

SUSTENTABILIDADE DE AQÜÍFEROS COSTEIROS

Jaime J. S. P. Cabral¹

Resumo - A idéia de desenvolvimento sustentável para atender as necessidades do presente sem comprometer as necessidades das futuras gerações, foi gradualmente se estendendo para os vários recursos naturais e atualmente procura-se aplicar o mesmo conceito para as águas subterrâneas. O desenvolvimento sustentável das águas subterrâneas passa atualmente por um processo de debate conceitual e operacional, bem como se procura analisar e calcular os efeitos do bombeamento das águas subterrâneas sobre os outros recursos naturais e os ecossistemas. Os aspectos gerais da sustentabilidade são analisados tais como inclusão, conectividade, a equidade, a prudência, e também se discute os aspectos da sustentabilidade dos recursos hídricos e os aspectos específicos das águas subterrâneas. Os problemas existentes e os problemas em potencial nos diversos tipos de aquíferos e nos diversos tipos de locais são bastante semelhantes, e no presente artigo estão sendo considerados os aspectos da sustentabilidade com ênfase nos aquíferos costeiros. Por último se discute a necessidade de indicadores da sustentabilidade de aquíferos.

Abstract - Sustainable development ideas for satisfying present needs and let the earth in condition for future generations satisfy their needs, have been applied for several natural resources and at the present is being applied to groundwater. Concepts and operational guidelines for sustainable development of groundwater use are nowadays in the scientific debate, as well as research for quantifying groundwater and environmental system interconnections. This paper analyses general aspects of sustainability such as inclusion, connectivity, equity, prudence and also analyses water resources sustainability and specific groundwater sustainability issues. Actual and potential groundwater problems are similar for different aquifer types, but in this paper the emphasis is in coastal aquifers. At the end the need of aquifer sustainability indicators is discussed.

Palavras-Chave - Aquíferos costeiros; ecossistemas costeiros; intrusão marinha.

¹ Universidade Federal de Pernambuco, Grupo de Recursos Hídricos, Av Prof Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife, PE, fone:(81)2126-8709, fax:(81)2126-7216, email: jcabral@ufpe.br

INTRODUÇÃO

O uso sustentável de aquíferos vem sendo debatido em diversos países nos últimos anos. A idéia de desenvolvimento sustentável para atender as necessidades do presente sem comprometer as necessidades das futuras gerações, de acordo com o relatório Brundtland, foi gradualmente se estendendo para os vários recursos naturais e atualmente os hidrólogos, os hidrogeólogos, os administradores de recursos hídricos procuram aplicar o mesmo conceito para as águas subterrâneas.

Sustentabilidade é um processo participativo, que exige mudanças de paradigmas (Gladwin,1995), que envolve novos fundamentos nas formas de pensar e de agir. O tema das águas subterrâneas, dentro do contexto de desenvolvimento sustentável passa atualmente por um processo de debate a nível conceitual e a nível operacional em diversos lugares do mundo, bem como passa por um processo de pesquisa científica onde se procura analisar e calcular os efeitos do bombeamento das águas subterrâneas sobre os outros recursos naturais e os ecossistemas.

No presente artigo são analisadas as idéias básicas de sustentabilidade de aquíferos, com ênfase em aquíferos costeiros, que no Brasil têm muita importância em função da grande extensão da costa brasileira e do fato da maior parte da população do país se localizar em cidades litorâneas.

SUSTENTABILIDADE DE AQUÍFEROS

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).

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).

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 & Sophocleous, 2004). 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).

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.

PONTOS A CONSIDERAR PARA A SUSTENTABILIDADE

Aspectos Gerais

Inclusão social e ambiental – 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). 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. No caso dos países em desenvolvimento deve incluir também a faixa mais pobre e inculta da população que muitas vezes não tem formas de se expressar e de fazer suas opiniões e preocupações serem ouvidas.

Conectividade – A sustentabilidade requer o entendimento de que os problemas do mundo são interconectados e interdependentes de uma forma sistemática. Os objetivos econômicos e políticos de uma nação ou região não podem ser atingidos sem buscar os objetivos sociais e ambientais.

Equidade – Distribuição justa dos recursos naturais tanto no presente como entre as gerações. As atividades antrópicas não podem se apropriar de recursos naturais que sejam de interesse de outras pessoas ou de outras gerações. Se for imprescindível esta apropriação, por razões de interesse público, que seja providenciada uma adequada forma de compensação.

