

# CONSIDERAÇÕES SOBRE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE NA EXPLOTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

*Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral<sup>1</sup>; Sylvana Melo dos Santos<sup>2</sup>*

## **Resumo**

Para o adequado planejamento, uso e gerenciamento das águas subterrâneas é necessário a definição e quantificação de indicadores de vulnerabilidades e condições de sustentabilidade de um aquífero. Estas definições constituem um importante instrumento para os gestores com relação ao principal dilema que envolve as reservas hídricas subterrâneas: a demanda pelo uso e a necessidade de proteção. Há uma necessidade contínua pelos gestores hídricos de informação confiável e pertinente sobre a gravidade dos problemas ambientais locais, bem como da construção de indicadores que sirvam de base para as respectivas medidas normativas e gerenciais. Este trabalho discute alguns tipos de indicadores para o uso das águas subterrâneas, levando em conta os riscos ao ambiente antrópico e aos aquíferos, a resiliência do sistema hídrico e a integridade do ecossistema como um todo.

## **Abstract**

Groundwater planning, exploitation and management requires definition and quantification of aquifers vulnerabilities and sustainability conditions. These concepts are important tools for decision making to water supply and aquifer protection. Water resource management needs reliable information on local environmental problems and needs to elaborate indicators for administrative purposes. This work deals with indicators for groundwater use, taking in account risks for man and for aquifers, natural water system resilience and ecosystem integrity.

**Palavras chaves:** água subterrânea, uso sustentável, indicadores de sustentabilidade.

---

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Civil, Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, 50670-901 – Recife, PE. Fone: (81) 2126.8709. E-mail: jcabral@ufpe.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Rodovia BR-104, Km 62, Nova Caruaru, 55002-970 – Caruaru, PE. Fone: (81) 3727.6793. E-mail: sylvana@ufpe.br

## 1. Introdução

O crescimento das metrópoles, e das atualmente chamadas megacidades, demanda uma maior quantidade de recursos hídricos para atender às necessidades cada vez maiores de sua população. Na obtenção de tais recursos não é incomum verificar-se a ocorrência de localidades com água contaminada, forçando a busca de novos mananciais em lugares cada vez mais distantes que possibilitem o abastecimento público. Isso é resultado de um emprego inadequado dos recursos hídricos, não unicamente do ponto de vista quantitativo como também qualitativo, que pode ser mitigado combatendo-se eficazmente os desperdícios. A gestão da demanda pode ser vista como uma ferramenta fundamental para a solução dos problemas que acometem os grandes centros urbanos, como as crises no abastecimento que resultam em riscos de racionamentos nas estações mais secas.

No Brasil, a decisão sobre a licença de exploração e uso da água subterrânea cabe à administração de cada Estado. Para o controle efetivo da perfuração de poços, pelos órgãos de fiscalização e outorga desses direitos, é necessário o conhecimento da disponibilidade hídrica subterrânea bem como dos níveis de utilização atuais destes recursos, a fim de estabelecer os respectivos limites de exploração e solucionar eventuais conflitos entre os diversos usuários.

Para uma adequada tomada de decisão nos processos de gerenciamento da água subterrânea, os órgãos estaduais de gestão ambiental e/ou gestão de recursos hídricos necessitam de indicadores que sirvam de balizamento para as autorizações, licenças ou concessões de bombeamento dos aquíferos. Assim, há uma demanda contínua pelos gestores de informação confiável e pertinente sobre a gravidade dos problemas ambientais locais, bem como da construção de indicadores que sirvam de base para as respectivas medidas normativas e gerenciais. Por outro lado, é importante tomar cuidado com demasiadas expectativas sobre as informações obtidas com o uso de indicadores, que possuem suas limitações no setor específico de atuação.

Mundialmente, os primeiros esforços para o estabelecimento e utilização de indicadores ambientais datam da década de 70 e 80. Ao final dos anos 80, o Governo Canadense destacou-se pela sua atuação no sentido de aprimorar o conceito de indicadores ambientais para simplificação das informações sobre as questões ambientais e conseqüente expansão do público. Iniciou-se um processo de discussão que resultou na definição do conceito de indicador ambiental pela Organization for Economic Cooperation and Development – OECD: “um indicador pode ser definido como um parâmetro ou um valor derivado de outros parâmetros, que proporciona informação sobre um fenômeno. O indicador tem significado que se estende além das propriedades associadas ao valor do parâmetro em uso”.

