqüentemente, das cavernas e demais abrigos constituintes destes sistemas.

Os órgãos de gestão ambiental, nacionais, municipais e estaduais, recebem demandas constantes a respeito de atividades antrópicas desenvolvidas nos carstes brasileiros, necessitando de estudos ambientais nessas áreas, que permitam corretas avaliações sobre os impactos causados às cavernas envolvidas e ao sistema cárstico em geral. Os estudos hidrogeológicos em sistemas cársticos devem ser igualmente solicitados, haja vista a ligação direta dos ambientes superficiais do carste com os ambientes subterrâneos, devido principalmente ao ciclo hidrológico e à dinâmica hídrica nas cavernas, condutos, galerias e demais porosidades secundárias desses sistemas. Os estudos hidrogeológicos de áreas cársticas e cavernas em geral devem relacionar os possíveis subsistemas aquíferos presentes e todos os ambientes superficiais inter-relacionados.

Dentro de um sistema cárstico, uma caverna não é nada mais do que um resultado da ação do intemperismo, que assim como os demais condutos, galerias e fraturas constituem os meios pelos quais é possível a inter-relação entre os ambientes externos e subterrâneos, tendo o ciclo hidrológico como o motor do sistema. Os estudos hidrogeológicos nas cavernas, se bem elaborados e tecnicamente fundamentados, podem auxiliar de forma importante à tomada de decisões dos órgãos gestores do meio ambiente,



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

com vistas à correta fiscalização das atividades utilizadoras dos recursos naturais de regiões cársticas.

O objetivo deste relatório refere-se ao estabelecimento de diretrizes básicas (proposta metodológica) para elaboração de termos de referências que visam estudos hidrogeológicos em regiões cársticas, alcançando principalmente as cavernas envolvidas, por meio da geração e/ou reunião de dados sobre a hidrogeologia cárstica, para se ter um conhecimento sobre os aquíferos e meios inter-relacionados. As propostas de diretrizes apresentadas, portanto, são genéricas, de forma que possam ser aplicadas em diferentes condições de uso e ocupação e em diferentes carstes brasileiros.

Os termos de referências para elaboração de estudos hidrogeológicos em cavernas podem e devem ser revisados de acordo com a região de aplicação e de acordo com os avanços técnico-metodológicos em hidrogeologia, com vistas a manter atualizadas as propostas a seguir apresentadas.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

2. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A HIDROGEOLOGIA CÁRSTICA

O armazenamento e a circulação da água subterrânea no carste ocorrem, principalmente, nos denominados aquíferos cársticos e físsuro-cársticos. Do ponto de vista hidrogeológico considera-se como aquífero cárstico todo o pacote de rochas carbonáticas, incluindo aspectos exógenos e endógenos, capaz, simultaneamente, de armazenar e transmitir a água, dentro do quadro do ciclo hidrológico. Nesse aspecto a caverna, ou cavidade natural, faz parte da porosidade secundária que possibilita esse armazenamento e circulação hídrica. A movimentação da água subterrâneas nesses tipos de aquíferos ocorre principalmente através dessas cavidades naturais, dos condutos, galerias e fraturas das rochas constituintes do aquífero, abrangendo tanto a porção saturada quanto insaturada de água.

Segundo Karman (2001), os aquíferos de condutos (como também podem ser chamados os aquíferos cársticos) caracterizam-se pela porosidade cárstica*, constituída por uma rede de condutos, com diâmetros milimétricos a métricos, gerados pela dissolução de rochas carbonáticas.

Em termos hidrogeológicos, um carste apresenta-se como um meio anisotrópico, onde as propriedades do aquífero são variáveis, até mesmo em poucos metros de distância. Os aquíferos carbonáticos, segundo Fetter (1994) mostram uma larga variação nas características hidrológicas.

Segundo Costa & Silva (2000), a caracterização do sistema hidráulico desses tipos de aquíferos são dificultadas pela aleatoriedade da dissolução cárstica e fraturamento das rochas carbonáticas, que condicionam a circulação e o armazenamento das águas subterrâneas. Todavia, apesar dessa aparente aleatoriedade mencionada por Costa & Silva (2000), sempre há um padrão de dissolução cárstica bem definido, sendo possível a individualização de zonas cársticas distintas, isso ocorre devido ao controle estrutural e hidráulico que controlam as misturas de água e circulação hídrica.

Dentre as principais peculiaridades hidrogeológicas dos aquíferos cársticos pode-se destacar (Costa & Silva, 2000):

* A porosidade cárstica é um tipo de porosidade secundária, ou seja, desenvolve-se na rocha após a sua formação por meio da dissolução das rochas carbonáticas aproveitando feições primárias como fraturas ou planos de acamamento da mesma.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

- Grande rapidez da infiltração das chuvas e outras águas superficiais;
- Anomalias na direção do fluxo de água com relação ao gradiente potenciométrico regional;
- Grande diferença entre a média e a mediana da distribuição estatística dos valores de permeabilidade em um mesmo aquífero (parâmetros com valores anisotrópicos);
- Parâmetros hidrodinâmicos do aquífero, como o coeficiente de armazenamento (S) e transmissividade (T) com valores bastante variáveis dentro de um mesmo aquífero cárstico (anisotropia).

Segundo UT (2006), o sistema cárstico apresenta de forma geral alguns elementos hidrológicos principais (figura 1). Uma parte do armazenamento e/ou circulação da água pode ser feita nas fraturas e na matriz porosa da rocha, quando houver; ou através do sistema de condutos, desenvolvido por meio da dissolução de planos preferenciais, ou por um misto dos dois, fraturas e condutos.

O sistema de condutos é muito mais permeável do que o sistema fissural e a matriz porosa. As cavernas são formadas na intersecção e sobreposição desses condutos, em pontos de mistura de diferentes águas, com diferentes concentrações hidroquímicas. Pode-se considerar também, que uma determinada caverna possui uma rede de condutos e galerias que a constituem, ou até mesmo, que é constituída de um único conduto ou galeria. O mais importante é que a união dessas porosidades cársticas, ou seja, a interconexão dessas aberturas é responsável pela manutenção e evolução genética dos ambientes espeleológicos.

A recarga dos aquíferos num carste pode ocorrer de forma difusa por meio da infiltração da água da chuva nos solos e de forma concentrada através de pontos de coleta d'água, como dolinas, uvalas e outras feições cársticas, que dão acesso indireto ou direto à rede de condutos e cavernas vadosas que, por sua vez, dão acesso à água para circular na zona insaturada (vadosa) e alcançar a zona saturada (freática). Uma vez alcançada a superfície de água subterrânea (*water table*), a água, através da mesma rede de condutos e cavernas freáticas, agora segue caminho em função dos gradientes hidráulicos locais e



regionais até alcançar as áreas de descarga, em níveis de base locais e regionais, como lagoas e rios.

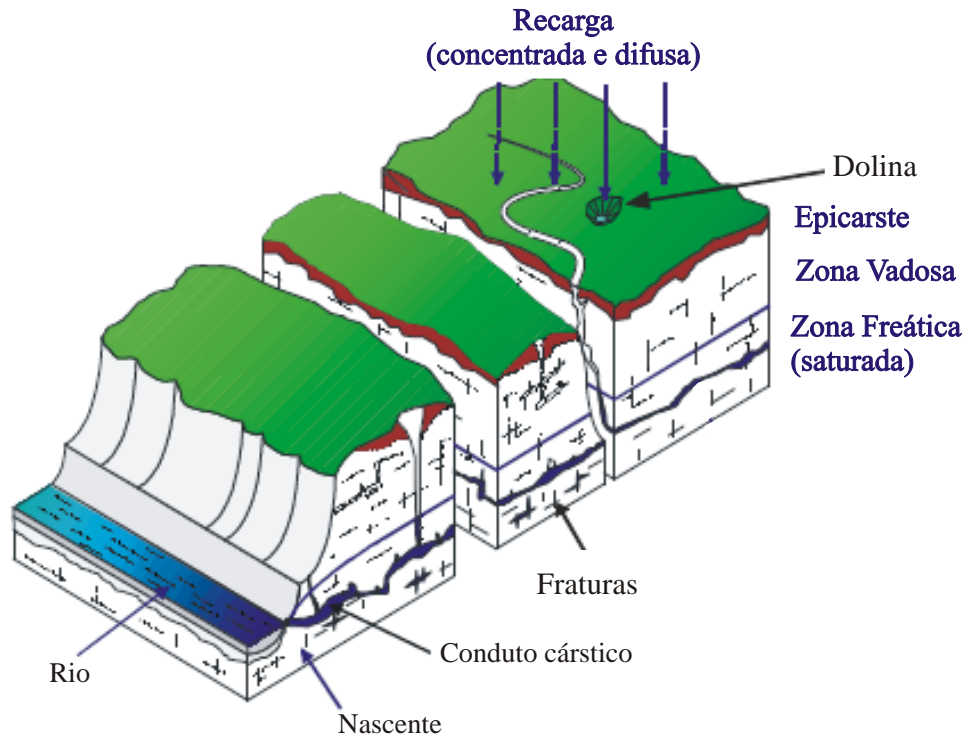


Figura 1 – Esquema geral dos sistemas de recarga, armazenamento e circulação de água nos carstes. Modificado de: UT (2006).