Prudência – O desenvolvimento sustentável requer que seja mantida a capacidade de suporte da vida e a resiliência nos ecossistemas e nos sistemas sócio-econômicos (Gladwin et al, 1995). Isto deve ser obtido evitando situações irreversíveis e mantendo a escala e o impacto das atividades antrópicas dentro dos limites da capacidade de suporte e de regeneração dos ecossistemas. Como o conhecimento das respostas dos ecossistemas ainda é limitado, as intervenções devem ser feitas com precaução e com elevadas margens de segurança.

Segurança – O desenvolvimento sustentável requer que sejam conseguidas condições de segurança, de saúde e de qualidade de vida para as gerações presentes e futuras. Para a segurança social e ambiental algumas condições são necessárias como: não ultrapassar a capacidade de suporte e resiliência dos sistemas naturais, não causar perdas irreparáveis como perdas de biodiversidade ou destruição da camada de ozônio, não destruir a capacidade dos sistemas naturais de se auto-organizar, de se auto-manter e de se auto-renovar.

Aspectos da Sustentabilidade dos Recursos Hídricos

Necessidades humanas básicas – O primeiro critério para uso dos recursos hídricos, inclusive preconizado pela legislação brasileira é o atendimento das necessidades humanas básicas. O não atendimento do mínimo necessário de água com qualidade adequada tem sido responsável por milhões de patologias e mortes especialmente nos países em desenvolvimento. O mínimo necessário em condições extremas é de 5 litros por pessoa / dia de água para beber, mas o mínimo passa a ser 50 litros por pessoa / dia quando se leva em conta as necessidades adicionais de higiene, banhos e preparação de alimentos.

Necessidades para consumo animal – No Brasil, país onde a criação de animais tem uma grande importância cultural e econômica, as necessidades básicas de água para consumo animal são consideradas um item importante para a sustentabilidade.

Necessidades hídricas para os ecossistemas - Este objetivo também foi apoiado pela agenda 21, como uma das necessidades básicas de água que precisam ser atendidas para o desenvolvimento sustentável. Apesar do tema haver avançado bastante nos últimos anos, falta muito a ser feito ainda

tanto no que se refere à legislação, como na avaliação científica de quanto de água cada ecossistema requer para sua manutenção.

Padrões de qualidade de água – Usos diferentes de água exigem também qualidade diferenciada. Para consumo humano a Organização Mundial de Saúde (OMS) estabelece linhas gerais de padrões aceitáveis e diversos países possuem legislação específica com limites para cada tipo de contaminante. Para uso industrial, agrícola e outros usos, diferentes padrões devem ser atingidos e existe atualmente um grande esforço da comunidade científica internacional de desenvolver o conhecimento do impacto dos poluentes e da melhor forma de evitar sua propagação e/ou providenciar a remediação das águas que foram poluídas.

Fatores econômicos – A água é não apenas essencial para manter a vida, mas desempenha um importante papel na economia de muitas regiões e muitos países. Os aspectos econômicos de uso da água para agricultura, pecuária e indústria precisam ser levados em consideração no planejamento do desenvolvimento sustentável.

Fatores políticos, institucionais, legais e conflitos de uso – Para qualquer plano de desenvolvimento sustentável ter condições de ser implementado com êxito, é necessário ser levado em consideração os interesses políticos e a configuração institucional e legal da região e do país. Conflitos de uso da água já existem em muito lugares e vão continuar existindo nos próximos anos, e é importante fortalecer a base institucional e legal, proporcionando condições de um debate democrático e ampla participação no processo decisório do uso dos recursos hídricos.

Aspectos específicos das águas subterrâneas

Renovabilidade ou não 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).

AQÜÍFEROS COSTEIROS

Os problemas existentes e os problemas em potencial nos diversos tipos de aquíferos e nos diversos tipos de locais são bastante semelhantes, embora de acordo com a situação pode prevalecer algum risco com maior intensidade, ou pode haver predominância de determinado tipo de poluente. No presente artigo estão sendo considerados os aspectos da sustentabilidade de aquíferos costeiros.