O desenvolvimento de indicadores ambientais passou para um novo patamar de integração às demais dimensões do desenvolvimento sustentável, conforme está apresentado no Capítulo 40 da Agenda 21: “Indicadores do desenvolvimento sustentável necessitam ser desenvolvidos a fim de proporcionar uma base sólida para a tomada de decisão em todos os níveis e para contribuir para a sustentabilidade auto regulada do sistema integrado meio ambiente e desenvolvimento”.

O presente trabalho discute alguns tipos de indicadores para o uso das águas subterrâneas, levando em conta os riscos ao ambiente antrópico e aos aquíferos, a resiliência do sistema hídrico e a integridade do ecossistema como um todo.

## 2. Indicadores

O conceito de indicadores ambientais possui diferentes significados conforme o objetivo específico que se deseja atingir, mas, de uma forma geral, pode-se considerar que os indicadores geram uma percepção sistemática e integrada da realidade, considerando, normalmente, demasiada quantidade de informações e vinculando questões, aparentemente, divergentes. De acordo com Fidalgo (2003) [1], os indicadores ambientais priorizam os aspectos ambientais e consideram os aspectos sociais e econômicos na medida em que esses se apresentam diretamente relacionados a eles.

Para a construção dos indicadores, é necessário um conjunto de informações e dados que devem ser sistematicamente ordenados e condensados em informação chave. Independente do fim a que se aplica, pode-se entender a função dos indicadores como recurso de apoio à gestão através da pirâmide de informação apresentada por Asian Development Bank (1999) [2], Figura 1.



Fonte: ASIAN DEVELOPMENT BANK (1999)

Figura 1. Pirâmide de informações.

Tal como apresentado por Serra (2002) [3], a pirâmide de informações pode ser visualizada como um funil invertido, cuja base comporta uma grande quantidade de dados que devem ser

comprimidos para gerar, no topo, um índice, daí pode-se avaliar a importância da existência e confiabilidade dos dados na construção dos indicadores e dos índices.

No que se refere à integridade, estabilidade e sustentabilidade dos recursos hídricos, tradicionalmente, dá-se maior importância aos parâmetros relacionados à poluição. A vulnerabilidade da água subterrânea pode ser considerada, por exemplo, conforme o método DRASTIC, que considera as características do sistema de água subterrânea que controlam a vulnerabilidade de um aquífero para contaminação da superfície, como profundidade do nível d'água, recarga, material que compõe o aquífero, condutividade hidráulica, entre outros. Este método é amplamente aceito, mas tem uma subjetividade inerente devido à seleção de classes e pesos para tais características.

Enquanto que os indicadores para a qualidade da água são amplamente discutidos, os indicadores de disponibilidade hídrica são mais raramente estabelecidos. Além da vulnerabilidade da qualidade da água, os impactos na quantidade de água e na integridade do sistema aquífero devem ser considerados. De fato, a super-exploração pode resultar em rebaixamentos no nível d'água, intrusão salina e perda da função de armazenamento do aquífero. Além disso, os indicadores relacionados com a disponibilidade hídrica devem considerar a integração dos processos do meio físico. Nesse sentido, deve-se observar a importância do reservatório dinâmico de produção de água que constitui o manancial hídrico subterrâneo no processo de interação entre água superficial e água subterrânea.

Soares et al. (2006) [4] sugeriram a análise de um conjunto de geoindicadores (vazões mínimas, rebaixamento do nível freático e grau de evolução de processos erosivos) para avaliar, no seu conjunto, a disponibilidade hídrica total. Lobo Ferreira et al. (2003) [5], apresentaram exemplos de indicadores para água subterrânea de caráter quantitativo (para avaliação da disponibilidade hídrica) e qualitativo (para avaliação da qualidade da água), respectivamente, os níveis piezométricos e os níveis de bactérias nos aquíferos.

### **3. Vulnerabilidade e riscos**

Ao longo da história da humanidade, alguns povos que não conseguiram usar os recursos naturais sem degradar o meio ambiente foram levados rapidamente ao declínio. Uma lista com alguns dos riscos mais importantes que podem impactar o meio-ambiente foi apresentada por Kaly et al. (1999) [6] e está mostrada na Tabela 1.

