

APLICAÇÃO DE INDICADORES PARA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS COMO ALERTA PARA O ESTADO ATUAL DE EXPLOTAÇÃO DOS AQUÍFEROS INTERSTICIAIS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE – PE

Giancarlo Lins Cavalcanti¹ & Suzana M.G.L. Montenegro²

RESUMO – Recentemente diversos indicadores vêm sendo aplicados no monitoramento de recursos naturais a fim de se gerar subsídios para nortear o alcance da sustentabilidade ambiental. Para águas subterrâneas, os indicadores têm sido utilizados principalmente para avaliar a situação atual e as tendências de degradação, tanto quantitativa quanto qualitativamente. Nesse contexto, destaca-se a situação da Região Metropolitana do Recife (RMR) que tem enfrentado sérios problemas com o abastecimento público, uma vez que a Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA não vem atendendo a totalidade da demanda. Desde os anos 70 as águas subterrâneas vem sendo exploradas na região. Nos últimos anos este uso se intensificou devido a esta fonte possuir maior confiabilidade quanto à períodos de estiagem (como 1998/99). Logo, o presente trabalho selecionou em trabalhos recentes, alguns indicadores passíveis de se aplicar na RMR com os dados disponíveis e fez uma breve aplicação para os aquíferos nela presentes, a fim de avaliar a situação atual dos mesmos. Pelos resultados, vê-se que a situação da RMR é de ALERTA e medidas devem ser adotadas pelos tomadores de decisão, no sentido de se implementar as Políticas de Gerenciamento dos Recursos Hídricos Subterrâneos em Pernambuco, para que a situação não se agrave ainda mais.

ABSTRACT – Recently several indicators have been applied in the monitoring of natural resources in order to generate subsidies to guide the search for environmental sustainability. Groundwater indicators have been used mainly to evaluate the current situation and trends of degradation, both quantitative and qualitatively. In this context, the situation of the Metropolitan Region of Recife (RMR) facing serious problems with the public water supply is highlighted. COMPESA – Water and Wastewater Company of Pernambuco does not supply the totality of the demand. Since the 70'ies, groundwater has been exploited in the region. In the last years, its use has been intensified due to a severe drought (1998/99). Thus, this work selected from literature some indicators to apply in the aquifers in RMR with the available data and simplicity for application, in order to evaluate the current situation in terms of groundwater use and sustainability. The results showed that the situation of the RMR is of ALERT and actions must taken by the decision-makers, in order to effectively implementing the Groundwater Management Policy in Pernambuco, so that the situation will not be aggravated.

Palavras-chave: Indicadores, águas subterrâneas, exploração dos aquíferos intersticiais.

¹ Mestrando em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Depto. de Engenharia Civil, UFPE. Endereço: Rua Evandro Netto Quadra V Lote 07 – Jordão Baixo, Recife/PE. CEP: 51260-240. Brasil. Tel: +55 (81) 3341-3823 – e-mail: giancarlo.cavalcanti@ufpe.br.

² Profª. Doutora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco. Endereço: Rua Professor Moraes Rego, 1235 – Cidade Universitária, Recife/PE. CEP: 50670-901. Brasil. Tel: +55 (81) 2126-8709 – e-mail: suzanam@ufpe.br.

INTRODUÇÃO

Diversos indicadores vêm sendo aplicados recentemente no monitoramento de recursos naturais a fim de se promover subsídios para alcançar a sustentabilidade ambiental, seja em escala local, nacional ou até mesmo global. Através deles, pode-se mais facilmente responder aos seguintes questionamentos: O que está acontecendo no meio ambiente? (condições e tendências); Quais as causas para isto? (causas, relações com atividades humanas e processos naturais); Quais os efeitos? (ecológicos, econômicos e para a saúde); O que está sendo feito a respeito? (implicações no planejamento e políticas).

Os indicadores permitem definir o estado atual e as tendências para um recurso específico de determinada área, como também a comparação entre diferentes regiões. Eles têm sido utilizados principalmente para a avaliação da situação atual e tendência de degradação, com relação tanto à quantidade (sub- ou super-exploração) como à qualidade (contaminações natural e antrópica). O seu acompanhamento regular gera séries temporais que podem ser usadas tanto para previsões futuras, quanto para apontar caminhos aos gestores. São um importante elo de comunicação entre os tomadores de decisão e o público em geral, além de viabilizarem a avaliação da eficácia de ações de gestão específicas e de subsidiarem o desenvolvimento de novas atividades.