Um dos riscos específicos nos aquíferos costeiros é a intrusão marinha por avanço da cunha salina, e também a salinização por outras causas como migração de sais provenientes de estuários, mangues ou águas salinizadas que ficaram aprisionadas em épocas passadas devido à variações do nível do mar e posterior aporte de camadas de sedimentos. Os ecossistemas costeiros marinhos ou em estuários e mangues que dependem da contribuição da água subterrânea para manter a

temperatura, salinidade e aporte de nutrientes são outro ponto de preocupação para o desenvolvimento sustentável. A sustentabilidade em ambiente costeiro tem sido estudada nos últimos anos em diversos países, exemplos são Collin,2001 e 2003 em Israel e Alley,1999 que mostra um levantamento bem abrangente e apresenta exemplos dos Estados Unidos.

Efeitos negativos do uso excessivo da água subterrânea em aquíferos costeiros

O uso excessivo da água subterrânea pode trazer diversos problemas que contribuem para a não sustentabilidade. Alguns problemas são mencionados a seguir, sendo que alguns deles serão vistos com mais detalhes em função de sua importância para o caso analisado.

Pela própria dinâmica do escoamento em meio poroso, para o aumento de vazão no poço é necessário um maior cone de rebaixamento que proporcione os adequados gradientes hidráulicos para a vazão pretendida. Se os afluxos laterais não compensarem a vazão que está sendo explorada, ocorrerá uma não sustentabilidade da vazão.

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.

Quando o bombeamento é feito num aquífero freático interconectado com a rede hidrográfica, haverá redução progressiva das vazões de base dos rios (figura 1). Se as taxas de bombeamento forem muito grandes em relação à vazão do rio, o rio pode secar completamente. Outro caso da não sustentabilidade da vazão.

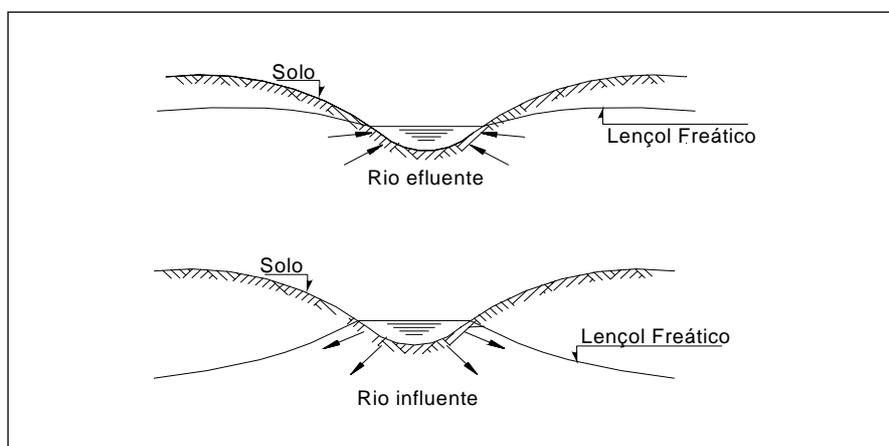


Figura 1 – Rios interconectados com os aquíferos.

O bombeamento do aquífero interfere com a vazão do rio.

A qualidade de água do aquífero também pode sofrer com o bombeamento. O bombeamento excessivo induz recarga dos corpos hídricos das proximidades, e no caso de haver algum deles poluído, os poluentes serão carregados para o aquífero. Este caso se inclui na não sustentabilidade da qualidade de água do aquífero.

Outro caso de grande risco e que tem ocorrido em vários países é o avanço da cunha salina, que pode ser na forma de interface delgada ou na forma de uma faixa de transição. A figura 2 mostra exemplos de casos de salinização por avanço da interface. Fato que tem ocorrido em vários países e pode ser chamado de não sustentabilidade por intrusão marinha.

