

GESTÃO DA QUALIDADE E RISCO DE CONTAMINAÇÃO DO RECURSO HÍDRICO SUBTERRÂNEO

Dra. Dorothy Carmen Pinatti Casarini¹; Eng. Claudio Luiz Dias¹;
Geól. Elzira Dea Barbour¹ & Arq. MSc Fabiano Fernandes Toffoli¹

Resumo - Alteração na qualidade da água subterrânea, de domínio do Estado, é um tema que vem se tornando motivo de preocupação para a sociedade. A poluição do solo, que é um bem privado, é a principal causa desta alteração.

No âmbito das atribuições do órgão ambiental, a prevenção e o controle da poluição são efetuados por compartimentos ambientais (meios), com a finalidade de manter ou melhorar a qualidade desses meios. As zonas insaturada e saturada de um aquífero são referidas e avaliadas respectivamente como os meios solo e água subterrânea. Sendo os aquíferos uma reserva natural de água potável, não se deve correr riscos de contaminação.

Os órgãos ambientais dispõem de vários instrumentos de atuação, especialmente aqueles de comando e controle, tendo como exemplo os padrões de qualidade, valores orientadores e gestão integrada com base na capacidade de suporte de uma determinada bacia hidrográfica.

No Estado de São Paulo, a SMA/CETESB em conjunto com outras Secretarias de Estado, vêm abordando a questão das áreas contaminadas com base em um sistema de investigação e avaliação de risco.

Neste trabalho são apresentados os principais mecanismos legais e institucionais de gestão de qualidade dos meios solo e água subterrânea no Estado de São Paulo.

Abstract - Alterations in the quality of the groundwater, whose domain is of the State, in function of the soil pollution, that it is a private domain, is a theme that comes, more and more, becoming reason of concern for the society.

In the extent of the attributions of the environmental agency, the prevention and the control of the pollution are made by environmental compartments (means), with the purpose of to maintain or to get better the quality of those means. The insaturated and saturated zones of an aquifer are referred respectively as the means soil and groundwater. Being the aquifers a natural reservoir of drinking water, one should not take risks of contamination.

¹ CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. Av. Frederico Hermann Jr. 345. Pinheiros. São Paulo. CEP 05459-900. Tel. 3030 6028 email. DorothyC@cetesb.sp.gov.br.

The environmental agency have several instruments of performance, especially those of command and control, tends as example the quality standards, guiding values and integrated administration with base in the capacity of support of a certain hydrographic basin.

In the State of São Paulo, the subject of the contaminated areas is treated based on an investigation system and risk evaluation.

This paper presents the main legal and institutional mechanisms of administration of quality of the soil and groundwater in the State of São Paulo.

Palavras-Chave – gestão; água subterrânea; qualidade; risco de contaminação.

INTRODUÇÃO

A alteração na qualidade da água subterrânea em função da poluição do solo é um tema que vem, cada vez mais, se tornando motivo de preocupação para a sociedade e para as autoridades, devido não só aos aspectos de proteção à saúde pública e ao meio ambiente, mas também à publicidade dada aos relatos de episódios críticos de poluição por todo o mundo.

Em função desta realidade, a poluição do solo tem sido recentemente discutida em busca de um consenso entre os pesquisadores e legisladores, de quais seriam as melhores formas de abordagem da questão. Além das dificuldades técnicas de adaptar-se os conceitos das ciências agrônômicas e da hidrogeologia, atualmente o solo, que possui como principais funções a produção de alimentos e suporte das diversas atividades humanas, é considerado também um recurso limitado, como parte importante integrante do ambiente. Assim, o conceito de proteção do solo tem sido objeto de intensas discussões e já faz parte da agenda política, principalmente nos países mais desenvolvidos.

Historicamente, o solo tem sido utilizado por gerações como receptor de resíduos resultantes da atividade humana. Com o aparecimento dos processos de transformação em grande escala a partir do desenvolvimentos industrial, agrícola e doméstico, a liberação descontrolada de poluentes para o ambiente, e sua conseqüente acumulação no solo e nos sedimentos, sofreu uma mudança drástica de intensidade e de forma.

O aporte de poluentes ou contaminantes no solo pode se dar localmente por um depósito de resíduos, por uma área de estocagem ou processamento de produtos químicos, por algum vazamento ou derramamento ou ainda regionalmente através de deposição pela atmosfera, por chuvas ácidas, por inundação ou mesmo por práticas agrícolas inadequadas. Desta forma, uma constante migração descendente de poluentes do solo para a água subterrânea ocorrerá, o que pode se tornar um grande problema para aquelas populações que fazem uso deste recurso hídrico.

A poluição do solo é um assunto complexo, não só pelas muitas funções que desempenha, mas também porque o uso do solo é hoje encarado como uma ‘commodity’ econômica, isto é, possui um valor econômico intrínseco. Normalmente alguém tem o direito de propriedade e é transacionado como uma mercadoria, enquanto que a água subterrânea é um bem público cuja dominialidade, pela Constituição Federal, é dos Estados.

PREVENÇÃO E CONTROLE DA POLUIÇÃO DO SOLO E DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Conceitos e Fundamentos

No âmbito das atribuições do órgão ambiental, a prevenção e o controle da poluição são efetuados por compartimentos ambientais (meios). Desta forma, as zonas insaturada e saturada de um aquífero são referidas e avaliadas respectivamente como os meios solo e a água subterrânea.

A palavra solo pode ser definida de diferentes formas. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, o solo é definido como um corpo tri-dimensional formando a camada mais superior da crosta terrestre e que apresenta propriedades diferentes da camada de rocha inferior, ou dos materiais que lhe deram origem, como resultado das interações entre o clima, o material original, os organismos vivos e o homem. Já a Comunidade Européia adota como definição que, “*o solo é o principal suporte para a vida e o bem estar, se constituindo em um recurso natural vital e limitado, embora facilmente destrutível*”. Faz-se necessário formular ainda uma definição que dê suporte às atividades de prevenção e controle de poluição do solo e das águas subterrâneas.

Considerando o solo como um produto de alteração do remanejamento e da organização do material original (rocha, sedimento ou outro solo) sob a ação da vida, da atmosfera e das trocas de energia que aí se manifestam e constituído por minerais, matéria orgânica, água intersticial das zonas não saturada e saturada, ar e organismos vivos, entende-se que o solo desempenha diversas funções fundamentais, dentre as quais destacam-se: substrato essencial para a vida terrestre e para a produção de alimentos e matéria – primas, fator de controle natural dos ciclos de elementos e energia dos ecossistemas, filtro bioquímico essencial às trocas entre a atmosfera e a litosfera e maior reservatório natural de água doce, que são os aquíferos.