Tabela 1. Exemplos de riscos que impactam o meio ambiente

Riscos	Exemplos
Eventos meteorológicos	Ciclones, enchentes, tornados.
Eventos geológicos	Deslizamentos, terremotos, vulcões, tsunamis, subsidência.
Impactos antropogênicos	Exploração de recursos naturais, gerenciamento ambiental inadequado, urbanização.
Mudanças climáticas	Aquecimento da temperatura atmosférica e oceânica.
Outros efeitos	Eventos astronômicos e elevação do nível do mar.

No que se refere à água subterrânea, as mesmas idéias se aplicam. Indiscutivelmente, os especialistas em água subterrânea têm um papel muito importante na definição e quantificação da vulnerabilidade de um aquífero. Estas definições constituem um importante instrumento para os gestores com relação ao principal dilema que envolve as reservas hídricas subterrâneas: a demanda pelo uso e a necessidade de proteção. A vulnerabilidade dos aquíferos precisa ser entendida no contexto dos riscos resultantes do desenvolvimento de determinadas atividades.

De uma forma geral, pode-se considerar a superexploração como a extração de água subterrânea em taxas superiores à recarga por períodos prolongados que resulta em danos ao reservatório subterrâneo, como o rebaixamento do nível do aquífero, dentro de um horizonte de tempo definido. Além disso, como consequência desse processo podem ocorrer danos ao meio ambiente ou para o próprio recurso, como aumento nos custos de bombeamento, escassez de água, indução de água contaminada e problemas geotécnicos de subsidência.

Nesse contexto, considerando as demandas existentes e a disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos é necessário realizar a gestão adequada desses recursos para que a captação da água dos aquíferos seja realizada de forma compatível com a capacidade de recuperação do mesmo. Caso contrário é necessário avaliar os riscos geotécnicos resultantes da exploração dessa área.

A estratégia de proteção dos mananciais consiste basicamente na delimitação da ocupação da área, baseada em mapas de graus de vulnerabilidade natural dos sistemas aquíferos e de riscos potenciais de poluição associados à carga contaminante presente na superfície, e no zoneamento de áreas de riscos potenciais, de áreas críticas que sirvam de base ao planejamento para ações governamentais e de controle e proteção de aquíferos (Nadal et al., 2001 [7] apud Foster et. al, 1988 [8]). Nesse momento, dois importantes conceitos devem ser distinguidos: risco e vulnerabilidade.

Artuso et al. (2004 [9], apud Lobo Ferreira e Cabral, 1991 [10]) apresentaram o conceito de vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas como sendo “a sensibilidade da qualidade das

águas subterrâneas a uma carga poluente, função apenas das características intrínsecas do aquífero”. Portanto a vulnerabilidade não depende da existência ou não de fontes poluidoras nas proximidades.

Por outro lado, o risco de poluição depende não apenas da vulnerabilidade, mas também da existência de cargas poluentes que possam poluir o meio subterrâneo. Desta forma, se um aquífero for muito vulnerável mas não houver fontes poluentes no local, o risco de poluição será considerado baixo.

Além do risco de poluição, que é considerado um dos mais graves, existe o risco de exploração excessiva do aquífero levando à exaustão da sua capacidade de suprir a demanda hídrica, quando sua capacidade de recarga é muito inferior às taxas de bombeamento.

No que se refere aos cuidados com a exploração desordenada dos recursos hídricos, considerando a gravidade dos riscos envolvidos na sua ocorrência, uma outra susceptibilidade que deve ser considerada refere-se à ocorrência de subsidência. De maneira análoga pode-se considerar a vulnerabilidade à subsidência como as características geológicas que predispõe o aquífero a desenvolver o processo. Caso o aquífero vulnerável não seja explorado demasiadamente pode não sofrer deslocamentos verticais. Caso contrário, o aquífero, já sendo vulnerável, pode estar sob o risco de subsidência.

Xu et al. (2002) [11] destacaram o importante papel que a água subterrânea representa no ecossistema aquático e terrestre como o provedor de água (principalmente nos períodos secos) e nutrientes. De acordo com o autor, uma avaliação completa da vulnerabilidade deve incluir:

- vulnerabilidade da superfície à contaminação;
- risco de subsidência e vulnerabilidade da integridade do aquífero;
- vulnerabilidade aos períodos de seca;
- vulnerabilidade à super-exploração; e
- vulnerabilidade do ecossistema.

