

QUALIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E HIDROGEOQUÍMICA PARA O AGRONEGÓCIO

Suely Schuartz Pacheco Mestrinho¹

RESUMO: A agricultura é a atividade de maior consumo da água subterrânea e uma das principais responsáveis pela deterioração da sua qualidade e dos ecossistemas associados. A situação decorre, principalmente, da utilização intensiva e excessiva de fertilizantes, pesticidas e das práticas agrícolas inadequadas as quais, além da contaminação da água, podem levar a eventuais riscos ambientais e para a saúde humana. Ainda é escasso o conhecimento da interação entre parâmetros do sistema solo-água-plantas, especialmente, quando se consideram as atividades agrícolas, a hidroquímica natural, a qualidade e o risco de poluição das águas subterrâneas com “agroquímicos”, como os nitratos e pesticidas. O aumento expressivo do agronegócio no País exige a implementação de estratégias que promovam o uso racional e sustentável das águas subterrâneas para agricultura.

ABSTRACT: The practice of agriculture is the main consumer of groundwater and one of the main causes of deterioration of its quality as well as associated ecosystems. This situation occurs, mainly due to the excessive use of fertilizers, pesticides, and of inadequate agricultural activities which, besides contaminating the water, may lead to eventual environmental risks and also to human health. The knowledge of interaction between the parameters soil-water-plant is still scarce, especially when considered agricultural activities, natural hydrochemistry, the quality and the risk of polluting water with “agrichemicals” like nitrates and pesticides. The expressive increase of agribusiness in Brazil demands the implementation of special strategies promoting a rational and sustainable use of groundwater for agricultural means.

Palavras-Chave – Hidrogeoquímica; Agronegócio; Água Subterrânea

¹ Consultora em Recursos Hídricos
Centro de Pesquisa e Extensão – CEPEX / UCSal
Rua Plínio Moscoso 101/801. CEP – 40155 020. Salvador – BA.
Fone: 55 71 32450868. E-mail: suelyspm@uol.com.br.

1 - INTRODUÇÃO

Com condições tropicais diversificadas, chuvas regulares, solo fértil, grande biodiversidade, energia solar abundante e quase 13% de toda a água doce disponível no planeta, o Brasil tem cerca de 75% de suas terras agricultáveis férteis e de alta produtividade. Esses e outros fatores fazem do País um lugar de vocação natural para a agropecuária e os negócios relacionados às suas cadeias produtivas. É fácil admitir que seremos um dos maiores produtores mundiais de alimentos na próxima década!

A agricultura é a atividade que exige maior consumo de água e uma das maiores responsáveis pela deterioração da sua qualidade e dos ecossistemas associados. A situação decorre, principalmente, da utilização intensiva e excessiva de fertilizantes, pesticidas e de práticas agrícolas inadequadas as quais, além da contaminação da água, podem levar a eventuais riscos ambientais e para a saúde humana. Neste cenário, aparecem ainda outros componentes associados ao desenvolvimento urbanístico no entorno das zonas rurais e suas implicações na qualidade da água do ciclo hidrológico terrestre. Em síntese, o desempenho de múltiplas atividades nas áreas rurais, inevitavelmente, resulta em freqüentes conflitos ambientais e sociais os quais, somados às práticas de desenvolvimento da agricultura que ignoram a dinâmica dos ecossistemas, podem ocasionar perda de propriedades e investimentos.

Existe uma massa expressiva de literatura contemplando a avaliação quantitativa e qualitativa de vários parâmetros do sistema solo-água-planta-atmosfera porém, esses conhecimentos não estão afinados, especialmente, quando estão envolvidos o agronegócio, a hidroquímica natural, a qualidade e a proteção das águas subterrâneas. Na agricultura moderna, as técnicas de irrigação e a qualidade da água utilizada têm papel indispensável no incremento da produtividade de culturas básicas.