No momento em que um contaminante ou poluente atinge a superfície do solo, ele pode ser adsorvido, arrastado pelo vento ou pelas águas do escoamento superficial, ou lixiviado pelas águas de infiltração, passando para as camadas inferiores e atingindo as águas subterrâneas. Uma vez atingindo as águas subterrâneas, esse poluente será então carregado para outras regiões, através do fluxo dessas águas. Os solos, por serem um habitat biológico possuem a capacidade de degradar

poluentes, assim como, através de suas propriedades físicas, são capazes de atuar como um tanque ou depósito, acumulando estes poluentes.

Os processos de atenuação de contaminantes variam nos diferentes tipos de solo e inibem a lixiviação, impedindo o movimento descendente, reduzindo a biodisponibilidade e degradando estes contaminantes. São influenciados pela composição do solo, particularmente pelos tipos e quantidades de minerais argilosos, hidróxidos e matéria orgânica, pelo pH, pelo potencial Redox, pelos microrganismos existentes, pela disponibilidade de nutrientes e pela natureza, toxicidade aos microrganismos e forma inicial em que os contaminantes se apresentam.

Os poluentes iônicos, tais como os metais, ânions inorgânicos e algumas moléculas orgânicas, são adsorvidos na fração coloidal do solo. Já as moléculas orgânicas não iônicas, como os hidrocarbonetos, a maior parte dos contaminantes orgânicos e os pesticidas, são adsorvidas na fração húmica do solo. Algumas substâncias orgânicas, como os solventes, tendem a ser rapidamente lixiviadas. No que se refere aos metais, muito mais estudados que os contaminantes orgânicos, os estudos demonstram que os processos de adsorção são geralmente os mais importantes.

Os poluentes orgânicos não iônicos e não polares são normalmente adsorvidos na fração orgânica do solo e, como essa fração é encontrada no horizonte superficial, existe uma tendência para que esses poluentes se concentrem na primeira camada, enquanto que os metais podem se acumular em camadas mais profundas.

A Capacidade de Troca Catiônica - CTC de um solo é um importante fator que afeta as reações de adsorção. Solos arenosos, com baixos teores de argila e de matéria orgânica, tendem a apresentar baixa capacidade de adsorção e a permitir a passagem de contaminantes para níveis inferiores do subsolo.

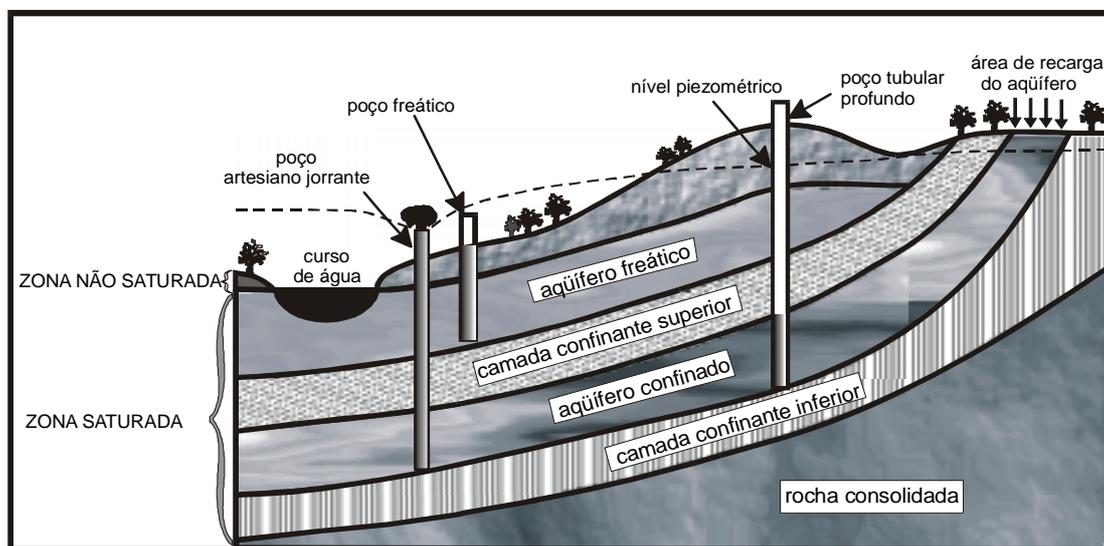
O principal vetor de transporte de poluentes na massa de solo é a passagem de água que causa dissolução e arraste destes poluentes. Geralmente, essa passagem se dá verticalmente, no sentido descendente, até atingir a superfície do aquífero freático. Daí em diante, o movimento segue o fluxo das águas subterrâneas. Obviamente a mecânica desse movimento é bastante complexa e depende também do balanço entre as forças de gravidade e de capilaridade, bem como da viscosidade do fluido.

As águas subterrâneas ocorrem e se movimentam nos poros e fraturas do material geológico, os quais podem estar parcialmente preenchidos com água, tal como ocorre na chamada zona insaturada do subsolo, ou totalmente preenchidos com água, tal como ocorre na chamada zona saturada. Uma formação que contenha água subterrânea e seja suficientemente permeável para transmiti-la em quantidade utilizável é chamada de aquífero, a qual pode ser livre, semi confinado ou confinado.

Aquíferos livres (não confinados) são aqueles cujo nível pode variar livremente, por não estarem limitados superiormente por uma camada de argila ou outro material impermeável. A superfície livre de um aquífero não confinado é denominada lençol freático e está submetida a

pressão atmosférica. A fronteira inferior de um aquífero é uma camada muito menos permeável, constituída de argilas ou rochas. Um aquífero confinado tem suas superfícies superior e inferior limitadas por camadas de material muito menos permeável, denominadas aquícludes. Os aquíferos confinados não possuem uma superfície livre e as condições de pressão são caracterizadas pela superfície piezométrica, a qual é obtida pelo nível de equilíbrio da água em tubos ou piezômetros penetrantes no aquífero .

Ressalta-se que, no Estado de São Paulo, geralmente as águas subterrâneas alimentam os corpos d'água superficiais, sendo que os rios ocorrem onde a topografia do terreno intercepta o lençol freático. Assim, toda a poluição que ocorrer nos solos, terá reflexos nas águas subterrâneas e nas águas superficiais. A Figura abaixo ilustra os principais tipos de aquíferos .



Fonte: Cleary(2001)

Fontes de Poluição do Solo e das Águas Subterrâneas e Instrumentos de Controle

Das atividades potencialmente poluidoras, algumas se destacam como fonte potencial de contaminação do solo e das águas subterrâneas e são listadas no quadro abaixo .