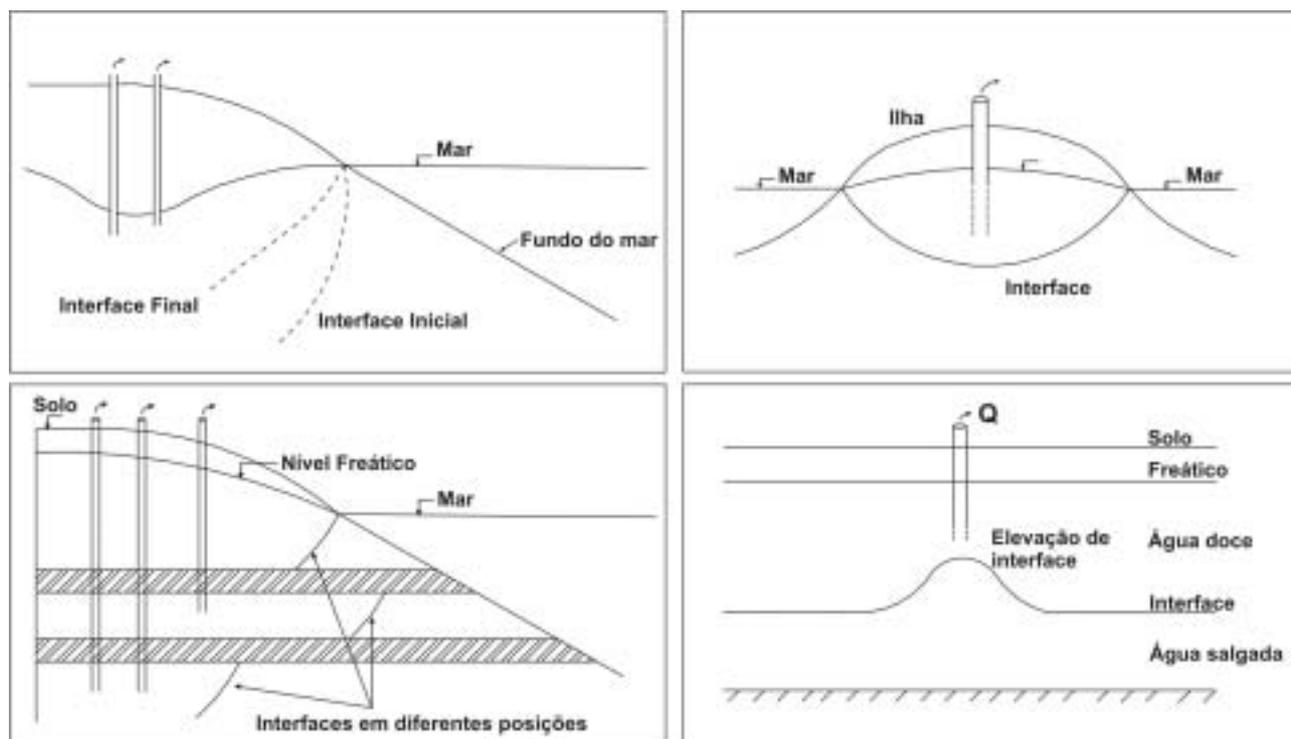


Figure 2 – Diversas situações de intrusão marinha. 2a) Avanço da cunha salina devido ao bombeamento excessivo. 1b) Interface em forma de lente no caso de ilhas. 2c) Interfaces em diferentes posições nas diversas camadas de aquífero estratificado. 2d) Elevação da interface em forma de cone devido ao bombeamento excessivo de água doce acima de uma camada de água salgada.

Muitas vezes 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. A figura 3 mostra um exemplo onde a salinização se propagou de cima para baixo pelo espaço anelar entre o revestimento e as paredes da perfuração que não foi devidamente cimentado. Pode ser chamado de não sustentabilidade por falha técnica.