Hirata e Ferreira (2001) [12] ressaltaram a influência das atividades antrópicas como um aspecto que também pode ser considerado num estudo sobre os riscos e as vulnerabilidades associados aos mananciais hídricos subterrâneos, identificando atividades que apresentam maiores e menores perigos aos aquíferos. O cruzamento deste tipo de informação com o mapa de vulnerabilidade de aquíferos pode estabelecer uma importante informação com relação ao maior ou menor perigo que representam aos aquíferos.

Com a definição dos parâmetros indicadores de risco e vulnerabilidade é possível estabelecer os limites legais para perímetros de proteção das captações de águas subterrâneas. Assim, mapas de risco e de vulnerabilidade podem constituir uma importante ferramenta para assegurar a proteção qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos subterrâneos.

#### 4. Uso sustentável

Nos últimos 20 anos o conceito de desenvolvimento sustentável vem gradativamente se firmando no Brasil. A sustentabilidade envolve o sistema humano e o sistema ambiental, tanto de perto como de longe, e tanto do presente como do futuro (Gladwin et al., 1995 [13]). A análise da sustentabilidade deve incluir as mudanças populacionais, o crescimento econômico, o avanço tecnológico, os aspectos políticos, as instituições, a forma de pensar das pessoas. Várias definições de sustentabilidade têm sido sugeridas, relacionando as atividades antrópicas e os recursos naturais. Entre elas, podem ser citadas:

Sustentabilidade é a relação entre os sistemas econômicos dinâmicos do homem e o sistema ecológico, mais dinâmico embora normalmente mais lento nas mudanças. Nesta relação, a comunidade humana pode continuar indefinidamente, as atividades humanas podem florescer, a cultura humana pode se desenvolver, mas as atividades antrópicas ficam dentro de certos limites para não destruir a biodiversidade, a complexidade e as funções vitais do ecossistema (Costanza et al., 1991 [14]).

Sustentabilidade é uma situação da economia onde as demandas exercidas sobre o meio ambiente pelas pessoas, pela indústria, e pelo comércio podem ser atendidas sem reduzir a capacidade do ambiente atender as futuras gerações. Ou seja, “deixe o mundo melhor do que você encontrou”, “não tire mais do que você precisa”, “não cause prejuízos ao ecossistema”, ou “se você danificou o ecossistema, procure corrigir o seu dano” (Hawken, 1993 [15]).

No caso das águas subterrâneas, o conceito de bombeamento sustentável já vem sendo analisado e discutido por algumas décadas, com nomes diferentes como bombeamento seguro ou reservas explotáveis. O objetivo neste caso é determinar quanto pode ser bombeado indefinidamente de um aquífero sem fazer mineração das reservas hídricas, onde mineração de água se entende como o prolongado e progressivo decréscimo dos volumes armazenados, sem possibilidade de reposição num tempo razoável.

Este conceito coloca o foco só no aquífero e é bem distinto do conceito de desenvolvimento sustentável ou sustentabilidade (DEVLIN e SOPHOCLEOUS, 2004 [16]). Para o desenvolvimento sustentável são analisadas todas as influências que o bombeamento da água subterrânea pode acarretar nas águas superficiais e no meio ambiente como um todo.

Por exemplo, na Espanha, na região do Alto Guadiana, o bombeamento excessivo nos últimos 30 anos para irrigação, causou o rebaixamento de 50 metros no nível do lençol freático e

com isto os rios da região, que recebiam fluxo de base dos aquíferos secaram e também secou uma área de banhado onde existia um ecossistema valioso (Bromley et al, 2001 [17]).

Para o desenvolvimento sustentável é importante não só preservar o aquífero, mas preservar os ecossistemas da região que interagem com as águas subterrâneas como os rios, os banhados, as áreas estuarinas, os mangues, as áreas costeiras. Esta interação se dá tanto a nível de quantidade de água que o fluxo subterrâneo traz para o manancial de superfície, como nos nutrientes trazidos pela contribuição dos aquíferos e que são importantes para a biodiversidade do local.

Outro ponto na sustentabilidade é a qualidade da água do aquífero que pode sofrer sérios danos com a superexploração. Ao aumentar as vazões de bombeamento dos aquíferos, recargas de outras origens e qualidade duvidosa começam a se infiltrar e percolar pelo aquífero, podendo desta forma degradar a qualidade das águas subterrâneas da região.