Atividades Potenciais de Contaminação do Solo e das águas subterrâneas	
Aplicação no solo de lodos de esgoto, lodos orgânicos industriais, ou outros resíduos	Aterros e outras instalações de tratamento e disposição de resíduos
Silvicultura	Estocagem de resíduos perigosos
Atividades Extrativistas	Produção e teste de munições
Agricultura/horticultura	Refinarias de petróleo
Aeropostos	Fabricação e manuseio de tintas
Atividades de processamento de animais	Atividades de processamento de papel e impressão
Atividades de processamento de asbestos	Estocagem de produtos químicos, petróleo e derivados
Atividades de lavra e processamento de argila	Produção de energia
Enterro de animais	Estocagem ou disposição de material radioativo
Atividades de processamento de produtos químicos	Manutenção de rodovias
Mineração	Processamento de Borracha
Cemitérios	Ferrovias e pátios ferroviários
Atividades de docagem e reparação de embarcações	Ferros-velhos e depósitos de sucata
Atividades de reparação de veículos	Tratamento de efluentes e áreas de tratamento de lodos
Atividades de lavagem a seco	Construção civil
Manufatura de equipamentos elétricos	Curtumes e associados
Indústria de alimentos para consumo animal	Produção de pneus
Atividades de processamento do carvão	Produção, estocagem e utilização de preservativos de madeira
Manufatura de cerâmica e vidro	Atividades de processamento de ferro e aço
Hospitais e indústrias farmacêuticas	Laboratórios

O Quadro abaixo apresenta uma lista genérica de categorias de substâncias perigosas encontradas em áreas contaminadas.

Categorias de Substâncias Perigosas encontradas em Áreas Contaminadas	
Categoria	Organismos ou substâncias
Agentes Biológicos	Bactérias e Vírus Patogênicos
Compostos Alifáticos	Tricloroetano, Tetracloroetileno, Compostos de Bromo
Compostos Aromáticos	Pentaclorofenol, Bifenilas Policloradas (PCBs), Dibenzodioxinas Policloradas (PCDDs), Dibenzofuranos Policlorados (PCDFs)
Gases Explosivos e Inflamáveis	Eteno, Butano, Metano, Hidrogênio, Monóxido de Carbono, Ácido Cianídrico, Fosfina, Ácido Sulfídrico
Gases Tóxicos	Dióxido de Carbono (CO ₂), Monóxido de Carbono (CO), Ácido Cianídrico (HCN), Cloro, Fosfina (PH ₃), Ácido Sulfídrico (H ₂ S), Dióxido de Enxofre (SO ₂)
Hidrocarbonetos Alifáticos	Óleos Minerais, Hidrocarbonetos com baixo peso Molecular
Hidrocarbonetos Mono Aromáticos	Benzeno, Tolueno, Xileno
Hidrocarbonetos Poli Aromáticos	Naftaleno, Pireno, Fluoranteno, Antraceno
Materiais Combustíveis	Óleos Combustíveis, Solventes, Papéis, Grãos, Óxidos Gastos, Pós Metálicos
Metais Fitotóxicos (tóxicos para plantas)	Cobre, Zinco, Níquel, Boro
Metais Zootóxicos (tóxicos para animais)	Cádmio, Chumbo, Mercúrio, Arsênio, Berílio
Sais Inorgânicos Reativos	Sulfatos, Sulfetos, Cianetos, Amônia
Substâncias Corrosivas	Ácidos e bases, Materiais Reativos
Substâncias Radioativas	Radônio, Rádio, Césio ¹³⁷ , Actínídeos, etc.

Um grande número de substâncias potencialmente perigosas pode estar presente em um local, embora geralmente suas concentrações sejam baixas. Esses contaminantes frequentemente estarão localizados perto do ponto em que foram processados, estocados ou utilizados e isso é um dado

importante na condução dos estudos efetivos do histórico do local. Nos casos onde a substância é móvel, esta pode se espalhar atingindo o subsolo e as águas subterrâneas.

Em termos conceituais, um solo pode ser dito como **poluído** se houver introdução de substância, matéria ou energia em concentrações ou intensidades tais que causem ou possam alterar uma ou mais de suas características ou propriedades em tal grau que dificulte ou impeça seu uso e o desempenho de suas funções básicas, enquanto que um solo será considerado **contaminado** se os danos causados colocarem em perigo a saúde humana, a biota e os sistemas ecológicos, as estruturas e bens públicos ou privados, além de impedir o seu uso e o desempenho de suas funções básicas.

A prevenção e o controle de poluição tem como finalidade então a manutenção ou a melhoria da qualidade dos meios solo, água e ar. Geralmente são exercidos utilizando-se diferentes instrumentos, os quais devem ser legalmente estabelecidos, destacando-se: padrões de qualidade ambiental, padrão de qualidade da água, padrão de potabilidade, padrões de emissão, padrões de condicionamento de fontes, padrões de condicionamento de projetos, valores orientadores de solo e águas subterrâneas, usos legalmente pré – estabelecidos, licenciamento ambiental, fiscalização; prevenção à poluição, instrumentos econômicos, banimento de tecnologias ou de produtos, emissões transacionáveis e responsabilização pós – consumo.

Um padrão de qualidade ambiental é um conjunto de parâmetros e respectivos limites, que definem a qualidade exigida para o meio ambiente.

Os padrões de qualidade da água são conjuntos de parâmetros e respectivos limites, como por exemplo, concentrações de substâncias, em relação aos quais as determinações de uma amostra de água são comparadas à qualidade da água para um determinado uso preponderante. As concentrações são geralmente expressas em mg/L. São normalmente estabelecidos em legislação.

Os padrões de potabilidade são conjuntos de parâmetros e respectivos limites, como por exemplo, temperatura, concentrações de determinadas substâncias e índice de coliformes, que devem ser atendidos pela água destinada ao abastecimento público. As concentrações são geralmente expressas em mg/L. São normalmente estabelecidos em legislação. Concentrações acima deste limite causam risco à saúde humana.

Um padrão de emissão é definido como a máxima concentração de matéria ou energia que pode ser liberada para o ambiente por uma fonte em particular, a qual não implicará na ultrapassagem de um padrão de qualidade. A determinação de um valor específico para uma dada fonte deve ser feita considerando a somatória de todas as emissões das fontes pré-existentes e a capacidade do meio em diluir e assimilar essa emissão adicional. Como exemplo temos o valor de DBO_5 que pode ser emitido em um corpo d'água.

Padrão de condicionamento de fonte se refere à imposição pelas autoridades de um conjunto de obras, equipamentos ou condições que uma determinada fonte deve possuir para adquirir o

direito de pleitear sua instalação (por exemplo: a obrigatoriedade de construção e utilização de chaminé para emissão de gases de queima).

Os padrões de condicionamento de projetos se referem ao conjunto de normas ou requisitos mínimos que um projeto de uma fonte potencial de poluição deve seguir obrigatoriamente para obter uma licença de instalação. Como exemplo temos a obrigatoriedade de seguir as normas técnicas de projetos para um incinerador.

Os valores orientadores são conjuntos de parâmetros e respectivos limites de concentrações de substâncias, utilizados para o gerenciamento da qualidade do solo e das águas subterrâneas e normalmente não são estabelecidos em legislação. No Estado de São Paulo, foram definidos os valores de referência de qualidade, de alerta (prevenção) e de intervenção. De acordo com a experiência de países onde a questão encontra-se mais desenvolvida, não é recomendável, a princípio, fixar em legislação os valores orientadores para solos e águas subterrâneas, uma vez que estes dependem do tipo e uso pretendido do solo e ainda encontram-se em fase de desenvolvimento.