Levando-se em consideração a significativa expressão do agronegócio para o País fica evidente a necessidade do exercício da agricultura sustentável, dentro do possível, integrando-se aspectos relacionados ao uso, a conservação dos recursos hídricos e aos múltiplos usuários, orientada para o desenvolvimento científico e aplicação de metodologias que promovam: (i) o planejamento integrado dos aspectos quantitativos e qualitativos das águas superficiais e subterrâneas; (ii) a avaliação e prevenção dos impactos e riscos sobre a água subterrânea (iii) a implantação de redes de controle (iv) o envolvimento da comunidade de usuários no processo. É uma visão conjunta entre água, meio ambiente e desenvolvimento integrado para a agricultura.

A seguir, são apresentados aspectos fundamentais que agregam conhecimentos sobre a interação entre atividades agrícolas e a hidrogeoquímica ou geoquímica das águas subterrâneas. Em especial,

são também discutidos aspectos relacionados à proteção da qualidade da água e ao risco de poluição com “agroquímicos”. Espera-se que a discussão possa subsidiar programas de desenvolvimento sustentável das águas subterrâneas para atender o incremento do agronegócio no País.

2 - A HIDROQUÍMICA NATURAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A hidrogeoquímica é uma ciência multidisciplinar, com enfoque voltado para a compreensão da origem dos constituintes presentes na água subterrânea e da evolução química que ocorre nos sistemas de fluxos subterrâneos. Os principais componentes do Ciclo Hidrogeoquímico, ilustrados na Figura 1, são relacionados por uma complexa seqüência de processos e reações que ocorre entre os domínios litogênico, biogênico e climático.