## **5. Indicadores de Água Subterrânea**

Indicadores de exploração de água subterrânea precisam ser parâmetros facilmente quantificáveis que elucidem de um modo rápido sobre o estado qualitativo e/ou quantitativo dos aquíferos (Lobo Ferreira, 2003). Além disso, precisam ser incluídos parâmetros que elucidem também a situação dos ecossistemas terrestre ou costeiro que tenham interação com os aquíferos.

### **5.1 Características a serem observadas na escolha de indicadores**

Renovabilidade das águas subterrâneas – Nos últimos anos muito se tem discutido sobre recursos naturais renováveis e não renováveis. Enquanto petróleo é sem dúvida não renovável e as águas dos rios são renováveis, as águas subterrâneas podem ser renováveis ou não, dependendo de características climáticas, geológicas e da intensidade da exploração.

Armazenamento e escoamento – Enquanto os rios praticamente desempenham um papel no escoamento das águas e os lagos desempenham um papel no armazenamento, as águas subterrâneas possuem as duas funções. Quando se bombeia água de um aquífero onde a recarga se dá muitos quilômetros distante, está sendo utilizada a capacidade do aquífero de escoamento para transporte de determinado volume de água. Quando se recarrega o aquífero para posterior recuperação dessa água (projetos do tipo ASR – Aquifer Storage and recovery) está sendo usada a propriedade de armazenamento do aquífero.

Gerenciamento integrado de água superficial e subterrânea – No ciclo natural as águas subterrâneas geralmente podem contribuir para os rios, lagos e banhados ou são recarregadas pelos



mesmos (em alguns casos ambas situações podem ocorrer de acordo com variações no tempo ou no espaço). Ao se bombear água subterrânea está sendo modificada a disponibilidade de água superficial (com exceção de alguns poucos casos de aquíferos isolados), mesmo que esta mudança só venha a ser sentida muitos quilômetros distante ou muitos anos depois. Portanto o ideal é um gerenciamento integrado das águas superficiais e das águas subterrâneas.

Escala de tempo da resposta das águas subterrâneas – De acordo com as distâncias e com as características hidrogeológicas, as respostas da água subterrânea podem demorar anos, décadas ou até séculos. Em Recife foi feita datação com carbono 14 e verificou-se que as águas do aquífero profundo tinham cerca de 20.000 anos. Em Londres foi observada poluição da água num determinado poço e uma pesquisa subsequente comprovou que a poluição era proveniente de uma fábrica que existiu no local um século antes.

Aspectos físicos, químicos e biológicos – Os aspectos físicos, químicos e biológicos da água subterrânea são interligados e devem ser analisados de forma integrada. O aspecto biológico é particularmente importante nos aquíferos rasos onde a camada superior do solo desenvolve uma grande atividade química e biológica com repercussões na qualidade da água (o que vem sendo chamado pelos pesquisadores de reator biogeoquímico).

## **5.2 Propostas de indicadores**

Indicador de escoamento de base - Quando o bombeamento é feito num aquífero freático interconectado com a rede hidrográfica, haverá redução progressiva das vazões de base dos rios. Se as taxas de bombeamento forem muito grandes em relação à vazão do rio, o rio pode secar completamente.

Indicador da relação exploração versus recarga – As taxas de exploração devem ser compatíveis com as taxas de recarga. Para se avaliar as condições de infiltração e recarga de uma determinada região, é necessário conhecer o funcionamento da matriz solo-água-ar que formam o solo. Soares et al (2006) sugeriram alguns parâmetros físicos dos solos para caracterizações pontuais em complementação às variáveis e aos parâmetros necessários para conhecimento das condições de infiltração, são eles: textura, densidade, taxa de infiltração, permeabilidade e condutividade hidráulica. Assim, a avaliação da recarga de aquíferos é um dos aspectos primordiais na caracterização hidrogeológica quantitativa e faz parte da composição de um importante indicador.

Indicador de economicidade da exploração - Um dos problemas óbvios com o bombeamento excessivo é o decréscimo progressivo dos níveis potenciométricos. E os problemas relacionados como o maior consumo de energia elétrica, o aumento nos custos operacionais, a necessidade de

aumentar a profundidade dos poços, a necessidade de aumentar a capacidade das bombas e a necessidade de aumentar instalações para o fornecimento de energia elétrica. Pode então ocorrer a não sustentabilidade econômica do aproveitamento de água subterrânea no local, com a vazão pretendida.