O valor de referência de qualidade é a concentração de determinada substância no solo e na água subterrânea que define um solo como limpo ou a qualidade natural da água subterrânea.

O valor de prevenção é a concentração de determinada substância acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea.

O valor de intervenção é a concentração de determinada substância no solo e na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais diretos e indiretos à saúde humana, considerando um cenário de exposição genérico. No caso de águas subterrâneas, adotam-se os padrões de potabilidade como valores de intervenção.

Os usos legais pré-estabelecidos são aqueles definidos por lei ou regulamento ou ainda aqueles historicamente praticados por uma comunidade, para o meio considerado. Como exemplo temos os usos permitidos para um corpo d'água classe 2.

O licenciamento ambiental é definido como um ato administrativo concedido para a instalação ou funcionamento de uma fonte ou atividade, desde que todos os padrões e condicionantes sejam atendidos.

A fiscalização é a verificação, pelas autoridades competentes, de que as condicionantes impostas no licenciamento ambiental estão sendo seguidas ou se não esta ocorrendo uma emissão irregular.

A prevenção à poluição é entendida como a adoção, pelas fontes potenciais, incentivadas ou não pelo poder público, de práticas gerenciais, de tecnologias mais eficientes e eficazes de processos e critérios de utilização racional de matérias primas, insumos e energia que tem como princípio a não geração de poluentes, levanso a uma redução de emissões.

Os instrumentos econômicos são entendidos como um conjunto de incentivos fiscais, taxações e subsídios, dados pelo poder público, para que um determinado produto, prática ou processo seja

adotado ou restringido conforme o interesse da sociedade, para viabilizar processos ou produtos menos agressivos ou ainda para incentivar a utilização de materiais reciclados.

O banimento é um ato de governo, geralmente respaldado no legislativo, que proíbe uma prática, processo ou produto dentro de um determinado território. Como exemplo tem-se a proibição do uso e da comercialização de PCB's.

As emissões transacionáveis podem ser entendidas como um instrumento econômico. Consistem na autorização, dada pelas autoridades, quando do estabelecimento de um novo padrão mais restritivo de emissão, para que uma fonte que emita poluente abaixo desse padrão estabelecido para ela possa vender ou ceder parte desse saldo a uma outra fonte, na mesma região, que para atender ao novo padrão tenha que fazer investimentos incompatíveis com o valor de sua produção.

Responsabilização pós-consumo é a atribuição, imposta por ato legal ou acordada entre as partes (poder público e sociedade civil), colocada sobre um determinado segmento industrial de coletar, transportar, tratar e dispor seus produtos e ou embalagens após o uso pelo consumidor final (por exemplo: a coleta de pneus ou pilhas e baterias usados pelos seus fabricantes).

As agências ambientais fazem uso de um conjunto desses instrumentos, senão de todos, sendo estes normalmente definidos em lei. Tradicionalmente, as agências de controle de poluição no Brasil têm se utilizado daqueles instrumentos conhecidos como de comando e controle (estabelecimento de padrões, usos do meio, licenciamento e fiscalização) e só recentemente vêm se utilizando dos demais.

Seja qual for o arranjo legal empregado, o próprio conceito de poluição nos leva a assumir que um meio (ar, água ou solo) pode receber contaminantes ou poluentes até que as suas concentrações atinjam um limite estabelecido nos padrões já mencionados. Desta forma, existe a necessidade de se definir previamente não só quais usos serão permitidos, mas também, estabelecer um conjunto de parâmetros de qualidade e seus limites máximos, que garantam aqueles usos. A definição de usos legítimos ou legais varia de lugar para lugar e ao longo do tempo, devido às necessidades e processos de apropriação de espaço. Por exemplo, uma zona industrial pode se tornar uma área residencial.

Para a prevenção e controle da poluição, foram recentemente estabelecidos no Estado de São Paulo os valores orientadores para os meios solos e água subterrânea, com publicação em Diário Oficial.

A prevenção e o controle da poluição do solo vinham sendo exercidos muito mais para garantir a qualidade das águas, notadamente das subterrâneas, do que para garantir a qualidade do solo. O sistema de licenciamento de empreendimentos procurava proteger principalmente a paisagem, os cursos d'água e matas nativas, sendo que atualmente, no Estado de São Paulo, com base nos valores orientadores pode ser definida a qualidade também para os solos.

Falta ainda uma fiscalização pelas agências ambientais sobre as atividades difusas potencialmente poluidoras, geralmente atreladas ao extrativismo e a agricultura, o que requer um maior contingente técnico e financeiro. Neste aspecto, não se pode deixar de mencionar também, a importância da atuação de outros órgãos, incluindo àqueles responsáveis pela licença e utilização de insumos agrícolas.

A maioria dos casos de áreas contaminadas decorre da combinação entre processos produtivos que utilizam, armazenam e liberam contaminantes e os processos de apropriação de espaço (alteração do uso do solo). Como complicador dessa análise, garantida a função social da propriedade, o solo é o único dos meios onde o direito de propriedade é individual e não coletivo, ou seja, na maior parte das vezes o solo não é considerado como um bem público.

No gerenciamento da qualidade de solos e das águas subterrâneas, tanto em caráter preventivo quanto corretivo, as seguintes questões devem ser respondidas: O que é solo 'limpo'? O que é uma área com potencial de contaminação? A área está seriamente contaminada? A área requer uma intervenção com contenção e/ou remediação? A intervenção é urgente? Quando deve começar a remediação? Qual o objetivo da remediação?

Um solo pode ser considerado 'limpo' quando a concentração de um elemento ou substância de interesse ambiental for menor ou igual ao valor de Referência de Qualidade.

Uma área com potencial de contaminação é uma área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria onde são ou foram desenvolvidas atividades que, por suas características, possam acumular quantidades ou concentrações de matéria em condições que a tornem contaminada.

A área será considerada contaminada se as concentrações de elementos ou substâncias de interesse ambiental forem maiores que os Valores de Intervenção. A necessidade e urgência da intervenção e o alvo da remediação são definidos com base em uma avaliação de risco específica para as condições do local, levando em consideração a exposição humana. Antes de se partir para uma avaliação de risco específica, uma lista de valores orientadores pode ser utilizada para estabelecer o alvo da remediação.

O início da intervenção consiste na realização, pelo responsável pela contaminação, da investigação detalhada, quantificando o fluxo e o transporte de poluentes no solo e nas águas subterrâneas e o mapeamento as plumas de contaminação, o que pode ser realizado por medidas de campo, modelagem física, modelagem elétrica analógica ou modelagem matemática.

A maioria das legislações preconiza que a remediação deve ser encerrada quando um determinado valor alvo de concentração da substância é atingido. Este pode ser o valor de ocorrência natural, ou outro valor desde que menor que o valor de alerta, dependendo do cenário de exposição em que a área contaminada se insere.