Os meios carbonáticos carstificados normalmente são tidos como meios rochosos de mais alta condutividade hidráulica (alta circulação e descarga), com valores 10^{-4} e 10 cm/s, perdendo apenas para depósitos inconsolidados, como conglomerados. Deste modo, assim como a água, também pode ocorrer a infiltração e a circulação de poluentes no aquífero cárstico, haja vista a ampla extensão das áreas de recarga e a rápida velocidade de circulação nos espaços vadosos e freáticos do carste.

Os poluentes que atingem o sistema de condutos, por exemplo, através das dolinas, uvalas e, mesmo por infiltração mais lenta, através dos solos, ao atingirem o nível d'água, se dispersam de diferentes formas, dependendo do tipo de poluente, mas geralmente podem alcançar, rapidamente, grandes distâncias e contaminar amplas áreas. Isto confere aos aquíferos cársticos uma alta vulnerabilidade à poluição. Karman (2001) também apontou a



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

fragilidade destes aquíferos devido a sua extrema vulnerabilidade à contaminação. Tal como o meio onde está inserida, a caverna também passa a ser um ambiente altamente vulnerável, assim como a tudo o que nela se desenvolve.

As avaliações da vulnerabilidade natural e do potencial de risco à contaminação dos aquíferos cársticos são importantes ferramentas de estudo em hidrogeologia, e têm sido amplamente empregadas principalmente no sudeste do Brasil, em aquíferos de diversas naturezas.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

3. ATIVIDADES ANTRÓPICAS POTENCIALMENTE IMPACTANTES DOS AQÜÍFEROS CÁRSTICOS E DE CAVERNAS

Os aquíferos cársticos ou físsuro-cárstico são normalmente bastante vulneráveis às diversas atividades antrópicas presentes numa região. Embora nem todas utilizem a água subterrânea ou interfiram diretamente na mesma, a facilidade de conexão da superfície com o meio subterrâneo num carste, por meio da rápida circulação de água por sumidouros, dolinas, uvalas, etc, proporciona uma fragilidade incomum aos aquíferos nesse meio.

Existem vários tipos de atividades que uma vez instaladas podem vir a afetar a dinâmica hidrogeológica em um carste e ocasionar alterações na química das águas subterrâneas. Cita-se a seguir algumas atividades antrópicas comuns nas regiões cársticas: mineração; abastecimento público/privado; agricultura; pecuária; indústrias em geral; curtume; postos de combustíveis ou armazenamento de combustíveis; cemitérios; disposição de resíduos sólidos (lixões ou aterros sanitários); presença de fossas e/ou rede de esgotos.

A instalação de quaisquer atividades antrópicas num carste representa um ponto de desequilíbrio no meio. Dentre as inúmeras interferências e suas respectivas conseqüências, que podem afetar direta ou indiretamente um aquífero cárstico, podemos citar de forma geral aquelas relatadas na tabela 1.

Tabela 1 – Relação geral das possíveis interferências antrópicas e as possíveis conseqüências, uma vez instaladas em áreas cársticas.

Interferências	Conseqüências
Bombeamento excessivo de poços exploradores do aquífero cárstico; exploração indiscriminada (não planejada) nas captações superficiais.	<ul style="list-style-type: none">- Rebaixamento do nível potenciométrico dos aquíferos;- Indução de recargas indesejadas e aceleração da contaminação da água; subterrânea e superficial;- Modificação da condição freática ou vadosa das cavernas;- Modificação da dinâmica hídrica nas cavernas;- Alterações na carstificação e formação de espeleotemas nas cavernas;



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

	<ul style="list-style-type: none">- Redução areal do ambiente natural de desenvolvimento de uma determinada espécie animal e conseqüente desequilíbrio ecológico;- Diminuição das reservas hídricas subterrânea e superficial (vazão);- Subsidência (abatimento) de terrenos, podendo causar problemas nas fundações das construções;- Interrupção e/ou variações na circulação hídrica no carste;
Lançamento e circulação de cargas contaminantes externas, como agrotóxicos; combustíveis, chorume (lixo), necrochorume (cemitérios), e outros poluentes, dependendo da atividade industrial;	<ul style="list-style-type: none">- Interferências na hidroquímica (qualidade) das águas subterrâneas: mudança de pH, cor, turbidez e demais parâmetros físico-químicos e bacteriológicos;- Restrição do uso do ambiente espeleológico devido à poluição da água para determinados fins;- Restrição da vida, devido à contaminação da água subterrânea por organismos patogênicos, substâncias tóxicas e/ou radioativas, prejudiciais ao homem e demais formas de vida na caverna;- Alteração dos processos de carstificação, gênese e evolução das cavernas;
Impermeabilização e/ou compactação dos solos em áreas de recarga;	<ul style="list-style-type: none">- Diminuição do volume de água infiltrado (recarga) no aquífero;- Aumento do escoamento superficial e carreamento de sedimentos, causando processos erosivos e assoreamento de condutos e cavernas;- Enchentes e enxurradas nos rios, causando danos nas áreas de descarga;- Redução das reservas hídricas no aquífero e da circulação hídrica nas cavernas, com o comprometimento da vida no ambiente espeleológico;
Supressão de maciços rochosos e cavernas	<ul style="list-style-type: none">- Eliminação do registro evolutivo do carste com a supressão de cavernas e condutos vadosos;- Diminuição da interconectividade da



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

	<p>porosidade secundária do aquífero, causando alterações na circulação e no armazenamento da água subterrânea;</p> <ul style="list-style-type: none">- Redução da recarga e de camadas reguladoras da recarga durante o ano hidrológico;- Aumento da vulnerabilidade do meio à contaminação, formação de novos pontos d'água expostos;- Obstrução de possíveis condutos subterrâneos do aquífero cárstico;- Restrição da vida, com o fim de ambientes espeleológicos;- Modificação da paisagem, podendo causar mudanças localizadas do clima;- Restrição do uso e aproveitamento técnico-científico e turístico das cavernas
--	--

As interferências certamente são bem maiores do que as listadas, onde cada interferência pode dar início a uma cadeia de modificações ambientais distintas, prejudicando não só o carste como toda a vida na região cárstica. Diante do quadro geral de possíveis intervenções antrópicas em carstes, portanto, pode-se balizar uma relação de informações (dados) gerais, a respeito do aquífero e do meio físico, necessária para a contextualização do ambiente e seus recursos hídricos, com vistas a iniciar os estudos de avaliação do aquífero e dos impactos sobre esse meio e as cavernas. Esses estudos seriam preliminares e comuns a qualquer tipo de atividade desenvolvida na região do carste que possa de alguma forma intervir no comportamento do aquífero e na dinâmica ambiental das cavernas. Apresenta-se na tabela 2 a relação dessas informações.

Tabela 2 – Informações ou estudos preliminares necessários para uma avaliação geral do ambiente cárstico e seus recursos hídricos.

INFORMAÇÃO OU ESTUDO	INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES OBRIGATÓRIAS	OBSERVAÇÕES
Apresentação do estado da arte do conhecimento do(s) aquífero(s) abordado	<ul style="list-style-type: none">- caracterização do quadro hidrogeológico regional e local;- mapa potenciométrico do aquífero cárstico e/ou fissuro-cárstico;	A caracterização deve abordar necessariamente o relevo e a



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

(os).	- estudos mais recentes desenvolvidos na região (artigos, teses, estudos governamentais, etc), com referências bibliográficas.	hidrografia regional e local;
Proposta de área de abordagem e definição das áreas de influência direta e indireta da atividade impactante.	- a área de abordagem para atividades impactantes pontuais ou difusas deverá sempre levar em consideração os limites das sub-bacias e bacias hidrográficas, respectivamente; - a área de abordagem para atividades impactantes lineares deverá sempre levar em consideração as litologias atravessadas e as sub-bacias, ou bacias, hidrográficas quando necessário; - criação de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) da área de abordagem, tendo as bases cartográficas oficiais como ponto de partida (escala e datum a ser definidos em comum acordo com o IBAMA) para o lançamento das informações levantadas e dos estudos realizados; - as áreas de influência direta e indireta devem sempre estar bem explicitas no SIG;	A atividade deverá sempre estar bem contextualizada quanto a geomorfologia, pedologia, hidrografia, topografia e geologia, devendo todos os estudos e/ou levantamentos ser representados cartograficamente no SIG-base.
Cadastro georreferenciado de pontos d'água - captação de água subterrânea.	- nome ou sigla do poço tubular; - coordenada geográfica (latitude e longitude) ou UTM*; - cota topográfica da boca do poço; - profundidade do poço (metro); - diâmetro útil do poço (polegadas); - nível estático (metro); - situação de operação (desativado ou operante); - vazão de operação (m ³ /h); - nível dinâmico de operação (metro); - regime de bombeamento (horas/dia); - perfil construtivo; - perfil geológico; - entradas de água; - ensaios de bombeamento disponíveis; - situação quanto à outorga (se outorgado anexar documentos)	O cadastro deve incluir todos os poços presentes na região (poços tubulares profundos, rasos, captações domésticas, poços abandonados, de monitoramento, etc) e abordar também o uso e finalidade da água na captação.
Cadastro georreferenciado de	- nome do rio ou nascente; - cota topográfica da captação;	O inventário deve abordar também o