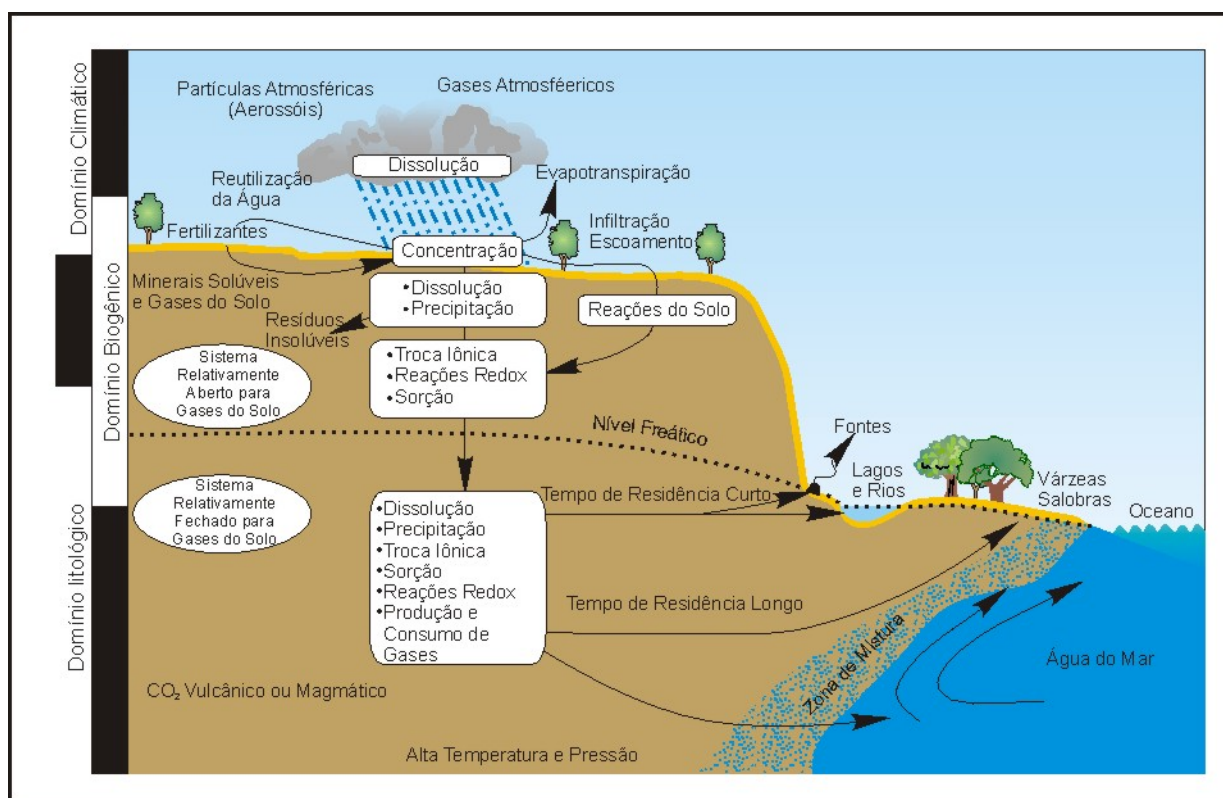


Figura 1 – O Ciclo Hidrogeoquímico [1].

Observa-se que a composição química da água subterrânea, inicialmente, depende da colocação atmosférica; em seguida é comandada pela infiltração da água do solo e reações biogeoquímicas, entre as fases sólida, líquida e gasosa da zona não saturada, e evolui com o resultado da interação água-rocha e características na zona saturada. Sendo os silicatos, carbonatos, sulfatos e cloretos os principais minerais formadores das rochas, os íons predominantes naturalmente encontrados nas

águas são: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , Cl^- e HCO_3^- . O conhecimento destes processos é de fundamental importância à interpretação dos processos físico-químico-bioquímicos, que resultam em fatores tecnológicos limitantes de utilização das águas subterrâneas.

Nos aquíferos livres ou com recarga local, durante os movimentos descendentes e ascendentes na zona não saturada, a água se enriquece em elementos lixiviados das rochas e produtos da superfície do solo. Em função das características hidrogeológicas da zona não saturada (espessura, mineralogia das argilas, permeabilidade/porosidade etc.), os processos bio-físico-químicos podem transformar ou retardar a infiltração de elementos no subsolo. Nestes casos, a zona não saturada representa a mais importante defesa natural contra o risco de contaminação da água na zona saturada.

O quadro climático também deve ser associado à origem dos constituintes nas águas, principalmente, nos sistemas não confinados. Nas regiões áridas e semi-áridas, a medida que a evaporação cresce, não há excedente para infiltração e os mecanismos bio-físico-químicos promovem o aumento dos sólidos dissolvidos nas camadas mais superficiais. Com a chuva, águas de infiltração lixiviam os sais para a água subterrânea e, por consequência, a água apresenta maiores valores de salinidade. Na relação entre a hidroquímica natural e os aspectos ambientais, aliados ao tipo de rocha e clima, ainda devem ser consideradas a influência do relevo, vegetação, tempo de contato rocha-água e as condições hidrológicas locais.

3 – A QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA AGRICULTURA

A qualidade da água usada para irrigação está associada ao tipo e quantidade de sais presentes, e seus efeitos sobre as propriedades do solo e rendimento da espécie cultivada. As principais características físicas e químicas que determinam a qualidade da água para a agricultura são: pH, condutividade elétrica, temperatura, grau de acidez e alcalinidade, concentração em sólidos totais dissolvidos - STD, cálcio, magnésio, cloreto, sódio, potássio, nitrato, boro, carbonato, bicarbonato e sulfato. A alta concentração de sais aumenta a pressão osmótica da solução do solo e afeta a habilidade das plantas em absorver água através das raízes, mesmo em solos úmidos.

Os sais se dissociam na forma de íons na água, e os cátions e ânions produzidos exercem diferentes efeitos sobre as plantas. A exemplo, o cálcio e o magnésio são nutrientes essenciais para as plantas e ajudam a manter as boas condições físicas do solo. O sódio, ao contrário, além de ter efeito tóxico sobre as plantas, desloca o cálcio ou outros íons associados aos materiais adsorventes do solo (argilas e substâncias orgânicas), modificando sua permeabilidade. Para avaliar o risco de

sodificação do solo, provocado pela água de irrigação, comumente [2] determina-se a Relação de Adsorção de Sódio (RAS), que é definida pela equação (1):

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

onde:

Na^+ , Ca^{2+} , e Mg^{2+} representam respectivamente a concentração de sódio, cálcio e magnésio na água em meq/L.