Segundo Cabral e Santos (2007), para uma gestão racional dos recursos hídricos subterrâneos, o uso de indicadores proporciona condições de análises consistentes para o processo de tomada de decisão. No Brasil, a exploração das águas subterrâneas vem se intensificando, exigindo, portanto definição e quantificação de indicadores da sustentabilidade de um aquífero, visto que nas últimas décadas as taxas de bombeamento das águas subterrâneas aumentaram consideravelmente, devido às maiores demandas e às novas tecnologias que permitem atingir maiores profundidades e obter maiores vazões. A outra razão é que estando fora da visão das pessoas, fica mais difícil avaliar se o uso das águas subterrâneas está dentro dos limites sustentáveis.

Nesse contexto, destaca-se aqui que a situação da Região Metropolitana do Recife (RMR), composta por 14 municípios, com uma população de aproximadamente 3,6 milhões de habitantes (Contagem IBGE, 2007) e que tem enfrentado sérios problemas com o abastecimento público, uma vez que o Sistema de Abastecimento de Água da Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA não vem atendendo a totalidade da demanda.

A água subterrânea vem então participando como fonte suplementar ao abastecimento público. Desde a década de 70 se tem registro de poços perfurados pela COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento) e pelo DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), para diversos fins, inclusive o uso humano. Com o processo de urbanização, cresceu o número de poços privados em condomínios e estabelecimentos comerciais. Aliado a isto, uma crise no abastecimento de água da Região Metropolitana do Recife nos anos de 1998 e 1999, devido a precipitações abaixo do normal,

levou os mananciais de superfície a níveis próximos ao colapso. Este fato implicou em forte racionamento e mostrou o quanto o sistema está susceptível a estiagens. Durante este período houve uma forte corrida por meios mais confiáveis de abastecimento, havendo um salto na perfuração de poços, por este se mostrar um meio que possibilita maior regularidade de vazões, entre outras vantagens.

Diante do exposto, o presente trabalho visou reunir e selecionar, em trabalhos recentes, alguns indicadores para águas subterrâneas, passíveis de serem aplicados à RMR com os dados disponíveis atualmente, e fazer uma breve aplicação para os aquíferos nela presentes, a fim de se avaliar a situação atual dos mesmos.

CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO E ESTUDOS ANTERIORES

Generalidades

A Região Metropolitana do Recife (RMR), no Estado de Pernambuco, é composta por 14 municípios (2.768,95 km²) e possui uma população de aproximadamente 3,6 milhões de habitantes. Recife, capital do Estado, é uma das mais populosas cidades do Nordeste do Brasil. A Figura 1 ilustra a localização da RMR com destaque para Recife. Segundo o IBGE (2009) a população residente em 2007 totaliza 1.533.580 habitantes. A cidade é construída sobre uma planície, com nível médio acima do nível do mar de cerca de 2,0m, e é circundada por morros. A planície do Recife ocupa uma área de 112 km² e corresponde a uma planície de formação geológica flúvio-marinha, situada nos limites geográficos de ocorrência das bacias sedimentares do Cabo e Pernambuco-Paraíba. A precipitação média anual em Recife é de 2.458 mm e a temperatura média anual é de 25,5°C.

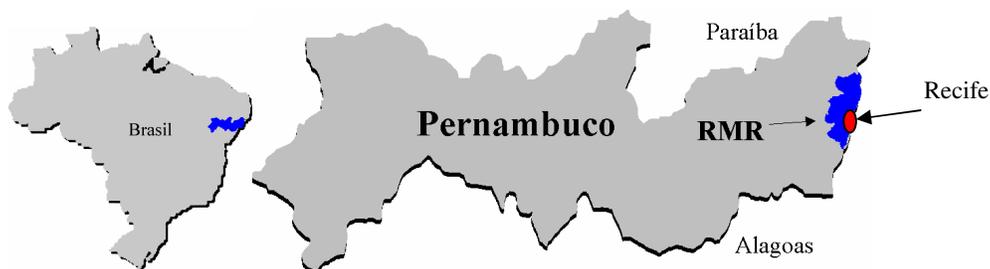


Fig.1 Localização da área estudada.

Abastecimento de água da RMR

Os Sistemas de Abastecimento da RMR, incluindo captação, adução, tratamento e distribuição de água são operados pela COMPESA, que tem capacidade em seus sistemas para produzir 10,15 m³/s de mananciais superficiais e 2 m³/s proveniente de poços (no aquífero Beberibe) ao norte da RMR, totalizando 12,15 m³/s, segundo informações da Gerência de Operação Metropolitana – GOM/COMPESA, embora nem sempre se produza a capacidade máxima.