Como alternativa para diminuir os impactos decorrentes da limitação tecnológica e dos altos custos de remediação pode ser admitida uma flexibilização dos valores alvos com o gerenciamento dos riscos envolvidos. Atualmente, este gerenciamento pode ser subsidiado pela ferramenta de avaliação de risco.

Gestão do risco da contaminação do solo e da água subterrânea

Uma política de controle sistemático e abrangente da poluição do solo e da água subterrânea tem sido aplicada no Estado de São Paulo onde a CETESB, em conjunto com outros órgãos do Estado, vêm abordando a questão de maneira pontual, notadamente no que se refere às áreas contaminadas. A metodologia empregada se baseia em um sistema de investigação e avaliação de risco.

Esta metodologia envolve um conceito chave, que é dado pelas relações entre as fontes de poluição, as vias de contato e os receptores, fundamental para o efetivo entendimento da gestão do risco de contaminação. Toda metodologia de avaliação de risco envolve a definição dos seguintes elementos: fonte de poluição; vias de exposição; receptores; cenário de exposição e modelos de avaliação de risco.

É também necessário definir e parametrizar o que se entende como: dano ou perigo; risco aceitável; bens a serem protegidos; usos legítimos e as relações entre eles.

O termo fonte se refere a um ou mais locais potencialmente contaminados e é entendida como função da natureza do contaminante que pode estar presente e do perigo que ele pode apresentar. A via de contato é a rota (direta ou indireta) no ambiente através da qual os contaminantes podem ser transferidos para os receptores. Os receptores são os pontos nos quais os danos poderão ocorrer se o contaminante estiver presente em uma concentração suficiente para representar um risco. Então é de se esperar que, para que exista um risco (isto é, a probabilidade de ocorrer um evento danoso) e assim ser necessário algum nível de intervenção ou gerenciamento, a cadeia entre a fonte, via de contato e receptor deve estar completa. Se isso é verdade, em algum local onde existem contaminantes presentes, em concentrações maiores que os valores de intervenção do meio afetado, pode não existir risco, caso não exista uma via de contato pela qual o contaminante possa atingir um receptor sensível na área ou no seu entorno.

As vias de exposição são os caminhos pelos quais os contaminantes atingem os receptores, isto é, são as ligações entre a fonte e o receptor que pode ser exposto.

Para uma dada via de contato, os mecanismos de liberação (por exemplo: a lixiviação), de transporte (por exemplo, o fluxo de água subterrânea), de transferência (por exemplo: absorção) e de transformação (por exemplo: a biodegradação) serão importantes na determinação das concentrações dos contaminantes no ponto onde o receptor estará exposto (por exemplo: residentes que consomem água de um poço). Será fundamental uma análise das ligações e evidências entre a

presença de um contaminante, sua liberação e um efeito observado. A forma química e as propriedades físicas de um contaminante determinarão o seu comportamento no ambiente. Para que um efeito na saúde possa ser observado é necessário que a concentração da substância química seja tóxica ou perigosa, que esta substância seja móvel e que esteja em uma forma biodisponível. No ambiente, essa substância pode sofrer alterações nas suas características por alguma reação ou combinação e sua concentração será modificada por dispersão, diluição, degradação, adsorção, etc. Por outro lado, uma via de exposição pode não ser completada e não atingir um receptor.

As substâncias químicas que atingem o corpo humano precisam atravessar ainda três barreiras principais: os pulmões (inalação), a pele (contato dérmico) e o trato gastro – intestinal (ingestão). Em cada uma dessas barreiras, uma resistência é oferecida à passagem da substância química e frequentemente a absorção é menor que a quantidade de substância disponibilizada. Para a grande maioria das substâncias, mesmo após sua absorção, só ocorrerá um efeito adverso à saúde se a sua concentração no corpo exceder a um limite máximo.

A complexidade da obtenção de dados (amostragens, análises e modelagens) e informações é de tal ordem que leva os tomadores de decisão a uma tendência de assumir premissas cautelosas ou conservativas, isto é, além de trabalhar com hipótese de pior caso, é assumido que o contaminante irá atingir um receptor sensível na concentração igual a mais alta concentração medida ou estimada em campo. Tais premissas serão válidas apenas se forem adequadamente discutidas nas análises prévias e suas implicações (normalmente de ordem financeira) puderem ser completamente entendidas.

Os efeitos sobre a saúde humana sempre despertaram uma grande atenção, como é de se esperar, muito embora as evidências de efeitos adversos causados por áreas contaminadas sejam poucas. Estudos recentes realizados nos Estados Unidos mostram que, muito embora danos à saúde e outras desordens estejam associados à proximidade de pessoas às áreas contaminadas, ainda não se conseguiu demonstrar uma relação causal inequívoca, e a localização dessas áreas, geralmente em comunidades pobres ou zonas industriais, poderia explicar a maior incidência de doenças.

Por outro lado, a opinião pública tem como fonte de preocupação aquelas substâncias químicas que foram objeto de grande alarde na mídia como resultado de incidentes tais como Minamata (descarga de mercúrio) e Yusho (óleo de arroz contaminado com PCBs).

A dinâmica de ocupação do território urbano provocou e provoca alteração no valor e reocupação de espaços onde anteriormente se localizavam atividades, embora conformes com a legislação então vigente, potencialmente poluidoras do solo. Este processo legou espaços que necessitam ter o seu uso disciplinado ou mesmo serem objetos de remediação, uma vez que em algum momento do passado as atividades ali desenvolvidas utilizavam substâncias nocivas ao meio ambiente e à saúde humana. Aterros, lixões, postos de serviço, áreas de ocupação industrial, entre outros, são locais com potencial de contaminação.

A declaração de uma área específica como ‘contaminada’ demanda uma série de estudos prévios que procuram definir: rol das possíveis áreas suspeitas; contaminantes presentes (qualidade e/ou quantidade); vias de contaminação; população exposta; a avaliação e quantificação dos riscos de contaminação dessa população; recursos naturais e bens a proteger; usos atuais e futuros da área e seu entorno.

Uma vez declarada contaminada, outra série de estudos deve ser conduzida no sentido de se determinar qual o nível de intervenção será necessário. É óbvio que esse nível de intervenção depende não só de ações de responsabilidade do segmento ambiental, mas principalmente, de quais usos futuros serão permitidos para a área e seu entorno, aspecto este relacionado às autoridades municipais competentes. Em última análise, os usos pretendidos ou legais irão determinar se a sociedade investirá maior ou menor quantidade de recursos na remediação.

Como existe um grande número de áreas a serem investigadas, adotou-se no Estado de São Paulo um critério de priorização, pois somente um número limitado de áreas poderá ser focado simultaneamente.