Outros íons como boro, sulfato e cloreto presentes na maioria das águas subterrâneas, apesar de não serem nocivos as plantas, em baixas concentrações, podem contribuir para aumentar a salinidade da água no solo. Por sua vez, os teores de CO_3^{2-} e HCO_3^- na água de irrigação devem ser considerados, pois no solo seco parte destes íons precipita como $CaCO_3$ e $MgCO_3$ aumentando a proporção relativa de sódio. O processo pode ser avaliado separadamente do conceito RAS, mediante o índice de Carbonato Sódico Residual (CSR) definido pela equação (2):

$$CSR = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (2)$$

Os dois conceitos (RAS e CSR) são combinados em um novo conceito de relação de adsorção de sódio ajustada (RASa) definida pela equação (3):

$$RASa = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} [1 + (8,4 - pHc)] \quad (3)$$

onde:

8,4 = pH de um solo salino não sódico, em equilíbrio com $CaCO_3$;

pHc = fator de ajuste = $(pK'_2 - pK'_c) + p(Ca + Mg) + p(CO_3 + HCO_3^-)$;

K'_2 = constante de dissociação do HCO_3^-

K'_c = produto de solubilidade do $CaCO_3$.

O pHc representa um valor teórico de pH, calculado para uma água em contato com o Ca do solo e em equilíbrio com o seu CO_2 . Valores de pHc superiores a 8,4 diminuem o RASa e o risco de sodificação, devido tendência de dissolução do $CaCO_3$ do solo. Valores inferiores demonstram uma tendência a precipitação do Ca.

De forma tradicional, na classificação da água para uso na agricultura aplica-se o sistema proposto pelo *United States Salinity Laboratory* - U.S.S.L., com base na condutividade elétrica e RAS, cujo diagrama é ilustrado na Figura 2.