Indicador de vulnerabilidade e risco de poluição – A literatura já descreve várias formas de estimar a vulnerabilidade tais como GOD, DRASTIC, AVI (Canadá), EPPNA (Portugal), SINTACS (Itália) (Cabral et al, 2004)[18]. Baseando-se na vulnerabilidade e nas fontes potencialmente poluidoras, pode ser feita a avaliação do risco de poluição.

Indicador de intrusão marinha - Um grande risco em aquíferos costeiros e que tem ocorrido em vários países é o problema da salinização. A salinização pode ocorrer pelo processo de avanço da cunha salina, que pode ser na forma de interface delgada ou na forma de uma faixa de transição. Outras vezes a salinização pode se propagar verticalmente: a camada de água boa está acima ou abaixo da camada salinizada, e o aquífero que possuía boa água pode sofrer salinização por elevação de cone, ou por drenança vertical.

Indicador de subsidência - As características que indicam algum tipo de vulnerabilidade podem variar de uma determinada localidade com relação à outra. No que se refere à subsidência, por exemplo, Xu et al. (2002) apresentaram os indicadores que aumentam o risco de subsidência na África do Sul como sendo: a presença de aquífero dolomítico (composto por uma rocha calcária chamada dolomito que é composta por um carbonato duplo de cálcio e magnésio), rebaixamento do nível d'água, potencial para formação de cavernas para escoamento da água (aumento na velocidade de dissolução), e potenciais baixos associados com materiais de baixa densidade. Por outro lado, outras localidades com diferentes formações geológicas podem também apresentar um alto risco de subsidência. As extrações realizadas em quantidade superior às compensações pela recarga podem resultar no rebaixamento indesejável da superfície piezométrica regional e a conseqüente subsidência do solo.

Indicador de contribuição das águas subterrâneas para o ecossistema - Devido à interação com as águas superficiais, o bombeamento da água subterrânea cedo ou tarde atingirá os corpos d'água do entorno, mesmo a quilômetros de distância. Portanto pode ocorrer redução significativa da contribuição de água subterrânea para o manancial de superfície, ou pode haver drenagem das águas superficiais para suprir os gradientes hidráulicos gerados no bombeamento. Com isto banhados podem vir a secar, ou haverá modificação da vazão de contribuição para os ecossistemas alterando tanto a quantidade de água como o aporte de nutrientes para a zona hiporréica dos rios, e para lagos, estuários, mangues e ecossistemas marinhos costeiros.

## **6. Comentários finais**

Os indicadores relacionados com a exploração de água subterrânea, além, de facilmente quantificáveis devem incluir a situação dos ecossistemas terrestre ou costeiro que tenham interação com os aquíferos. A construção de indicadores com tais propósitos não é uma tarefa fácil, daí a proposição de que sejam considerados alguns critérios norteadores como renovabilidade das águas subterrâneas, armazenamento e escoamento, gerenciamento integrado de água superficial e subterrânea, escala de tempo da resposta das águas subterrâneas, aspectos físicos, químicos e biológicos.

Da análise de linhas norteadoras propostas, foi apresentado, no presente artigo um conjunto de indicadores de água subterrânea relacionados ao escoamento de base, à relação exploração/recarga, à economicidade da exploração, à poluição, à intrusão marinha, à subsidência e à contribuição das águas subterrâneas para o ecossistema.

As características que indicam vulnerabilidades e condições de sustentabilidade podem variar de uma determinada localidade com relação à outra. Os conceitos apresentados sobre os indicadores de água subterrânea, considerando aspectos quantitativos e qualitativos, precisam de reflexão e discussão na comunidade técnica nacional para detalhamento de parâmetros e índices com vistas ao aprimoramento das ações de gestão dos recursos hídricos.

## 7. Referências bibliográficas

- [1] FIDALGO, E.C.C. (2003) Critérios para a Análise de Métodos e Indicadores Ambientais usados na Etapa de Diagnóstico de Planejamentos Ambientais. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, Brasil.
- [2] ASIAN DEVELOPMENT BANK (1999). Development of environment statistics in developing Asian and Pacific countries. Disponível em: <[http://www.adb.org/documents/books/dev\\_env\\_Statistics/chap\\_03.pdf](http://www.adb.org/documents/books/dev_env_Statistics/chap_03.pdf)>. Consultado em: 14 jun. 2006. Chapter 3: Framework for the development of environment statistics.
- [3] SERRA, E. (2002) Vulnerabilidade e Risco de Poluição Agrícola no Sistema Aquífero dos Gabros de Beja (Sector da Margem Esquerda do Rio Guadiana). Relatório Final - Licenciatura em Engenharia do Ambiente. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- [4] SOARES, P.V., PEREIRA, S.Y., SIMÕES, S.J.C., BERNARDES, G.P. (2006) Aplicação do Conceito de Geoindicadores na Avaliação da Disponibilidade Hídrica em Bacias Hidrográficas – Uma Abordagem Introdutória. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 11 (1), p. 117-117.