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS

DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

pontos d'água - captação de água superficial	- localização em mapa e/ou geográfica (latitude e longitude) ou UTM*; - vazão de exploração (l/s ou m ³ /h); - população ou usuário atendido	uso e finalidade da água explorada
Cadastro georreferenciado de pontos d'água – dolinas, lagoas, lagos, resurgências e sumidouros.	- nome do ponto; - cota topográfica do ponto; - localização em mapa e/ou geográfica (latitude e longitude) ou UTM*; - condição hídrica (perenes ou intermitentes); - cota topográfica do nível d'água, quando houver;	Deve-se considerar todas as feições cársticas com água (perenes ou intermitentes, natural ou artificial), suas dimensões e os usos desses pontos d'água.
Cadastro das dolinas, uvalas e outras feições cársticas de acesso direto ou indireto às cavernas.	- tipo de feição cárstica; - coordenada geográfica (latitude e longitude) ou UTM*; - localização em mapa com referências de rios e cidades; - dimensão aproximada (diâmetro em metros); - preenchimento (sedimento, vegetação, etc).	O inventário deve considerar quaisquer feições cársticas passíveis de permitir a passagem de poluentes.
Cadastro de fontes potenciais de poluição	- fontes principais de contaminação mais comuns: fossas, rede de esgoto, postos de gasolinas, tanques reservatórios de combustíveis, entre outras. - coordenada geográfica (latitude e longitude) ou UTM* - cotas topográficas das fontes;	O inventário deve fazer uma abordagem quanto à distribuição espacial da fonte (pontual, difusa ou linear).
Cadastro das cavernas	- nome - coordenada geográfica (latitude e longitude) ou UTM* e cota topográfica das entradas ("bocas"); - vadosa ou inundada (com água ou não); - número de ocorrências de pontos de água; - tipo de cada ocorrência d'água (lago, rio subterrâneo, surgência subterrânea, sifão, etc); - cota topográfica do nível d'água na caverna (se existir); - situação do mapeamento topográfico (se mapeada fornecer planta baixa do contorno,	O cadastro deve ser baseado em um levantamento sistemático de ocorrências espeleológicas.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

	esqueleto topográfico e principais bases topográficas); - coordenada geográfica (latitude e longitude) ou UTM* das bases topográficas apresentadas em mapa; - uso da caverna (turística, religiosa, lazer, etc); - nome do(s) proprietário(s) da(s) terra(s) onde está(ão) localizado(s) o(s) acesso(s) à caverna;	
--	---	--

* A coordenada geográfica (latitude e longitude) ou UTM devem ser acompanhados do DATUM utilizado.

Tratando-as especificamente, entretanto, as diversas intervenções antrópicas, potencialmente poluidoras e/ou interferentes nos recursos hídricos subterrâneos e nas cavernas, quando instaladas numa determinada região cárstica podem ocasionar modificações específicas prejudiciais no ambiente. Os estudos necessários para avaliar esses impactos específicos devem buscar informações pertinentes a cada atividade desenvolvida, conforme descrito no item seguinte.

Toda representação cartográfica dos estudos específicos deverá partir do Sistema de Informações Geográficas (SIG) elaborado nos estudos preliminares e o SIG deverá ser fornecido, na íntegra, em formato Arc View 3.X, para o IBAMA.

4. ATIVIDADES ESPECÍFICAS MAIS IMPORTANTES E ESTUDOS INDISPENSÁVEIS

4.1. Mineração

As atividades minerais em áreas cársticas estão normalmente relacionadas à extração de calcário para a indústria de cimento, cal e para uso como corretivo dos solos, o que caracteriza exploração de bem mineral não metálico.

Segundo Hirata (2000), os bens minerais não-metálicos apresentam baixo potencial gerador de cargas poluentes ao meio, uma vez que compreendem substâncias não-perigosas e muitas vezes inertes. O citado autor aponta que o risco maior está relacionado à remoção do solo e da camada não-saturada, expondo muitas vezes o nível freático, o que não só



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

reduz a capacidade de degradação dos poluentes no perfil geológico como aumenta ainda mais a vulnerabilidade do aquífero à poluição.

Segundo Santi & Sevá Filho (2004), entretanto, a indústria de cimento apresenta elevado potencial poluidor. Em todas as etapas do processo – moagem e homogeneização das matérias-primas; clínquerização¹ e resfriamento do clínquer²; moagem do clínquer, adições e produção de cimento; ensacamento e expedição do produto; e pontos de transferência de materiais – há fontes de poluição.

Os níveis e as características das emissões dos poluentes dependem das características tecnológicas e operacionais do processo industrial. Os poluentes primários emitidos no processo de fabricação de cimento são: material particulado, dióxido de carbono, óxidos, enxofre e óxidos de nitrogênio.

Segundo o órgão ambiental norte-americano, as plantas de fabricação de cimento estão entre as maiores fontes de emissão de poluentes atmosféricos perigosos, dos quais se destacam as dioxinas e furanos³; os metais tóxicos como mercúrio, chumbo, cádmio, arsênio, antimônio e cromo; os produtos de combustão incompleta e os ácidos halogenados (USEPA, 1996). Os metais pesados contidos nas matérias-primas e combustíveis, mesmo em concentrações muito pequenas, devido a sua volatilidade e ao comportamento físico-químico de seus compostos, podem ser emitidos na forma de particulado ou de vapor através das chaminés das fábricas (USEPA, 2000).

Devido às características do processo tecnológico e às propriedades físico-químicas e toxicológicas das matérias-primas e insumos empregados na fabricação do cimento, as "plantas cimenteiras" apresentam riscos para a saúde dos trabalhadores, para a saúde pública e para o meio ambiente, associados. A produção de cimento com emprego de resíduos expande o alcance dos riscos, os quais permeiam os caminhos dos resíduos, do cimento e da poluição liberada para o meio ambiente pelas unidades industriais, formando inúmeros cenários de exposição crônica ou acidental aos componentes perigosos, com grande potencial de agravo à saúde dos trabalhadores e da população, e de

¹ Processo de formação do clínquer.

² Produto intermediário, de cor cinza, granular e sinterizado, que constitui a base do cimento.

³ As dioxinas e os furanos são uma classe de hidrocarbonetos clorados produzidos involuntariamente em uma série de processos químicos, térmicos e biológicos. Essas substâncias estão entre as mais cancerígenas conhecidas, representando um risco muito grande à saúde e ao meio ambiente. Fonte: <http://www.upan.org.br/dioxinas/> (Portal das Dioxinas e Furanos) e Wikipédia.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

comprometimento da qualidade ambiental, o que, indiretamente também afeta os seres humanos, a flora e a fauna, pela contaminação dos recursos ar, água e solo (Santi & Sevá Filho, 2004).

A lavra do calcário por desmonte de afloramentos de rochas e solos associados incorre comumente também na supressão de cavernas, que pode vir a ocasionar modificações significativas nos padrões naturais de fluxo subterrâneo, devido à obstrução ou interrupção de conexões físicas entre o sistema de condutos e/ou de fraturas no carste.

Os estudos hidrogeológicos específicos a serem solicitados em regiões cársticas, onde há lavra e/ou beneficiamento de calcário, devem permear os riscos que essas atividades apresentam às cavernas e aos aquíferos cársticos.

De forma geral, quanto à distribuição espacial, a mineração pode ser considerada como uma atividade impactante, ou fonte poluente, pontual, quando se trata da lavra, mas também, pode ser considerada como difusa, quando se trata da planta industrial.

Relacionam-se a seguir os estudos hidrogeológicos complementares que devem ser desenvolvidos quando o foco estiver relacionado à mineração de calcário nos carstes. Estes estudos deverão ser complementares àqueles apresentados na tabela 2.