Na prática, existe uma grande variabilidade de situações, no que se refere à responsabilidade sobre a contaminação, ou seja, quem terá a obrigatoriedade legal de executar a remediação. São considerados responsáveis solidários pela prevenção e remediação de uma área contaminada: o causador da contaminação e seus sucessores, o proprietário da área, o superficiário, o detentor da posse efetiva e quem dela se beneficiar direta ou indiretamente. Em alguns casos, o Estado pode executar a remediação, sendo ressarcido pelos responsáveis pela contaminação.

A União, os Estados e os Municípios não estão estruturados para fazer frente a esse problema. Não existe um órgão ou instituições com atribuição expressa para fazer frente à parte executiva desse problema. No Estado de São Paulo, esse papel vem sendo feito pela agência ambiental estadual, com as limitações inerentes a um órgão de controle ambiental com orçamento limitado.

O conjunto de legislações existente não aborda todos os aspectos da questão da remediação de áreas contaminadas, notadamente no que se refere à articulação, coordenação e financiamento das ações. Para tanto, foi elaborado pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, um Anteprojeto de Lei, a ser submetido à Assembléia Legislativa que, entre outros temas, definirá: quem identificará uma área suspeita; quem executará os estudos necessários para declarar uma área suspeita como contaminada; quem terá a autoridade para priorizar as ações de remediação; quem determinará o nível de remediação; quem financiará essas operações, como e com que recursos e qual o papel reservado ao Estado, aos Municípios e ao Setor Privado.

Outro aspecto fundamental está relacionado ao direito de propriedade e aos valores de transação do mercado imobiliário. Parece óbvio que o simples fato de se declarar uma área como suspeita de contaminação causará uma depreciação no valor da propriedade e daquelas localizadas

no seu entorno. Também essa divulgação, provavelmente, causará grande comoção social, com todos os conseqüentes desdobramentos políticos e judiciais.

AÇÕES DE GESTÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A Constituição Federal de 1988 previu a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e alterou o Código das Águas, de forma que, no Brasil, a água é um bem público e seu disciplinamento de uso e sua proteção são regidos por legislações que estabelecem aos órgãos Federais e Estaduais atribuições específicas, sendo que o domínio e a gestão dos recursos hídricos é dos Estados (Artigo 21).

A Lei Federal nº 9.433, de 08.01.1997, regulamentada pelo Decreto nº 2.612 de 03.06.1998, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Esta Lei organizou o setor de planejamento e gestão dos recursos hídricos em âmbito nacional, estabelecendo os seguintes princípios: 1) a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento; 2) os usos múltiplos da água; 3) o reconhecimento do valor econômico da água (cobrança); 4) a gestão descentralizada e participativa; e 5) em situação de escassez, a prioridade deve ser dada para o abastecimento humano e a dessedentação de animais.

Os instrumentos de política para o setor introduzidos pela Lei Federal nº 9.433/1997 são: 1) os Planos de Recursos Hídricos; 2) o Enquadramento dos corpos d'água em classes de uso preponderantes; 3) a Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos, mecanismo pelo qual o usuário recebe uma autorização, ou uma concessão, para fazer uso da água; 4) a Cobrança pelo uso da água; 5) o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos; e 6) a Compensação aos Municípios, quando da inundação por reservatórios artificiais.

Além disso, a Lei Federal nº 9.433/97 estabelece um arcabouço institucional para a gestão compartilhada do uso da água. São os seguintes os organismos que compõem o sistema atual: Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH, Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal - CRH; Comitês de Bacias Hidrográficas ;Agências de Água e Órgãos e entidades do serviço público federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais.

A Lei Federal nº 9.984/2000 criou a Agência Nacional de Águas - ANA, que é uma autarquia sob regime especial com autonomia administrativa e financeira, vinculada ao Ministério do Meio Ambiente, integrando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. É responsável pela implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos e deve implantar a Lei 9.433, de 1997.

Devem ser destacadas três Resoluções do CNRH. A Resolução nº 9 de 21.06.2000 instituiu a Câmara Técnica Permanente de Águas Subterrâneas. A Resolução nº 15 de 11.01.2001 estabelece as diretrizes para gestão integrada das águas e a Resolução nº 22 de 24.05.2002 estabelece que os

Planos de Recursos Hídricos Estaduais e dos Comitês de Bacia deverão considerar o monitoramento da qualidade e quantidade de águas subterrâneas, estudos hidrogeológicos e a inter-relação com as águas superficiais, visando a gestão integrada dos recursos hídricos.

Quando a água subterrânea apresenta características físicas e/ou químicas que a classificam como bem mineral ou água potável de mesa e havendo interesse de lavra e comercialização como tal, o domínio é Federal. O Decreto-Lei Federal nº 227 de 28.02.1967 (Código de Mineração), cujo regulamento foi aprovado pelo Decreto Federal nº 62.934 de 02.07.1968, atribuiu à União a competência de administrar os recursos minerais, a indústria de produção mineral e a distribuição, o comércio e o consumo de produtos minerais. Reconheceu a água mineral como bem mineral formadora de jazida.

A concessão de exploração de bens minerais cabe ao Ministério das Minas e Energia, por meio do Departamento Nacional de Pesquisa Mineral – DNPM. Os Órgãos Ambientais Estaduais também são responsáveis pelo licenciamento ambiental da mineração de águas minerais e potáveis de mesa.

A Câmara Técnica Federal de Águas Subterrâneas, considerando que as águas minerais são também subterrâneas, está elaborando uma Minuta de Resolução a ser encaminhada ao CNRH visando integrar os procedimentos de lavra de água mineral, potável de mesa e balneárias aos procedimentos de outorga de direito de uso de águas subterrâneas e ao licenciamento ambiental.

A Portaria DNPM nº 231 de 31.07.1998 regulamenta as ações e procedimentos necessários à definição de áreas de proteção de fontes, balneários e estâncias de águas minerais e potáveis de mesa em todo o território nacional, objetivando sua proteção, conservação e racionalização de uso.

No que diz respeito à qualidade de água para consumo humano, a Portaria do Ministério da Saúde nº 518 de 2004 estabelece os padrões de potabilidade e os procedimentos e as responsabilidades relativas ao controle de qualidade para o consumo humano. São atribuídas as responsabilidades para quem capta e distribui água, tanto para as concessionárias e sistemas municipais, como para os usuários de soluções alternativas.

No âmbito do Estado de São Paulo, a Constituição Estadual de 05.10.1989 define em seu Artigo 205 que o Estado instituirá, por lei, sistema integrado de gerenciamento dos recursos hídricos, congregando órgãos estaduais e municipais e a sociedade civil, e assegurará meios financeiros e institucionais para a utilização racional das águas superficiais e subterrâneas e sua prioridade para abastecimento às populações e para a proteção das águas contra ações que possam comprometer o seu uso atual e futuro.

O Artigo 206 dessa Constituição define que as águas subterrâneas são reservas estratégicas para o desenvolvimento econômico-social e valiosas para o suprimento de água às populações e

deverão ter programa permanente de conservação e proteção contra poluição e super exploração, com diretrizes estabelecidas em lei.