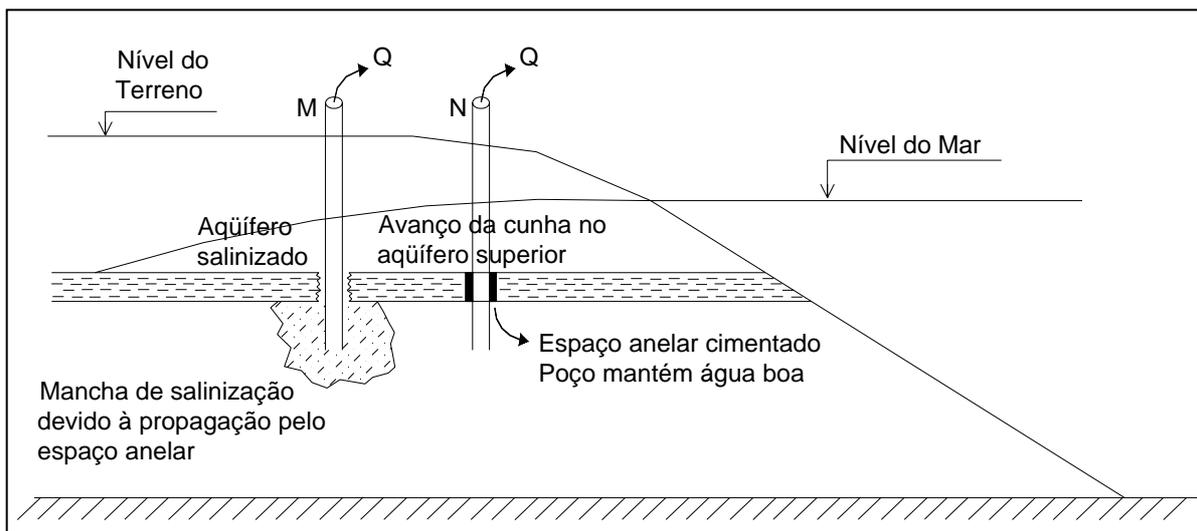


Figura 3 – Aquífero superior já estava salinizado e ao bombear do aquífero inferior ocorre a drenança das águas salinizadas de cima através do espaço anelar não cimentado. Não sustentabilidade por falha técnica.

Uma situação que pode ocorrer em aquíferos sedimentares de acordo com suas características litológicas é a subsidência de solos devido ao bombeamento excessivo. Com a subsidência prédios e instalações podem sofrer diversos danos, e além disso pode ocorrer a compactação do aquífero diminuindo a porosidade e reduzindo a capacidade do aquífero de voltar a ser recarregado. Pode ser chamado de caso de não sustentabilidade por subsidência.

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 hiporreica dos rios, e para lagos, estuários, mangues e ecossistemas marinhos costeiros. A figura 4 mostra um exemplo de Recife onde o bombeamento dos aquíferos é feito numa região de diversos corpos d' água superficiais e ecossistemas costeiros, onde se pode ver lagoa, rios, estuário, mangues e região de praia. O bombeamento local não pode descuidar da sustentabilidade dos ecossistemas.