- Fornecimento dos estudos ambientais desenvolvidos na área para o empreendimento (EIA-RIMA, licenças ambientais, e outros estudos até então existentes, solicitados pelos órgãos ambientais estaduais e/ou municipais), bem como dos estudos preliminares já executados;
- Representação cartográfica da localização da(s) área(s) requerida(s) e do plano de exploração mineral dessa área;
- Serviço de prospecção sistemática de cavernas, com metodologia de campo previamente aprovada pelo CECAV/IBAMA, nas áreas de influência direta e indireta;
- Mapeamento espeleológico (espeleotopografia) das ocorrências vadasas e, em caso de rebaixamento de nível da superfície potenciométrica, das ocorrências freáticas;
- Refinamento do cadastro de cavernas, fontes poluentes e pontos d'água nas áreas de influência direta e indireta do empreendimento;



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

- Mapa topográfico, em escala adequada, pré-determinada em comum acordo com o CECAV/IBAMA, da área de influência direta;
- Representação cartográfica, em escala adequada, pré-determinada em comum acordo com o CECAV/IBAMA, dos pontos d'água e fontes poluentes na área de influência direta;
- Representação cartográfica, em escala adequada, pré-determinada em comum acordo com o CECAV/IBAMA, do contorno das paredes das ocorrências topografadas (freáticas ou vadasas) e da área de proteção mínima de 250 m em relação a cada contorno (*buffer* de 250 m do contorno);
- Plano de lavra para extração mineral e tipo de lavra, com indicação, quando houver, dos poços e pontos de rebaixamento do lençol freático;
- Quando já iniciada a extração mineral, apresentar mapa topográfico, em escala adequada, pré-determinada em comum acordo com o CECAV/IBAMA, da(as) frente(s) de lavra, com representação da(s) ampliação(ões), em função do tempo, da(as) frente(s) de lavra;
- Localização de áreas de intervenção ou supressão de vegetação em APP (Áreas de Proteção Permanente) autorizadas pelo órgão ambiental competente (conforme Resolução CONAMA N° 369, de 28 de março de 2006);
- Localização em mapa topográfico, em escala adequada, da área da indústria, incluindo urbanismo e edificações em geral;
- Descrição sucinta das etapas de produção e beneficiamento;
- Controle dos escoamentos superficiais nas áreas de intervenção;
- Caracterização preliminar da qualidade das águas superficiais e subterrâneas em toda a área de influência direta e indireta;
- Apresentação de um plano de coleta e monitoramento da qualidade da água nos corpos d' água (lagos, rios, cavernas e demais pontos de água) em toda área de influência direta e indireta;
- Análises de turbidez e STS (Sólidos Totais em Suspensão) nas proximidades da área de lavra (mesma bacia hidrográfica);



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

- Em caso de indústrias do cimento, análises de compostos nitrogenados (NH_4^+ e NO_3^{2-}) na água, de dioxinas e furanos no solo e na água, de metais pesados mercúrio, chumbo, cádmio, arsênio, antimônio e cromo na água (lagos, rios, cavernas e demais pontos de água) e no solo;
- Em casos de rebaixamento da superfície potenciométrica, execução de teste hidrodinâmico de bombeamento de água (teste de vazão), conforme orientação prévia do CECAV/IBAMA, com monitoramento do rebaixamento em pelo menos três pontos de observação.

4.2. Abastecimento público/privado

O abastecimento é sem dúvida o uso mais nobre da água e se manifesta praticamente em todas as atividades do homem: manutenção da vida (água para beber), higiene pessoal e das habitações, combate a incêndios, entre outras. No caso do abastecimento industrial, por sua vez, a água é utilizada dentro de quatro cenários principais (Benetti & Bidone, 2000): participação do processo industrial (refrigeração e água para caldeira); integrando-se ao produto fabricado (produtos alimentícios e bebidas); contato com a matéria prima ou produto final; participação nos serviços complementares de fábricas e indústrias (higiene de operários, limpeza de equipamentos, entre outros).

As atividades de abastecimento público (doméstico) e privado (residencial ou industrial) interferem principalmente na dinâmica natural do fluxo subterrâneo e na quantidade de água nos reservatórios, devido à exploração por meio de poços tubulares profundos.

A exploração não-planejada da água subterrânea pode ocasionar a sobreexploração, ou seja, a retirada (extração) de água do aquífero em quantidades maiores que a sua reposição (recarga).

As conseqüências da exploração irracional normalmente estão associadas aos seguintes problemas (Hirata, 2000):

- a) Redução na capacidade produtiva individual do poço ou de poços próximos, com aumento dos custos de bombeamento;



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

- b) Em regiões costeiras, indução de fluxos laterais de água salina da costa marítima;
- c) Indução da recarga indesejada, com infiltração de água subterrânea de baixa qualidade advinda de outras unidades aquíferas mais superficiais;
- d) Drenagem de rios e outros corpos de água superficial, pelo rebaixamento do nível hidráulico do aquífero e aumento localizado do gradiente hidráulico;
- e) Subsidência do terreno, resultando em problemas de estabilidade e danos de edificações e redes de água e esgoto.

A subsidência de terrenos é comum em áreas cársticas submetidas à sobreexploração de aquíferos. O mecanismo relaciona-se ao colapso de vazios anteriormente suportados pela água no seu interior. Com a extração e não reposição da água nas cavidades e condutos aumenta o risco do teto ceder às pressões das porções superiores.

Em cavernas freáticas ou com água, além dos riscos de colapso, o rebaixamento da superfície potenciométrica pode mudar a dinâmica hídrica dentro do ambiente espeleológico, alterando a dinâmica de carstificação e precipitação de espeleotemas, removendo corpos d'água e restringindo a vida na caverna.

A exploração de água para consumo humano pode ser uma atividade antrópica de interferência pontual ou difusa no aquífero cárstico e suas cavidades naturais. Relacionam-se a seguir os estudos hidrogeológicos complementares que devem ser desenvolvidos quando a atividade em foco estiver relacionada com o abastecimento público/privado sendo residencial ou industrial por meio da exploração dos aquíferos cársticos. Estes estudos deverão ser complementares àqueles apresentados na tabela 2.

- Fornecimento dos estudos hidrogeológicos específicos desenvolvidos no aquífero explorado (licenças ambientais de extração de água e outorgas de uso da água até então existentes, solicitados pelos órgãos ambientais estaduais e/ou municipais), bem como dos estudos preliminares já executados;
- Representação cartográfica, em escala adequada, pré-determinada em comum acordo com o CECAV/IBAMA, da geologia, hidrogeologia com localização de poço(s), operante(s) ou desativado(s), campo(s) de poços, poço(s) de controle piezométrico e de monitoramentos diversos;



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

- Estudo hidrogeológico do(s) aquífero(s) explorado(s), com avaliação das reservas hídricas, com determinação das áreas de recarga e descarga e avaliação da recarga média anual do aquífero(s);
- Volume (m³) diário explorado do aquífero por meio dos poços;
- Fornecimento do planejamento de expansão do abastecimento (novos poços, volume diário estimado, tipo de uso destinado);
- Número de usuários atendidos e volume (consumo) *per capita* médio;
- Refinamento do cadastro de cavernas, fontes poluentes e pontos d'água nas áreas de influência direta e indireta;
- Localização dos poços em relação às cavernas cadastradas;
- Avaliação das dimensões e área de alcance do cone de rebaixamento resultante dos pontos de exploração da água;
- Para as cavernas localizadas na área do cone de rebaixamento, execução de teste hidrodinâmico de bombeamento de água (teste de vazão), conforme orientação prévia do CECAV/IBAMA, com monitoramento do rebaixamento em pelo menos três pontos de observação e dentro da caverna.
- Plano de monitoramento do nível e da qualidade da água explorada;
- Análises físico-químicas das águas dos poços (último ano);
- Localização e mapa das áreas de preservação (áreas de recarga, proteção de mananciais ou de proteção dos poços);
- Fornecimento de relatório geral da bateria de poços utilizados e abandonados, com localização e tempo de existência (perfuração);
- Fotos dos poços em operação.

4.3. Agricultura e Pecuária

As áreas rurais englobam atividades antrópicas pontuais e difusas (predominantemente difusa) que podem ocasionar a poluição da água subterrânea, bem como impermeabilização dos solos prejudicando a recarga dos aquíferos subjacentes. A figura 1 apresenta um panorama geral das possíveis fontes de contaminação das águas subterrâneas no meio rural.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

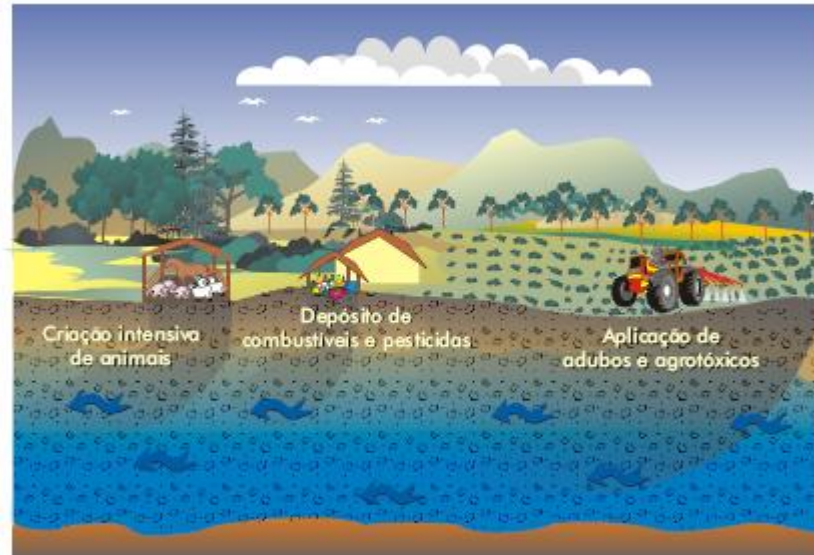


Figura 2 – Possíveis fontes de contaminação das águas subterrâneas em áreas rurais. Fonte Hirata (2000).