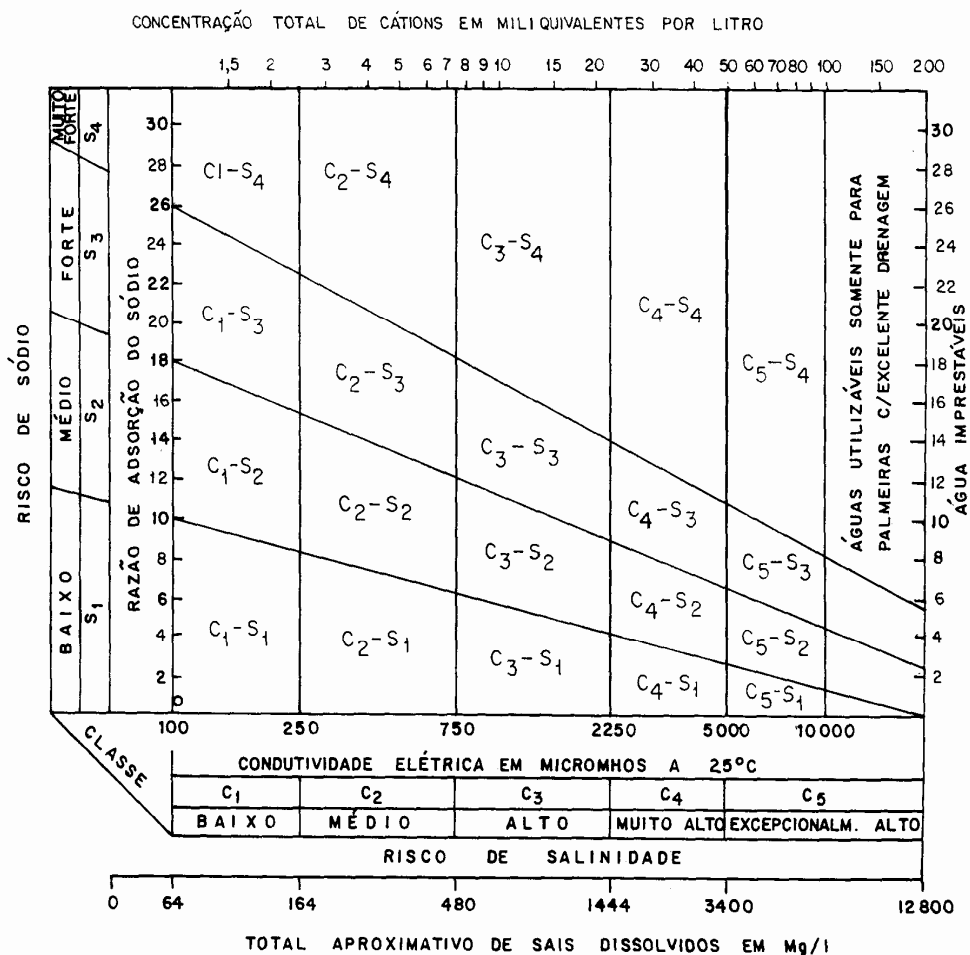


Figura 2 - Diagrama para Classificação das Águas de Irrigação do U.S.S.L. (*United States Salinity Laboratory*)

As letras C e S identificam a classe de água. As denominações C₁, C₂, C₃ e C₄ significam, respectivamente, águas de condutividades baixa, média, alta e muito alta e, de forma idêntica, S₁, S₂, S₃ e S₄ representam águas com teores de sódio baixo, médio, alto e muito alto. A água de melhor classe é caracterizada como C₁S₁ e a mais prejudicial à planta e ao solo como C₄S₄. Recomenda-se que sejam também avaliadas as concentrações de cloreto, sulfato e boro, que são nocivas as plantas em valores mais elevados.

4 – A CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POR ATIVIDADES AGRÍCOLAS

A agricultura vem sendo apontada como um dos maiores vilões de degradação da qualidade das águas, pois a sua prática envolve cargas de poluentes associadas aos sedimentos, agrotóxicos, esterco animais e fertilizantes. Entretanto, a agricultura também é vítima da poluição das águas. O uso da água contaminada nas práticas de irrigação pode comprometer a lavoura, via fitotoxicidade, ocasionar problemas de saúde na população consumidora, nos animais e nos próprios agricultores que fazem uso direto da água.

A aplicação descontrolada de fertilizantes, corretivos de solo e defensivos agrícolas aumenta o risco de contaminação das águas subterrâneas. Estas cargas são lançadas de forma difusa e podem alcançar grandes extensões. Nas áreas agrícolas, elevadas quantidades de pesticidas podem ser incorporadas as águas de drenagem. Os pesticidas ou agrotóxicos, agrupados em inseticidas, herbicidas e fungicidas, são constituídos principalmente de compostos orgânicos sintéticos, do tipo organoclorados e organofosforados, que são produtos persistentes e tóxicos mesmo em baixas concentrações. Existem inúmeros tipos de pesticidas e as vezes estão presentes em teores muito baixos, não detectáveis pelas técnicas analíticas atualmente disponíveis, o que torna difícil monitorar suas fontes.

Os fertilizantes inorgânicos (NPK) são utilizados de forma contínua irracional (quantidades superiores às necessidades das culturas, aplicação em época não indicada, etc.), promovendo a saturação do solo com sais e compostos nitrogenados, que podem ser carreados para os aquíferos junto as águas de infiltração. A vinhaça, principal resíduo da indústria do álcool, com frequência, tem sido utilizada como fertilizante, pois possui elevadas concentrações de K, Cl, N, P, Ca e SO_4^{2-} . O nitrogênio ocorre em várias formas, como resultante de diversos processos bioquímicos naturais que ocorrem no solo. Nas águas subterrâneas o teor de amônia (NH_3) normalmente é baixo, devido a retenção pelas argilas. Níveis elevados de amônia e nitratos (NO_3^-) comprometem a qualidade das águas. Nas áreas rurais, em geral, o NO_3^- está associado aos resíduos animais e/ou fertilizantes, e apresenta maiores problemas nas águas devido a expressiva mobilidade, estabilidade no sistema aeróbico e risco a saúde humana.