A Lei Estadual 7663 de 30.12.1991, que regulamenta o artigo 205 da Constituição Estadual, estabeleceu diretrizes e instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento das Águas Superficiais e Subterrâneas. A Lei Estadual 9034 de 27.12.1994, estabeleceu as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI's) e os Programas de Duração Continuada (PDC). Destaca-se o PDC4, que trata do Desenvolvimento e Proteção das Águas Subterrâneas.

O Decreto 32.955 de 07.02.1991, que regulamenta a Lei 6.134 de 02.07.1988, que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas, estabelece que para o gerenciamento das águas subterrâneas são necessárias ações correspondentes à avaliação, planejamento e conservação do uso dos recursos hídricos subterrâneos por meio de outorgas e fiscalização do uso.

Ainda segundo esse mesmo Decreto, cabe ao Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, a administração das águas subterrâneas do Estado de São Paulo, nos campos de pesquisas, captação, fiscalização, extração e acompanhamento de sua interação com águas superficiais e com o ciclo hidrológico; cabe à Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental - CETESB prevenir e controlar a poluição das águas subterrâneas, para o que manterá os serviços indispensáveis; cabe à Secretaria da Saúde a fiscalização das águas subterrâneas destinadas a consumo humano, quanto ao atendimento aos padrões de potabilidade; e cabe ao Instituto Geológico a execução de pesquisa e estudos geológicos e hidrogeológicos, o controle e arquivo de informações dos dados geológicos dos poços, no que se refere ao desenvolvimento do conhecimento dos aquíferos e da geologia do Estado.

O Decreto 41.258 de 31.10.1996, que aprova o regulamento dos artigos 9º a 13 da Lei nº 7.663 de 30.12.1991, atribui ao Departamento de Águas e Energia Elétrica-DAEE, os atos de outorga do direito de uso da água, que se fará por concessão quando a água destinar-se ao uso de utilidade pública ou quando a captação ocorrer em terreno de domínio público e por autorização, quando a água extraída destinar-se a outras finalidades.

A Portaria DAEE 717 de 12.12.1996 aprovou a Norma e os Anexos que disciplinam o uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos do Estado de São Paulo.

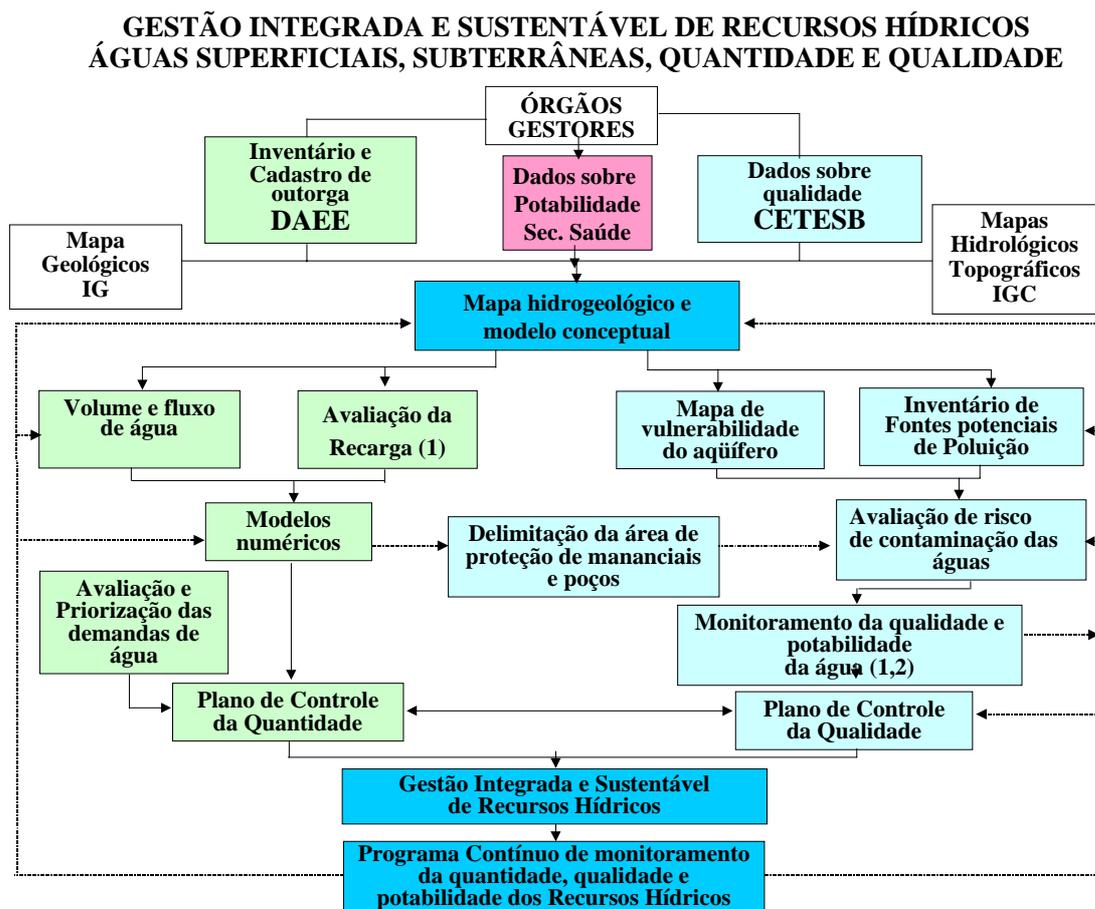
A Resolução SMA N. 59, de 22.08.97 criou as Articulações Regionais para Apoio à Gestão Ambiental da Água, que serão fóruns de discussão para a implementação descentralizada do Programa de Recursos Hídricos da SMA. Foi estabelecida uma Articulação Regional por Comitê de Bacia Hidrográfica.

O uso sustentável do recurso hídrico subterrâneo deve considerar as reservas explotáveis dos aquíferos. No caso dos aquíferos livres, os coeficientes de recarga são relativamente elevados,

graças a abundante pluviometria que ocorre de maneira geral no Estado de São Paulo. O uso integrado dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais torna-se, em geral, a melhor solução para suprir a demanda.

No caso dos aquíferos confinados, os regimes de recarga natural são tão lentos que os efeitos de uma super exploração se fazem sentir em períodos de tempo bastante curtos. Dessa forma, o planejamento da exploração racional das águas subterrâneas deve considerar a avaliação quantitativa real das reservas, efetuada com base em parâmetros dimensionais e hidrodinâmicos, bem como a proteção da qualidade dos aquíferos.

Para uma gestão integrada dos recursos hídricos, faz-se necessário o monitoramento da quantidade e qualidade, obtenção de dados sobre a ocorrência e potencial hídrico dos aquíferos, bem como o conhecimento da vulnerabilidade natural em escala regional, os órgãos gestores da quantidade (DAEE) e qualidade (CETESB) devem propor ao CORHI as diretrizes gerais para a implementação em escala regional pelos Comitês de Bacias Hidrográficas. A figura abaixo mostra um fluxograma com uma proposta da gestão integrada dos recursos hídricos.