As atividades de agricultura são responsáveis pela aplicação de grandes volumes de fertilizantes inorgânicos utilizados em solos pobres, e agrotóxicos (herbicidas, inseticidas, fungicidas, acaricidas, entre outros). Uma vez disponíveis nos solos estes produtos são mobilizados pela infiltração da água da chuva ou irrigação e podem atingir os aquíferos.

Os três principais nutrientes exigidos pelas culturas são nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Como os fertilizantes são usados todos os anos, é de se esperar que em muitas áreas os excessos se infiltrem e alcancem o nível freático contaminando os aquíferos. Dentre os fertilizantes, o principal contaminante é o nitrogênio (N) na forma de nitrato (NO_3^-), que se move com a água subterrânea e pode atingir extensas áreas (Manoel Filho, 2000).

O nitrato é uma substância bastante persistente na água, devido à sua alta estabilidade. Devido à sua forma aniônica, move-se na água subterrânea praticamente sem retardamento, motivo pelo qual pode ser considerado como a forma estável do nitrogênio dissolvido. Isto acontece principalmente em ambientes fortemente oxidantes, como é o caso das águas subterrâneas muito pouco profundas, em sedimentos de alta permeabilidade ou em rochas fraturadas, que possuem altos teores de oxigênio gasoso (O_2) dissolvido (Feitosa & Manoel Filho, 1997).



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

É importante destacar que o consumo de água com teores de nitrato acima do padrão de potabilidade constitui um risco para as crianças com menos de seis meses, nas quais pode causar a doença conhecida como cianose (ou metahemoglobinemia), caracterizada pela dificuldade do sangue para transportar oxigênio (Fernícola *apud* Alaburda & Nishihara 1998).

O comportamento pouco conhecido de agrotóxicos em subsuperfície, associado às baixas concentrações e à sua ampla aplicação, faz da atividade agrícola uma das mais difíceis de serem avaliadas em termos de riscos hidrogeológicos (Hirata, 2000). De um modo geral, os pesticidas inorgânicos são tóxicos às plantas, ao homem e aos insetos. Os pesticidas clorados não biodegradáveis são os mais persistentes no meio ambiente. Os organofosforados, embora mais tóxicos, são pouco persistentes, permanecendo nos solos e na água por no máximo algumas semanas (Benetti & Bidone, 2000).

A mudança da qualidade da água subterrânea nos condutos, galerias e cavernas pode comprometer não só a vida e sua manutenção dentro do ambiente cavernícola, como também o uso dessas cavidades naturais para diversos fins (turismo, captação de água, científico, cultural, etc.). Deve-se considerar também, que alterações na qualidade da água e no ambiente interno da caverna, podem alterar a dinâmica dissolução e formação de espeleotemas, acelerando ou reduzindo o processo. Assim como o aquífero, a caverna também fica vulnerável aos diferentes tipos de poluição e até mesmo contaminação da água.

Os problemas com impermeabilização ou redução da permeabilidade dos solos em áreas rurais, por sua vez, devem-se principalmente devido ao manejo dos solos, preparação destes para o cultivo, por meio do uso de maquinários pesados. A compactação dos solos é uma das principais conseqüências observadas e pode ocasionar reduções significativas na permeabilidade dos solos, por meio redução da velocidade de infiltração da água nos solos, prejudicando a alimentação dos aquíferos (recarga).

A diminuição da infiltração da água das chuvas nos solos pela redução de sua permeabilidade causa ainda um aumento no volume de água escoado superficialmente, podendo provocar erosões e carreamentos de sedimentos para cavernas e demais pontos de captação de água, trazendo conseqüências como assoreamento de condutos e cavernas,



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

aumento da turbidez e conseqüente aumento na sedimentação de alóctones nas cavernas, o que também altera as condições de gênese e evolução, bem como de sedimentação de espeleotemas. A supressão da vegetação nativa também intensifica o processo de compactação dos solos, diminuindo a interceptação da água da chuva e aumentando também o volume escoado superficialmente.

A condutividade hidráulica vertical (K_v , m/s) dos solos pode ser avaliada em áreas "naturais" e nas lavouras com vistas a comparar possíveis mudanças. Os tipos de solos também devem ser estudados.

Em se tratando especificamente da pecuária cita-se a formação de pastos com retirada da vegetação nativa, ocasionando compactação dos solos; infiltração no solo por meio da água da chuva de dejetos dos animais, etc.

O armazenamento e uso de combustíveis nas propriedades rurais também são fontes potenciais de contaminação, por meio de possíveis vazamentos de tanques enterrados e durante o manuseio destes.

Relacionam-se a seguir os estudos hidrogeológicos complementares que devem ser desenvolvidos quando a atividade em foco estiver relacionada com as atividades agropecuárias. Estes estudos deverão ser completos àqueles apresentados na tabela 2.

- Representação cartográfica, em escala adequada, pré-determinada em comum acordo com o CECAV/IBAMA, da pedologia na área de abordagem (bacia(s) e sub-bacia(s) hidrográfica(s));
- Características físicas dos solos presentes (granulometria, textura);
- Área utilizada como lavoura e/ou pasto (tamanho) e representação cartográfica, em escala adequada, pré-determinada em comum acordo com o CECAV/IBAMA, do uso do solo;
- Serviço de prospecção sistemática de cavernas, com metodologia de campo previamente aprovada pelo CECAV/IBAMA, na área de abordagem;
- Mapeamento espeleológico (espeleotopografia) das ocorrências vadasas e freáticas;
- Refinamento do cadastro de cavernas, fontes poluentes e pontos d'água na área de abordagem;



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

- Representação cartográfica, em escala adequada, pré-determinada em comum acordo com o CECAV/IBAMA, do contorno das paredes das ocorrências topografadas (freáticas ou vadasas) e da área de proteção mínima de 250 m em relação a cada contorno (*buffer* de 250 m do contorno);
- Localização de áreas de intervenção ou supressão de vegetação em APP (Áreas de Proteção Permanente) autorizadas pelo órgão ambiental competente (conforme Resolução CONAMA N° 369, de 28 de março de 2006);
- Tipo(s) de cultura(s) plantada(s) na(s) propriedade(s);
- Tipos de fertilizantes e agrotóxicos utilizados (marca e volume por hectare);
- Tipos de plantio (rodízio, plantio direto, monocultura, etc);
- Irrigação (tipo: aspersão, microaspersão, entre outras), volume de água utilizado e fonte de água utilizada (água superficial ou subterrânea);
- Em casos de utilização de água subterrânea para irrigação, execução de teste hidrodinâmico de bombeamento de água (teste de vazão), conforme orientação prévia do CECAV/IBAMA, com monitoramento do rebaixamento em pelo menos três pontos de observação e em cavernas próximas ou aparentemente afetadas pelo bombeamento.
- Localização e descrição geral de residências, refeitórios, galpões e outras construções associadas à propriedade;
- Conteúdo dos galpões (material armazenado, tipo: grãos, maquinários, embalagens de agrotóxicos, combustíveis);
- Localização de possíveis reservatórios de combustíveis na propriedade (mapa, volume e tipo de combustível armazenado);
- Tipo e número de animais (rebanhos), no caso de atividade pecuária.

4.4. Indústrias em geral

A atividade industrial atual é bastante diversificada em termos de geração de resíduos sólidos tóxicos e embora existam amplos e eficientes programas de segurança, monitoramento e qualidade ambientais é comum à ocorrência de acidentes como vazamentos ou infiltração de resíduos no meio ambiente.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

Existem diversas formas de armazenamento e/ou disposição de resíduos industriais (líquidos ou sólidos), como disposição nos solos com impermeabilização, em lagoas receptoras, tanques enterrados ou mesmo lançamento de resíduos (tratados ou não) em corpos d' água (rios, lagos etc), que podem vir a ser fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas (figura 3).



Figura 3 – Possíveis fontes de contaminação das águas subterrâneas pelas atividades industriais. Fonte Hirata (2000).

A contaminação de aquíferos por atividades industriais pode se dá por meio do vazamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos estocados incorretamente nos solos ou mesmo por algumas matérias-primas utilizadas no processo industrial, uma vez estocadas de forma incorreta podem causar a contaminação dos solos e por consequência dos aquíferos.