A prática inadequada do uso de pesticidas para proteção das plantas, envolve doses desnecessárias, exageradas, e a utilização de pesticidas não homologados e ineficazes. A combinação do uso de tecnologias agropecuárias que diminuem a carga de agroquímicos, aplicados por área de cultivo, certamente, constitui um dos grandes desafios no sentido da proteção da qualidade da águas. Desta forma, torna-se necessário a ampliação de estudos voltados para o desenvolvimento e disseminação das práticas conservadoras de plantio, que permitam reduzir a carga de herbicidas, fungicidas e

fertilizantes que podem ser arrastados para os cursos de águas superficiais e subterrâneas. Pesquisas para controle biológico de pragas também devem ser consideradas dentro deste contexto, de forma a possibilitar a redução do uso de agroquímicos do tipo inseticidas nas lavouras. A diminuição expressiva do número de aplicações de agrotóxicos sobre as culturas reduz o risco de contaminação das águas dos mananciais hídricos.

O risco de contaminação das águas subterrâneas [3, 4, 5] é determinado pela interação das **características da carga contaminante** (forma de aplicação, volume, extensão, intensidade, duração/oposição) e da **vulnerabilidade natural do aquífero**. A carga contaminante pode ser controlada ou modificada, o que não acontece com a vulnerabilidade do aquífero que depende da inacessibilidade hidráulica para transportar os contaminantes e da capacidade de atenuação na zona não saturada. Ambos fatores interagem com os componentes da carga contaminante e, em particular, com a magnitude da carga hidráulica associada as águas de irrigação. O conceito fundamental de vulnerabilidade de aquíferos é que algumas áreas são mais vulneráveis a contaminação das águas subterrâneas do que outras, um fator importante a ser considerado no planejamento do uso potencial do solo para agricultura.

No desenvolvimento do agronegócio, a adoção de uma tecnologia de irrigação não deve apenas considerar a relação de benefício-custo, mas também o volume de água a ser usado e os impactos ambientais relacionados. Além do desperdício de água comumente associado aos diferentes sistemas de irrigação, pode ocorrer aumento da carga hidráulica no solo o que favorece a lixiviação de poluentes para as águas subterrâneas. Através do sistema radicular as plantas retiram a água do solo para o processo de transpiração. Uma irrigação leve ou deficiente repõe apenas a água das camadas superficiais do solo, o que limita o desenvolvimento radicular das plantas e a produção agrícola. Quando a irrigação é excessiva causa perda de água por drenagem profunda e facilita o transporte de contaminantes para as águas subterrâneas, aumentando o risco de contaminação. Em regiões áridas e semi-áridas a superirrigação pode ainda promover a elevação do nível freático, o que favorece a evapotranspiração freática e o aumento de salinidade na água. Assim, a quantidade da água de irrigação também deve ser manejada de forma adequada, conforme a natureza das plantas cultivadas, de modo garantir a produtividade e reduzir o risco de contaminação ambiental.

A abertura de poços fora dos critérios da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas e a inexistência de fiscalização ao cumprimento das normas de proteção dos poços podem ser vistos como sérias ameaças à contaminação dos mananciais subterrâneos. Em algumas áreas rurais do Brasil, é freqüente encontrar poços operados sem proteção adequada, com precária vedação, sem área de isolamento definida e apropriada [6]. Tais fatos conduzem ao risco potencial de contaminação das águas dos poços, por infiltração de águas de escoamento superficial, carreando

resíduos de múltiplas origens, associados aos processos do desenvolvimento urbano, rural e industrial no entorno.

Nos últimos anos, tem sido dado maior ênfase aos riscos de contaminação das águas subterrâneas, do que aos problemas de exploração, pois a renovação da água num aquífero se processa em velocidade muito baixa, o que dificulta a recuperação de sua qualidade. A ausência de medidas adequadas para o controle da contaminação das águas subterrâneas pode levar a necessidade de implantação de programas de alto custo para tratamento da água e reabilitação dos aquíferos, geralmente, em longo prazo ou até ao abandono do poço.