- [5] LOBO FERREIRA, J.P., CHACHADI, A.G., OLIVEIRA, M.M., LEITÃO, T.E., DIAMANTINO, C., MOINANTE, M.J., CUNHA, M.C., KRIJGSMAN, B., NAGEL, K., FESEKER, T. (2003) A Componente Águas Subterrâneas do Projecto de Cooperação Eu-Índia “Measuring, Monitoring and Managing Sustainability: The Coastal Dimension”. Em: 6º SILUSBA - 6º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Cabo Verde.
- [6] KALY, U., BRIGUGLIO, L., MCLEOD, H., SCHMALL, S., PRATT, C., PAL, R. (1999) Environmental Vulnerability Index (EVI) to summarise national environmental vulnerability profiles. SOPAC Technical Report 275. 66p.
- [7] NADAL, C.A., GIUSTI, D.A., ROSA FILHO, E.F., HINDI, E.C. (2001) Metodologia geodésica/geológica para o levantamento de deslocamentos do terreno em regiões circunvizinhas a um poço artesiano. Em: Anais do II Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Curitiba, Paraná, Brasil.
- [8] FOSTER, S.D.S.; HIRATA, R.C.; ROCHA, G.A. (1988) Riscos de Poluição de águas subterrâneas: uma proposta metodológica de avaliação regional. Em: 5º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Anais. ABAS. São Paulo, Brasil, p. 175-185.
- [9] ARTUSO, E., OLIVEIRA, M.M., LOBO FERREIRA, J.P.C. (2004) Capítulo 7 – Avaliação da Vulnerabilidade à Poluição das Águas Subterrâneas do sector de Évora do Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba. Em: Água Subterrânea: Aquíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade e Aproveitamento. p. 277-321.
- [10] LOBO FERREIRA, J.P.C., CABRAL, M. (1991) Proposal for na Operational Definition of Vulnerability for the European Community’s Atlas of Goundwater Resources. Em: Meeting of the European Institute for Water, Groundwater Work Group Brussels.
- [11] XU, Y., COLVIN, C., VAN TONDER, G.J., HUGHES, S., LE MAITRE, D., ZHANG, J., MAFANYA, T, BRAUNE, E. (2002) Towards the Resource Directed Measures: Groundwater Component (Version 1.1). Water Research Commission.
- [12] HIRATA, R.C.A., FERREIRA, L.M.R. (2001) Os aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: Disponibilidade Hídrica e Vulnerabilidade à Poluição. Em: Revista Brasileira de Geociências, 31 (1), p. 43-50.
- [13] GLADWIN, T.N., KENNELLY, J.J., KRAUSE, T.S. (1995) Shifting Paradigms for Sustainable Development. Em: Implications for Management Theory and Research, Academy of Management Review, 20 (4), p. 874-907.
- [14] COSTANZA, R., DALY, H.E., BARTHOLOMEW, J.A. (1991) Goals, agenda and policy recommendations for ecological economics, In R. Costanza (Ed.) Ecological economics: The science and management of sustainability, pp 1-20, New York, Columbia Univ Press.

- [15] HAWKEN, P. (1993) The ecology of commerce: A declaration of sustainability. New York, Harper Business.
- [16] DEVLIN, J. F., SOPHOCLEOUS, M. (2004) The persistence of the water budget myth and its relationship to sustainability. Em: Hydrogeology Journal, on line 28-May-2004, Springer-Verlag.
- [17] BROMLEY, J., CRUCES, J., ACREMAN, M., MARTINEZ, L., LLAMAS, M. R. (2001) Problems of sustainable groundwater management in an area of over-exploitation: The upper Guadiana catchment, Central Spain. Em: Water Resources Development, 17 (3), p. 379-396.
- [18] CABRAL, J J S P, LOBO FERREIRA, J P C, MONTENEGRO, S M G L, COSTA, W D (2004) – Água Subterrânea: Aquíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade e Aproveitamento, Editora Universitária UFPE, Recife.