Assim como os efluentes industriais em si, as águas residuárias industriais podem apresentar uma variação muito grande na composição e no volume (ou vazão), considerando três pontos principais (Benetti & Bidone, 2000):

- a) Águas de processos: água que tem contato com a matéria-prima do produto processado;
- b) Águas de refrigeração: usadas para resfriamento;
- c) Águas sanitárias: efluentes de cozinhas e banheiros.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

Atualmente as atividades industriais contam uma grande diversidade de ramos, quais sejam: mecânico, metalúrgico, alimentos e bebidas, têxtil, vestuário e calçados, química, entre outras. Por isso há uma grande variação de potenciais riscos impostos ao meio ambiente e os estudos hidrogeológicos direcionados com atenção às atividades industriais deve ser específicos para cada ramo industrial. Entretanto, apresentar-se-á a seguir linhas gerais de estudos e/ou informações hidrogeológicos necessárias à avaliação de riscos potenciais ou efetivos dessas atividades em aquíferos cársticos.

- Fornecimento dos estudos ambientais desenvolvidos na área para o empreendimento (EIA-RIMA, licenças ambientais, e outros estudos até então existentes, solicitados pelos órgãos ambientais estaduais e/ou municipais), bem como dos estudos preliminares já executados;
- Representação cartográfica, em escala adequada, pré-determinada em comum acordo com o CECAV/IBAMA, da pedologia nas áreas de influência direta e indireta do empreendimento;
- Características físicas dos solos presentes (granulometria, textura);
- Mapa da vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação na área de influência direta do empreendimento (com fornecimento de relatório correspondente, metodologia empregada – GOD ou DRASTIC⁴ e pontos referenciais para construção do mapa e pontuação detalhada);
- Mapa topográfico, em escala adequada, pré-determinada em comum acordo com o CECAV/IBAMA, da área de influência direta;
- Refinamento do cadastro de cavernas, fontes poluentes e pontos d'água nas áreas de influência direta e indireta, com localização cartográfica das áreas utilizadas como disposição de resíduos industriais (tanques, lagoas, tubulação de transporte, rota de transporte dos resíduos) ou no armazenamento de matérias primas (galpões e similares);
- Localização em mapa topográfico, em escala adequada, da área da indústria, incluindo urbanismo e edificações em geral;
- Descrição sucinta das etapas de produção e beneficiamento;

⁴ GOD ou DRASTIC – tipo de métodos de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos. Vide item 5 (Informação Conceitual).



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

- Controle dos escoamentos superficiais nas áreas de intervenção;
- Identificação dos tipos de resíduos industriais (nome, composição química, volume diário, vazão e forma de descarte ou disposição);
- Tipos de tratamentos de resíduos (caso haja) antes do lançamento no meio ambiente ou disposição final;
- Fornecimento de relatórios resumidos sobre programa de monitoramento ambiental em recursos hídricos superficiais e subterrâneos e solos na área de influência do empreendimento;
- Número e localização em mapa de poços utilizados no monitoramento da qualidade da água subterrânea;
- Fornecimento de relatórios sobre programas de prevenção a acidentes ambientais e condutas de remediações emergenciais no caso de acidentes (vazamentos, explosões, infiltrações indesejadas, entre outros);

As indústrias coureiras são um tipo de atividade industrial específica comuns principalmente nas regiões sul e sudeste do Brasil. Representam fontes significativas de poluição do ambiente, e serão tratadas particularmente.

A poluição causada difere de indústria para indústria, em função dos procedimentos adotados na produção. Em uma mesma indústria, são produzidos diferentes tipos de poluentes durante as várias etapas de produção. As características e, portanto, o potencial poluidor dos resíduos produzidos em cada estágio de produção, dependerão das tecnologias e dos materiais utilizados (Alcântara, 1999).

Um processo de produção do couro envolve basicamente as seguintes operações: operações de ribeira: remolho, depilação e caleiro, descarte e divisão, descalcinação, purga, píquel; curtimento; operações de acabamento: acabamento molhado, secagem, pré-acabamento; acabamento.

Todo esse processo de produção do couro resulta na geração de resíduos sólidos. Braile & Cavalcanti (1979) apud Alcântara (1999), citam as principais características desses resíduos:

- a) cal e sulfeto livres;



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

- b) pH elevado;
- c) Cromo potencialmente tóxico (no caso de curtimento ao cromo);
- d) Matéria orgânica (sangue, soro, produtos da decomposição de proteínas), o que resulta em demanda bioquímica de oxigênio (DBO) elevada;
- e) Teor elevado de sólidos em suspensão (principalmente pêlos, graxas, fibras, proteína, sujeira);
- f) Coloração leitosa devido à cal, verde-castanho ou azul devido ao curtimento e às cores variadas do tingimento;
- g) Dureza das águas de lavagem;
- h) Elevada salinidade (sólidos dissolvidos totais) e
- i) Elevada demanda química de oxigênio (DQO).

Em decorrência da composição dos resíduos descartados no ambiente, os curtumes têm sido considerados como fonte de poluição do ambiente. O cromo está entre os resíduos mais importantes gerados na fase de curtimento. Os sais de cromo empregados variam de acordo com o seu índice de basicidade, que indica o número de valências combinadas com o grupo hidroxila.

Os resíduos líquidos provenientes das operações de acidificação e curtição propriamente dita são águas turvas de cor verde (curtimento ao cromo) ou castanha (curtimento ao tanino), que apresentam em geral pH baixo, altas concentrações de DBO (Romão *et al.* 2003).

O lançamento de efluentes dos curtumes podem causar danos à fauna, flora, aos corpos d'água superficiais e subterrâneos, estes últimos pela infiltração dos afluentes lançados no solo.

Relacionam-se a seguir, além dos estudos específicos já listados para áreas de indústria e n tabela 2, os estudos hidrogeológicos complementares que devem ser desenvolvidos quando a atividade em foco estiver relacionada com a industria coureira (curtumes).

- Localização das áreas de lançamento e/ou tratamento dos efluentes (líquidos e sólidos);
- Fornecimento da composição química dos efluentes;



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

- Fornecimento da vazão de lançamento do efluente;
- Tipos de tratamentos de resíduos (caso haja) antes do lançamento no meio ambiente ou disposição final;
- Análises mensais (últimos seis meses) em água de poço próximo e de corpos d'água (rios, lagos e cavernas) de: pH, DBO DQO, sólidos em suspensão, óleos e graxas, fósforo total, nitrogênio total, nitrato, cromo total,

4.5. Postos de combustíveis ou armazenamento de combustíveis

A presença de postos de combustíveis em áreas urbanas e rurais e mesmo tanques "domésticos" de armazenamento de combustíveis derivados do petróleo representam atividades potencialmente contaminantes às águas subterrâneas.

A contaminação por derivados do petróleo seja a partir de vazamentos de tanques, de oleodutos ou de derramamentos na superfície do terreno, é um tipo de poluição muito diferente daquela produzida por outros produtos. A principal diferença é que o óleo e a gasolina são menos densos que a água e imiscíveis nela.

Quando ocorre um espalhamento de óleo (ou derivado, como gasolina, por exemplo) na superfície do solo, se o terreno estiver seco, produz-se uma zona "molhada pelo óleo". No primeiro estágio da migração o movimento de óleo é vertical, sob a influência da gravidade e apresenta alguma migração lateral condicionada por forças capilares. O movimento descendente do óleo cessa quando o mesmo atinge a zona saturada. Aí ocorre considerável migração lateral dentro da zona capilar e proximidades da superfície freática. Como o óleo é imiscível na água e menos denso que ela, ele pode deprimir a superfície freática, mas não penetra na zona saturada (Manoel Filho, 2000).

Os subprodutos deste tipo de contaminação são os chamados compostos BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos). Os compostos aromáticos dos combustíveis são altamente poluentes, em particular devido a sua alta toxicidade, além de alguns como o benzeno, serem comprovadamente carcinogênicos.

É provável que muitos aquíferos venham sendo contaminados por derivados de petróleo (hidrocarbonetos) devido aos vazamentos de tanques de armazenagem subterrâneos, principalmente. Não existem dados estatísticos sobre o problema de



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

contaminação por BETX no Brasil, entretanto, é provável que existam problemas sérios, ainda desconhecidos, já que muitos tanques de armazenamento são antigos e o monitoramento da qualidade da água subterrânea nas adjacências dos poços e reservatórios particulares é precário.