5 - PADRÕES DE QUALIDADE PARA SOLOS E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O emprego de listas com valores orientadores ou de referência para solos e águas subterrâneas é prática usual nos países com tradição na questão do monitoramento da qualidade dos solos e águas subterrâneas, e no controle de áreas já contaminadas e/ou suspeitas de contaminação. A tendência mundial aponta para o estabelecimento de uma lista geral incluindo valores de referência de qualidade (com base nas análises de amostras de solos e águas subterrâneas), valores de alerta e valores de intervenção. Os valores são derivados de modelos matemáticos de avaliação de risco aplicados em diferentes cenários de uso e ocupação do solo, considerando-se diversas vias de exposição e variáveis toxicológicas.

A Holanda foi o primeiro país a formalizar um programa nacional para avaliação de contaminação e estabelecimento de níveis de intervenção, considerando-se a multi-funcionalidade do solo, ou seja: as funções de agricultura, ecologia, transporte, suprimento de água potável etc. Usando como base a metodologia holandesa, em 2002 a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do estado de São Paulo – CETESB publicou uma lista preliminar de valores orientadores para o Estado de São Paulo para ser adotada tanto na prevenção da poluição de solos e águas subterrâneas como no controle de áreas contaminadas. Maiores informações sobre o assunto são tratadas por diversos autores [7, 8, 9].

6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atuação dos órgãos oficiais de meio ambiente é decisiva na existência de ações preventivas e corretivas para preservação das águas subterrâneas. Em grande parte do Brasil, as atividades agrícolas não têm recebido merecida atenção, a aplicação de defensivos não requer licenciamento e está subordinada ao Ministério da Agricultura. Tal fato impede a atuação dos órgãos ambientais

nesta área e o controle mais rigoroso com relação a contaminação dos solos e águas subterrâneas decorrente das atividades agrícolas. O agronegócio brasileiro é uma área em que a combinação de recursos naturais com tecnologias apropriadas para aumentar a produtividade pode ter grande sucesso. Entretanto, é preciso reconhecer e apoiar, de maneira ambientalmente sustentável, esse importante setor no qual o Brasil tem um dos maiores potenciais mundiais.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- DÍAZ DELGADO, C; ESTELLER, M. V.; LÓPEZ-VERA, F. (ed.) Manual sobre recursos hídricos: Conceptos básicos y estudios de casos en iberoamérica. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. 2005.
- 2 - CAUDURO, F. A., DORFMAN, R. Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem. Porto Alegre: IPH-UFRGS, 1991. 216p.
- 3 - AUGÉ, M. Vulnerabilidad de acuíferos: conceptos y métodos. 2004. Disponível em: <<http://www.cytex.org>>.
- 4 - FOSTER, S.; HIRATA, R. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas: una metodología basada en datos existentes. CEPIS, 81 p. 1991.
- 5 - FOSTER, S. Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF VULNERABILITY OF SOIL AND GROUNDWATER TO POLLUTANTS, Noordwijk, Países Baixos. **Proceeding...** 1987.
- 6 - MESTRINHO, S. S. P. Aspectos hidroquímicos e bacteriológicos das águas subterrâneas para abastecimento do município de Alagoinhas-Bahia-Brasil. In: XXXIII Congresso IAH e Congresso ALHUSUD, 2004, Zacatecas. Anais ... 2004.
- 7- CASARINI, D.C. P. et al. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas Subterrâneas do Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, 2001. 245p.
- 8 - DIAS, C. L.; CASARINI, D. C. P. Gerenciamento da qualidade de solos e águas subterrâneas. Relatório Técnico de viagem à Holanda. São Paulo : CETESB, 1996. 50p.
- 9 – VROM; Ministry of Housing; Spatial Planning and Environment. Intervention values and target values: soil quality standards. The Hague: VROM, 1994. 19p.