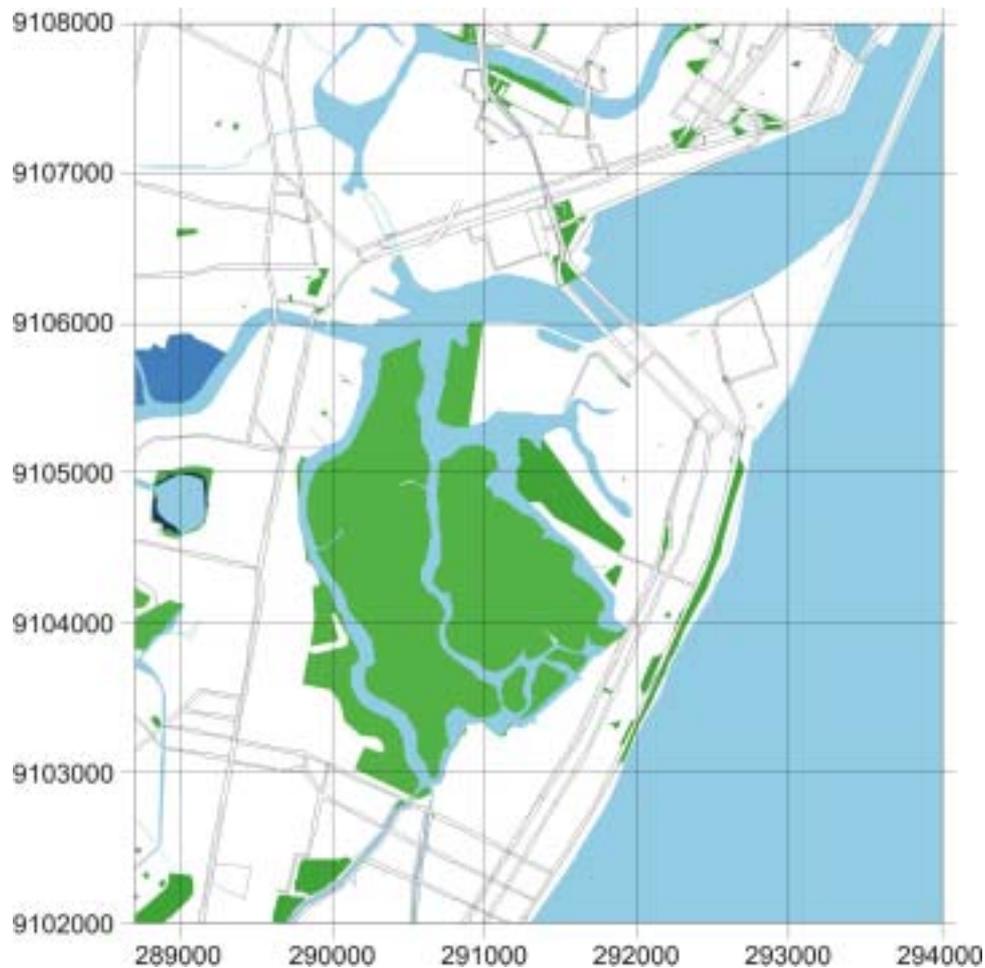


Figure 4 – Águas superficiais e ecossistemas costeiros interagindo com água subterrânea. Exemplo de Recife que se repete em muitos outros lugares da costa brasileira

GERENCIAMENTO SUSTENTÁVEL DE AQUÍFEROS COSTEIROS

São muitas as dificuldades para estabelecer um gerenciamento da exploração das águas subterrâneas para garantir um desenvolvimento em bases sustentáveis. A seguir são listadas algumas das necessidades e desafios que devem ser enfrentados para o gerenciamento sustentável:

- Aspectos institucionais – Quem estabelece a política de uso da água subterrânea? Em muitos lugares há lacuna de autoridade sobre o assunto, e em outros há superposição de funções e atribuições, gerando conflito de autoridade e baixa eficácia na implantação de medidas.
- Necessidade de monitoramento – Para a tomada de decisões é essencial que se tenha informação da situação em que se encontram os aquíferos, no que se refere às taxas de bombeamento, aos níveis potenciométricos e à qualidade da água.
- Necessidade de conhecimento do aquífero (geológico, hidrogeológico, hidrodinâmico) – Para qualquer cálculo simplificado que se pretenda fazer para estimar as respostas dos

aquíferos aos estresses a que ele está submetido ou pode vir a ser submetido, é necessário o conhecimento das formações geológicas existentes na região, das características hidrogeológicas (porosidade, condutividade hidráulica, coeficiente de armazenamento, espessuras saturadas, coeficiente de dispersão, ...) e também dos processos de entrada e saída de água do aquífero.

- Multidisciplinaridade (fauna, flora, solo, ecossistema) – Todos os processos ambientais são interligados. Muitas vezes em algumas decisões importantes que envolvem ecossistemas complexos existe necessidade de contribuição de conhecimentos de especialistas em diversos temas de fauna, flora e ecologia.

- Banco de dados – Um elemento chave para garantir o desenvolvimento sustentável com o uso das águas subterrâneas é desenvolver um banco de dados abrangente com informações ao longo do tempo. Estes dados devem incluir as características físicas: topografia, geometria dos aquíferos, mapas geológicos, mapas hidrogeológicos; dados hidrológicos: precipitação, evaporação, infiltração, vazões de rios, estimativa da descarga de água subterrânea nos rios, vazões de fontes e nascentes; dados químicos: geoquímica da matriz rochosa dos aquíferos, hidroquímica, parâmetros químicos dos rios que interagem com o aquífero, variações da qualidade da água com o tempo tanto nos rios como nos aquíferos.

- Geoprocessamento – Muitos dos dados necessários nos bancos de dados precisam ser visualizados em mapas e portanto os Sistemas de Informação Geográfica são extremamente úteis e necessários como ferramenta para manuseio de grande quantidade de informações georreferenciadas, e poder organizar, armazenar, recuperar e apresentar resultados dessas informações.

- Modelagem – Modelos de água subterrânea são uma maneira de representar a realidade e fazer previsões. Os modelos têm condições de representar com boa precisão os princípios físicos, químicos e biológicos através de equações matemáticas, no entanto as limitações se devem à qualidade e quantidade de dados disponíveis para alimentar o modelo. Apesar da previsão feita com modelos ter imprecisões, elas representam uma das melhores formas de avaliar o efeito de medidas a serem executadas no processo de tomada de decisões (Alley et al, 1999). Os modelos também podem servir como ferramenta de aprendizagem do sistema para entender melhor a relação de causa e efeito, e para identificar dados adicionais que podem estar faltando.