As instalações de postos de combustíveis em áreas cársticas representam uma ameaça às águas subterrâneas, principalmente devido à escassez na fiscalização ambiental das atividades, sobretudo das cidades do interior do país. Os estudos hidrogeológicos que visam o monitoramento ou a avaliação dos riscos de atividades de armazenamento de derivados de petróleo em carstes devem ser completos àqueles apresentados na tabela 2, e são no mínimo os seguintes:

- Fornecimento dos estudos ambientais desenvolvidos na área para o empreendimento (EIA-RIMA, licenças ambientais, e outros estudos até então existentes, solicitados pelos órgãos ambientais estaduais e/ou municipais), bem como dos estudos preliminares já executados;
- Representação cartográfica, em escala adequada, pré-determinada em comum acordo com o CECAV/IBAMA, da pedologia nas áreas de influência direta e indireta do empreendimento;
- Características físicas dos solos presentes (granulometria, textura);
- Localização de poços de exploração (se houver);
- Plano de monitoramento da qualidade da água subterrânea, com localização dos poços de monitoramento, e metodologia de coleta da água;
- Mapa da vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação da área do empreendimento e adjacências (com fornecimento de relatório correspondente, metodologia empregada – GOD ou DRASTIC e pontos referenciais para construção do mapa e pontuação detalhada);
- Fornecimento de um relatório sobre a descrição da atividade, tempo de vida do tanque reservatório, material;
- Informações sobre possíveis vazamentos já existentes e ações de remediação, com todas as informações disponíveis (relatórios, análises químicas, tamanho da pluma de contaminação, etc);



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

4.6. Dejetos urbanos (cemitérios, resíduos sólidos - lixões ou aterros sanitários, fossas e/ou rede de esgotos)

Os dejetos urbanos sejam de grandes cidades ou pequenas vilas rurais representam fontes potenciais de contaminação dos aquíferos, haja vista as precárias condições de armazenamento, manutenção e monitoramento dos locais de destinação final.

Os efluentes domésticos municipais possuem elevadas concentrações em carbono orgânico, cloreto, nitrogênio, sódio, magnésio, sulfato, e alguns metais, incluindo ferro, zinco e cobre, além de concentrações variadas de microorganismos patogênicos. Destes compostos os que apresentam maiores riscos à contaminação das águas subterrâneas são o nitrogênio e os microorganismos patogênicos (Hirata, 2000).

Os lixões e cemitérios são importantes atividades geradoras de *chorume* e *necrochorume*, respectivamente, que são líquidos ricos em matéria orgânica, organismos patogênicos e metais pesados resultantes da decomposição do lixo doméstico e hospitalar e dos cadáveres. Esses líquidos assim como aqueles liberados em vazamentos de fossas e redes de esgotos são resíduos potencialmente contaminantes das águas subterrâneas rasas ou de aquíferos mais vulneráveis à contaminação.

O impacto produzido pelo chorume de lixões sobre o meio ambiente está diretamente relacionado com sua fase de decomposição. O chorume de aterro novo, quando recebe boa quantidade de águas pluviais é caracterizado por pH ácido, alta DBO, alto valor de DQO e diversos compostos potencialmente tóxicos (Serafim *et al.*, 2003).

O necrochorume liberado da decomposição dos cadáveres em cemitérios é composto por 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas, sendo duas altamente tóxicas: a putresina e a cadaverina.

Normalmente em áreas cársticas próximas a aglomerados rurais e centros urbanizados, muitas dolinas e cavernas, ou mesmo sumidouros de água superficial são utilizados como ponto de lançamento clandestino de dejetos e resíduos sólidos. Num sistema aquífero cárstico é comum a identificação de vários desses dejetos e resíduos em condutos e galerias, mesmo em condições freáticas.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

Os estudos hidrogeológicos que visam o monitoramento ou a avaliação dos riscos de atividades de armazenamento de lixos, presença de cemitérios, fossas, redes de esgotos e entre outras em carstes devem ser completares àqueles apresentados na tabela 2, e são no mínimo os seguintes:

- Fornecimento dos estudos ambientais desenvolvidos na área de disposição dos rejeitos (lixões, cemitérios, fossas, entre outras) (EIA-RIMA, licenças ambientais, e outros estudos até então existentes, solicitados pelos órgãos ambientais estaduais e/ou municipais), bem como dos estudos preliminares já executados;
- Representação cartográfica, em escala adequada, pré-determinada em comum acordo com o CECAV/IBAMA, da pedologia nas áreas de influência direta e indireta da área de instalação da atividade ou disposição de rejeitos;
- Características físicas dos solos presentes (granulometria, textura);
- Refinamento do cadastro de cavernas, fontes poluentes e pontos d'água nas áreas de influência direta e indireta;
- Localização de poços de exploração na área de influência direta;
- Plano de monitoramento da qualidade da água subterrânea, com localização dos poços de monitoramento, e metodologia de coleta da água;
- Localização de lagoas de tratamento de efluentes;
- Mapa da vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação da área do empreendimento e adjacências (com fornecimento de relatório correspondente, metodologia empregada – GOD ou DRASTIC e pontos referenciais para construção do mapa e pontuação detalhada);
- Fornecimento de um relatório sobre a descrição da atividade e volume diários de resíduos gerados;
- Informações sobre possíveis contaminações já existentes e ações de remediação, com todas as informações disponíveis (relatórios, análises químicas, tamanho da pluma de contaminação, etc);
- Fornecimento de informações sobre a composição do chorume ou necrochorume gerado;



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

4.7. Obras lineares (rodovias, gasodutos, oleodutos, linhas de transmissão, etc.)

As fontes de poluição lineares das águas subterrâneas estão associadas a rios poluídos, canais de esgoto, gasodutos, oleodutos, redes adutoras de esgoto e demais redes de transporte de produtos químicos em geral. De acordo com o *Office of Technology Assessment* (OTA) do Congresso dos Estados Unidos (Fetter, 1993 apud Manoel Filho, 2000), as fontes lineares também são classificadas como fontes projetadas para reter substâncias durante o transporte. Dentre esses casos de fontes lineares pode-se incluir como as mais comuns:

- a) Vazamentos de oleodutos;
- b) Vazamentos de gasodutos;
- c) Vazamentos de redes coletoras e transportadoras de esgoto;
- d) Obras relacionadas à construção e pavimentação de rodovias;
- e) Obras relacionadas à instalação de redes transmissão de energia (linhões);
- f) Obras relacionadas à construção de Ferrovias;
- g) Obras relacionadas à construção de túneis subterrâneos;

O que é mais pertinente em relação às fontes lineares de poluição diz respeito à característica comum, entre elas, de cruzarem, ao longo de grandes extensões, diversas unidades geológicas de diferentes litologias, incluindo áreas de calcário ou de rochas carbonáticas, cujas características cársticas de "sugar" os fluidos para dentro dos aquíferos é uma questão preocupante.

Do ponto de vista da hidrogeologia cárstica fontes poluidoras lineares podem trazer de longe contaminantes para regiões, muitas vezes, improváveis de contaminação. Dentre essas fontes os vazamentos relacionados a gasodutos, oleodutos, redes de transporte de esgoto e produtos químicos em geral são os maiores problemas. Fontes como rodovias, ferrovias e túneis que atravessam áreas cársticas, além de possíveis danos ao patrimônio espeleológico durante a fase de construção, também podem implicar em diversas outras fontes pontuais de poluição como postos de combustíveis associados às rodovias, acidentes com caminhões e trens condutores de produtos químicos.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

Nas rodovias, em especial, a questão da destinação do escoamento superficial com elevada concentração de sólidos dissolvidos e em suspensão, oriundos das emissões dos veículos automotores, resíduos dos óleos e graxas, metais pesados e outros derivados provenientes do desgaste de pneus de veículos automotores, além de fezes humanas e de animais.

Os estudos hidrogeológicos que visam o monitoramento ou a avaliação dos riscos de atividades relacionadas às fontes lineares de poluição da água subterrânea em áreas cársticas, assim como das cavidades naturais devem ser completares àqueles apresentados na tabela 2, e são no mínimo os seguintes:

- A determinação da área de influência direta deve levar em consideração zonas marginais à fonte linear. A área de influência indireta deve levar em consideração a estruturação geológica, a estratigrafia, os aquíferos atravessados e as bacias e sub-bacias hidrográficas atravessadas pela fonte linear.
- Representação cartográfica, em escala adequada, pré-determinada em comum acordo com o CECAV/IBAMA, da geologia, pedologia e hidrogeologia nas áreas de influência direta e indireta do empreendimento;
- Em casos de redes coletoras e transportadoras de esgoto, gás e demais produtos químicos em área urbanas, apresentar o cadastro completo da rede em base cartográfica, com escala pré-determinada em comum acordo com o CECAV/IBAMA;
- Em caso de obras relacionadas a gasodutos, oleodutos, rodovias, ferrovias e linhas de transmissão de energia, descrever em detalhes todas as etapas e fases de construção, com apresentação de projeto completo de implantação, mostrando, duas ou mais propostas de caminhamentos lineares;
- Localização de áreas de intervenção ou supressão de vegetação em APP (Áreas de Proteção Permanente) autorizadas pelo órgão ambiental competente (conforme Resolução CONAMA N° 369, de 28 de março de 2006);
- Levantamento da estruturação geológica, com determinação das principais famílias de fraturas, em escala adequada, pré-determinada em comum acordo



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

com o CECAV/IBAMA, nas áreas de influência direta e indireta relacionadas ao(s) sistema(s) cárstico(s) atravessado(s) pelo empreendimento.