NOTAS

- (1): A interação entre a água superficial e subterrânea é um componente importante do estudo, considerando que as águas subterrâneas mantêm o fluxo de base do superficial.
 (2): Problemas por anomalias com fontes naturais de contaminação de águas subterrâneas podem também ser incluídos.

Institucionalmente, a CETESB, além de executar o disposto em legislação, tem desenvolvido diversas atividades no âmbito de suas atribuições, visando contribuir com a proteção da qualidade dos recursos hídricos do Estado, como também atuando conjuntamente com outros Órgãos Federais e Estaduais das Secretarias do Meio Ambiente (SMA), Secretaria de Energia e Recursos Hídricos (SERHS) e Secretaria da Saúde (SES), a fim de buscar o estabelecimento de diretrizes e procedimentos para a implantação da Gestão Integrada.

No âmbito Federal, destaca-se que está em discussão a definição de critérios técnicos para subsidiar a elaboração de uma resolução de classificação das águas subterrâneas.

No âmbito Estadual, destaca-se, entre outras atividades, uma deliberação CRH em elaboração que estabelece diretrizes e procedimentos para a definição de áreas de restrição e controle da captação e uso das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Destaca-se ainda a elaboração de uma Resolução conjunta SMA/SERHS que regulamentará o Procedimento para o Licenciamento Ambiental Integrado às Outorgas de Recursos Hídricos e uma Resolução conjunta SMA/SERHS/SES que definirá os procedimentos para controle e vigilância de soluções alternativas de abastecimento de água para consumo humano proveniente de mananciais subterrâneos.

O licenciamento ambiental de empreendimentos potencialmente poluidores é considerado uma ação preventiva na medida em que estabelece exigências específicas para que as fontes de poluição se instalem de forma ambientalmente segura. A fiscalização é considerada uma forma de atuação corretiva, onde procura-se adequar os processos visando a minimização dos riscos de poluição.

A elaboração de instruções e normas técnicas, resoluções e legislações sobre disposição de efluentes e resíduos sólidos é outra importante ferramenta de gestão para a prevenção da poluição dos solos e águas subterrâneas.

Atividades de desenvolvimento de projetos da Secretaria de Meio Ambiente, também possibilitam a implementação de ações de gestão integrada, onde destacam-se os projetos “Sistema de informação para o gerenciamento ambiental dos recursos hídricos subterrâneos na área de afloramento do Aquífero Guarani no Estado de São Paulo”, que está sendo desenvolvido desde 2001 no município de Ribeirão Preto em cooperação com o Governo do Estado da Baviera-Alemanha e o “Proteção e Conservação dos Mananciais de Abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo- RMSP- Alto Tietê – Cabeceiras ”, que visa proteger e melhorar a qualidade das águas no Alto Tietê.

Recentemente, para suprir a demanda de água em função do déficit nas regiões urbanas, onde uma das causas é a deterioração da qualidade das águas superficiais, têm surgido propostas de recarga artificial de aquíferos aproveitando os excedentes pluviais e efluentes industriais. Essa prática não deve ser permitida, pois, considerando que o Decreto 32.955/91 não permite alteração da qualidade natural das águas dos aquíferos, uma água para ser infiltrada deve atender aos padrões de qualidade,

requerendo para isso tratamento avançado. Além disso, apesar do sistema de recarga artificial exigir outorga do órgão gestor de quantidade, o controle da qualidade é praticamente inviável.

Sendo os aquíferos uma reserva natural de água potável, não se deve correr riscos de contaminação por meio de recarga artificial de água de qualidade duvidosa. Mesmo considerando o poder de depuração que o solo possui, essa capacidade pode ser saturada ou não existir em locais de ocorrência de aquíferos fraturados livres. Uma vez que a água de recarga deve apresentar a mesma qualidade do aquífero em que será injetada, talvez seja mais viável economicamente a sua utilização para usos menos nobres do abastecimento do que para injeção no aquífero. Essa prática é usualmente realizada, visando o gerenciamento da quantidade, em países ou Estados, como por exemplo, Israel e Arizona (EUA), onde a precipitação anual é insuficiente para a recarga natural. Esse não é o caso do Estado de São Paulo.

CONCLUSÃO

A gestão da qualidade deve ser efetuada de forma integrada com a gestão da quantidade a fim de manter a proteção e a disponibilidade do recurso hídrico subterrâneo.

Os órgãos ambientais, que legalmente são responsáveis pela prevenção e controle da poluição, executam sua atribuição por meio de vários instrumentos, especialmente aqueles de comando e controle. Atualmente esforços estão sendo implementados para a gestão integrada dos recursos ambientais como, por exemplo, o controle da poluição com base na capacidade de suporte de uma determinada bacia hidrográfica, considerando o comportamento dos contaminantes no ambiente.

Além disso, em função do histórico da utilização do solo, como meio para destinação final de poluentes em geral, a gestão integrada do recurso hídrico subterrâneo, depende do monitoramento das águas subterrâneas para sua classificação em índices de qualidade e gerenciamento das áreas contaminadas, a fim de subsidiar as decisões de captação e outorga de direito de usos preponderantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bouwer, Herman . Groundwater Hydrology . McGraw Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering Tokyo 1978 . 480 p .
- [2] Boulding, J. Russel . Soil, Vadose Zone and Groundwater contamination – Assessment, Prevention and Remediation . Lewis Publishers . Boston . 1995 . 948 p

- [3] CETESB. Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB. 2001 Disponível no site www.cetesb.sp.gov.br
- [4] CETESB. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. CETESB/GTZ. São Paulo: CETESB 1999. 385 p. Disponível no site www.cetesb.sp.gov.br
- [5] CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado 2001-2003. São Paulo: CETESB. 2004. Disponível no site www.cetesb.sp.gov.br
- [6] Cleary, R. W.: Águas subterrâneas: Engenharia Hidrológica. ABRH. 2001
- [7] DOE. Diário Oficial do Estado de São Paulo, Empresarial, 111 (203) 26 de outubro de 2001
- [8] Petts, J. et al . Risk-Based Contaminated Land Investigation and Assessment . John Wiley & Sons . New York 1997 . 334 p.
- [9] Spillborghs, M.C.F. 1997. Biorremediação de Aquífero Contaminado com Hidrocarboneto.
- [10] US-EPA. (1990). Alaska Oil Spill Bioremediation Project. EPA/600/8-89/073. Washington. 20p.
- [11] US-EPA (1998) Guidance on Remedial Actions for Contaminated Groundwater at Superfund Sites. EPA/540/G-88/003. Washington
- [12] US-EPA. (1991). Innovative Treatment Technologies: Overview and Guide to Information Sources. EPA/540/9-91/002. Washington, 200p.
- [13] US-EPA. (1993). Bioremediation: Innovative Pollution Treatment Technology. A Focus on EPA's Research. Cincinnati, OH, 20p.