- Legislação – Para que as decisões técnicas e administrativas sejam implantadas é necessário que a legislação ofereça condições de cobrar a execução das medidas e fiscalizar a correta implantação. Por exemplo Chaudhary (2002) comenta as dificuldades de implantar um plano de desenvolvimento sustentável para as águas subterrâneas na Índia, e um dos empecilhos é a

falta de legislação específica, e em virtude disso as águas subterrâneas ainda são consideradas como pertencentes ao dono da terra onde o poço foi perfurado.

- Efeitos de longo prazo – Apesar de difíceis de prever e quantificar, as variações de longo prazo são importantes, e se possível deve se procurar fazer estimativas de suas influências. Entre os efeitos de longo prazo podem ser citados Secas, Mudanças climáticas e Variação do nível do mar.
- Fatores econômicos, sociais e políticos – Dependem de cada país e mesmo dentro do país pode variar de uma região para outra. Visto que o ser humano além de agente de transformação do meio físico, também representa a finalidade a que o desenvolvimento sustentável se destina, os fatores humanos devem ser analisados e levados em consideração nas decisões para assegurar a sustentabilidade.

COMENTÁRIOS FINAIS

Um dos primeiros passos para a implantação de um plano de desenvolvimento sustentável é a escolha da abordagem da situação. Collin(2003) descreve uma abordagem que está sendo implantada em Israel baseada no controle da poluição; Neufeld (2000) analisa uma metodologia que começou a ser utilizada em Waterloo, no Canadá com base nas interações com o ecossistema; Kemper (2004) cita que em alguns lugares, a opção foi baseada no uso do solo; Bromley (2001) descreve uma aplicação na Espanha baseada no gerenciamento integrado da bacia hidrográfica. Cada uma dessas metodologias tem vários pontos de semelhança com as outras, com apenas alguns pontos de enfoque diferenciados.

Algumas atividades que precisam ser executadas para implantar um processo sustentável de exploração das águas subterrâneas são: identificação de demandas humanas e demandas dos ecossistemas, identificação de pontos preocupantes, identificação de atores sociais, definição de objetivos, elaboração de banco de dados, fortalecimento das instituições encarregadas do tema.

Para acompanhamento do processo de implantação de planos sustentáveis de desenvolvimento é necessário indicadores que balizem a situação de sustentabilidade ou não sustentabilidade do sistema. Em diversos países estão sendo estudados que tipo de parâmetros seriam bons indicadores da sustentabilidade, e algumas iniciativas vêm sendo feitas neste sentido, e é necessário que no Brasil seja debatido o assunto e encontrados indicadores que auxiliem o processo do gerenciamento sustentável dos aquíferos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Alley, W. M., Reilly, T. E., Franke, O. L., 1999, Sustainability of Groundwater Resources, U.S. Geological Survey, Circular 1186, Denver.
- [2] 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; *Water Resources Development*, Vol 17, N 3, 379-396.
- [3] Chaudhary, V., Jacks, G., Gustafsson, J.E., 2002, An analysis of groundwater vulnerability and water policy reform in India, *Environmental Management and Health*, Vol 13, N 2, pp 175-193, MCB Up Limited .
- [4] Collin, M.L., Melloul, A. J., 2001, Combined land-use and environmental factors for sustainable groundwater management, *Urban Water*, 3, 229-237, Elsevier.
- [5] Collin, M.L., Melloul, A. J., 2003, Assessing groundwater vulnerability to pollution to promote sustainable urban and rural development, *Journal of Cleaner Production*, 11, 727-736, Elsevier.
- [6] Costanza, R., Daly, H. E. And 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.
- [7] Devlin, J. F. and Sophocleous, M., 2004, The persistence of the water budget myth and its relationship to sustainability, *Hydrogeology Journal*, on line 28-May-2004, Springer-Verlag
- [8] Gladwin, T N, Kennelly, J J, Krause, T S, Shifting Paradigms for Sustainable Development: Implications for Management Theory and Research, *Academy of Management Review*, Vol 20, N 4, pp 874-907, 1995.
- [9] Hawken, P., 1993, *The ecology of commerce: A declaration of sustainability*, New York, Harper Business.
- [10] Kemper, K. E., 2004, Groundwater – from development to management, *Hydrogeology Journal*, 12:3-5, Springer-Verlag.
- [11] Neufeld, D. A., 2000, An ecosystem approach to planning for groundwater: The case of Waterloo region, Ontario, Canada; *Hydrogeology Journal*, 8:238-250, Springer-Verlag.