- Mapa da vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos cársticos e adjacentes a estes, atravessados pelo empreendimento (com fornecimento de relatório correspondente, metodologia empregada – GOD ou DRASTIC - e pontos referenciais para construção do mapa e pontuação detalhada);
- Serviço de prospecção sistemática de cavernas, com metodologia de campo previamente aprovada pelo CECAV/IBAMA, nas áreas de influência direta e indireta do empreendimento;
- Mapeamento espeleológico (espeleotopografia) das ocorrências vadasas e freáticas nas áreas de influência direta e indireta do empreendimento;
- Refinamento do cadastro de cavernas e pontos d'água nas áreas de influência direta e indireta do empreendimento;
- Em caso de rodovias e ferrovias, apresentar plano de segurança contra possíveis acidentes de caminhões e demais transportes de substâncias químicas ou derivadas do petróleo;
- Em caso de rodovias, apresentar e representar cartograficamente duas ou mais propostas de contenção de erosão em trechos críticos, bem como redução da energia do escoamento superficial.
- Em caso de rodovias, apresentar e representar cartograficamente duas ou mais propostas de drenagem e adequada destinação do escoamento superficial, com indicação das caixas de empréstimos e bacias de contenção de erosão.

5. INFORMAÇÃO CONCEITUAL

5.1. VULNERABILIDADE

O conceito de vulnerabilidade de aquíferos foi inicialmente utilizado por Le Grand (1964), nos EUA, e Albinet & Margat (1970), na França, e mais amplamente nos anos 1980 por vários outros autores (Hirata, 2001). Desde então, esse conceito tem sido usado para expressar:



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

- a) Características intrínsecas que determinam a sensibilidade de um aquífero ser adversamente afetado por uma carga contaminante antropicamente imposta;
- b) Classificação dos aquíferos baseada na importância do recurso hídrico que é ou será utilizado no presente e no futuro incluindo a possibilidade de ser substituído por outro recurso; e
- c) Classificação baseada na importância do aquífero em manter áreas ecológicas importantes.

Do ponto de vista técnico-científico, a primeira definição é a mais amplamente utilizada.

O estudo da vulnerabilidade natural de aquíferos tem sido mais comumente realizado através de duas metodologias distintas: o modelo GOD proposto por Foster & Hirata (1993), e o índice DRASTIC, desenvolvido por Aller *et al.* (1987) para os diversos ambientes hidrogeológicos conhecidos nos Estados Unidos.

No método GOD (Foster & Hirata, 1993), cada letra representa um parâmetro a ser avaliado, onde:

G - o tipo de ocorrência da água subterrânea (*Groundwater occurrence*);

O - o litotipo da zona não saturada (*Overall litology of aquifer*);

D - a profundidade do nível estático (*Depth of water*).

Esses três parâmetros são multiplicados entre si, gerando o índice final de vulnerabilidade para o aquífero.

No modelo DRASTIC (Aller *et al.* 1987), por sua vez, cada letra que compõe o nome do método também representa os parâmetros a serem investigados, sendo estes:

D - Profundidade das águas subterrâneas (*Depth of groundwater*);

R - Recarga devido à chuva (*Recharge net*);

A - Meio aquífero (*Aquifer media*);

S - Solos (*Soil media*);

T - Topografia (*Topography*);

I - Impacto da zona vadosa (*Impact of the vadose zone*);

C - Condutividade hidráulica (*Hydraulic Conductivity of the aquifer*).



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

Outra ferramenta útil nos estudos dos aquíferos cársticos diz respeito à análise de risco de contaminação, que é uma ferramenta utilizada para estimar o perigo que um determinado resíduo perigoso pode representar para meio aquífero em determinadas situações. É juntamente com a avaliação da vulnerabilidade utilizada para a tomada de decisões, para a definição de ações e metas de remediação e para a avaliação de áreas contaminadas (La Grega et al. apud Maximiano et al. 2000).

Segundo Aller et al. (1987), os aquíferos formados por calcários cársticos apresentam um potencial de contaminação muito elevado.

A proteção e o uso sustentável de águas no carste requerem o conhecimento sobre as propriedades do aquífero relevantes ao fluxo e ao transporte (UT, 2006).



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALABURDA, J. & NISHIHARA, L. 1998. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. *Revista Saúde Pública*. (2): 32p.
- ALBINET, M. & MARGAT, J. 1970. Cartographie de la vulnerabilite a la pollution des nappes d'eau souterraine. *Bull BRGM 2me Series* 3(4):13-22.
- ALCÂNTARA, M. A. K. 1999. Eluviação de Cromo (III) de Resíduo de Curtume em Colunas de dois Latossolos com Diferentes Texturas. Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas-SP. Disponível em:
<http://libdigi.unicamp.br/document/?view=vtls000188903>.
- ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J.H. AND PETTY; R.J., 1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeological Settings. U.S.EPA Report 600/2-85/018.
- BENETTI, A. & BIDONE, F.2000. O Meio Ambiente e os Recursos Hídricos. P. 849-875. In: TUCCI, C. E. M. (2 ed.) *Hidrologia Ciência e Aplicação*. Porto Alegre, 943p.
- COSTA, W. D. & SILVA, A. B. 2000. Hidrogeologia dos Meios Anisotrópicos. In: Feitosa F. A. C. e Manoel Filho, J. (ed). *Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações*. (2ª edição) Fortaleza, CPRM/REFO, LABHID – UFPE, p. 133-174.
- FETTER, C.W. 1994. *Applied Hydrogeology*. 3 ed. New York, Toronto, 691 p.
- FOSTER, S. S. D. & HIRATA, R. C. A. 1993. *Determinação do Risco de Contaminação das Águas Subterrâneas: Um Método Baseado em Dados Existentes*. São Paulo, Instituto Geológico, v. 10, p. il., tabs. 23cm. (Boletim).
- HIRATA, R. 2000. Recursos Hídricos. P. 421-444. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R. & TAIOLI, F.(ORG.). *Decifrando a Terra*. Oficina de Textos, São Paulo. 568p.
- HIRATA, R. 2001. Oito perguntas e oito tentativas de respostas sobre a vulnerabilidade à poluição de aquíferos. Seminario-Taller. Protección de Acuíferos Frente a la Contaminación: *Metodología*. Toluca, México. Disponível em:
<http://tierra.rediris.es/hidrored/ponencias/Hirata.html>, acesso em: 27/11/2006.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS.
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

KARMAN, I. 2001. Ciclo da Água, Água Subterrânea e sua Ação Geológica, p. 113-138. *In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R. & TAIOLI, F.(ORG.). Decifrando a Terra. Oficina de Textos, São Paulo. 568p.*

LE GRAND, H. 1964. System for evaluating contamination potential for some waste sites. *American Water Work Association Journal. V.56 (8):959-974.*

MANOEL FILHO, J. 2000. Contaminação das Águas Subterrâneas, p. 109-132. *In: Feitosa F. A. C. e Manoel Filho, J. (ed). Hidrogeologia – Conceitos e aplicações. (2ª edição) Fortaleza, CPRM/REFO, LABHID – UFPE, 391p.*

ROMÃO, C. C.; SALVADOR, L.; LOPES, T. A.; BARROS, R. M.; CONEGLIAN, C. M. R.; BRITO, N. N.; SOBRINHO, G. D.; TONSO, S. & PELEGRINI, R. 2003. Tratamento de Efluentes da Indústria de Curtume. *III Fórum de Estudos Contábeis, Centro Superior de Educação Tecnológica (CESET) – UNICAMP.*

SANTI, A. M. M. & SEVÁ FILHO, A. O. 2004. Combustíveis e riscos ambientais na fabricação de cimento; casos na Região do Calcário ao Norte de Belo Horizonte e possíveis generalizações. *II Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade – ANPPAS, Campinas – SP. Disponível em: <http://www.anppas.org.br/index.php?pagina=papers.php>. Acesso: 28/11/2006.*

SERAFIM, A. C.; GUSSAKOV, K. C.; SILVA, F.; CONEGLIAN, C. M. R.; BRITO, N. N.; SOBRINHO, G. D.; TONSO, S. E PELEGRINI, R. 2003. Chorume, Impactos Ambientais e Possibilidades de Tratamentos. *II Fórum de Estudos Contábeis. Faculdades Integradas Claretianas – Rio Claro – SP – Brasil*

UT (Universität Tübingen). 2006. Fractured and Karst Aquifers. Disponível em: http://www.uni-tuebingen.de/zag/bilder/pdf/karst_ag.pdf. Acesso em: 27/11/2006.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY [USEPA]. 1996. Regulatory determination on cement kiln dust. 14 p. Disponível em: www.epa.gov.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY [USEPA]. 2000. Compilation of air pollutant emissions factors. Portland cement manufacturing. Disponível em: www.epa.gov.