Através de estudo recente (2006) contratado pela COMPESA no âmbito do PMSS – Programa de Modernização dos Sistemas de Saneamento (MCIDADES), o qual se baseou em dados reais de medições confiáveis da COMPESA e adotou critérios com um nível elevado de rigor, se chegou à conclusão de que a real necessidade água da RMR, considerando uma operação eficiente, é significativamente menor do que se produz atualmente. Essa diferença dá uma idéia do esforço a ser feito em curto prazo para se melhorar o desempenho operacional, pois mesmo produzindo uma quantidade superior à demanda não se está atendendo em regime permanente toda a população.

A maior parte da água subterrânea da região é explorada através de poços particulares e os volumes extraídos ainda são pouco conhecidos (Manoel Filho, 2004).

Logo após a seca de 1998/1999, já mencionada anteriormente, novas baterias de poços ainda continuaram a ser construídas. O número total chegava a mais de 11.000 entre poços públicos e privados (rasos e profundos), segundo o cadastro da COMPESA, na época dos estudos de Costa et al., (2002). Todavia esse número já ultrapassava os 15.000, devido ao grande número de poços não cadastrados. Provavelmente o número de poços profundos (superior a 20m de profundidade) fica entre 5.000 e 6.000. Isto aumenta expressivamente a contribuição das águas subterrâneas ao sistema público de abastecimento. Desse número, não se consegue identificar quantos poços estão efetivamente em operação.

Além dos poços da COMPESA, centenas de poços particulares vêm sendo utilizados principalmente para abastecer edifícios residenciais, os quais bombeiam em média 5,0 m³/h.

Aspectos relevantes sobre a Geologia e Hidrogeologia locais

A geologia da RMR é composta por duas grandes unidades geotectônicas: a) Embasamento Cristalino e b) Cobertura Fanerozóica. O embasamento cristalino compreende rochas graníticas, migmatíticas e gnáissicas, pertencentes ao Maciço Pernambuco-Alagoas e afloram na porção ocidental da RMR. A cobertura fanerozóica inclui sedimentos cretácicos das Bacias Pernambuco e Paraíba (Lima Filho, 1998), sedimentos terciários da Formação Barreiras e sedimentos quaternários da Planície do Recife. Os sedimentos cretácicos das Bacias Pernambuco e Paraíba ocorrem, respectivamente, a sul e a norte da Cidade do Recife, delimitados pelo lineamento Pernambuco.

Os aquíferos da RMR são classificados de acordo com domínios geomorfológicos (Costa et al., 1998) em:

- Domínio das Chãs do Embasamento Cristalino (Aquífero Fissural);
- Domínio dos Tabuleiros Norte (Aquíferos Intersticiais);
- Domínio da Planície do Recife (Aquíferos Intersticiais).

Na RMR, os aquíferos intersticiais existentes são o Cabo, o Beberibe, o Boa Viagem e o Barreiras. O aquífero Cabo é constituído por arenitos, siltitos e argilas, apresentando espessura média de

100 metros. O aquífero Beberibe, dominante ao norte do lineamento Pernambuco, possui espessura média de 100 metros, sendo constituído por arenitos com intercalações de siltitos e argilitos. O aquífero Boa Viagem, com espessura média de 40 metros, recobre os sedimentos dos aquíferos Beberibe e Cabo, sendo composto por areias, siltes e argilas. O aquífero Barreiras compreende a maior área aflorante. É constituído por uma seqüência predominantemente areno-argilosa distribuída numa faixa de largura variável e contínua ao longo da borda oeste desse domínio, e apresenta espessuras variáveis em torno de 40 metros, sendo depositado sobre o paleo-relevo do embasamento cristalino e dos sedimentos da Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba.

O aquífero Boa Viagem é facilmente explotável e desempenha papel fundamental de recarga. Os sedimentos da Formação Beberibe constituem o aquífero mais explotado nesse domínio em termos de volumes extraídos (Costa et al., 1998). O aquífero Cabo possui o maior número de poços em exploração e é uma importante fonte de abastecimento d'água da RMR, concentrando poços privados perfurados por condomínios, estabelecimentos comerciais de diversos portes e hospitais, ao sul da planície do Recife. Já com relação ao Barreiras, sua exploração é pouco desenvolvida, tendo em vista que sua área de afloramento aparece com maior importância hidrogeológica quando ocorre sobreposto às rochas do embasamento cristalino, principalmente na zona rural, onde é explotado por cacimbas e poços amazonas. Além do mais, a fração granulométrica predominante é a siltico-argilosa com reduzida vocação hidrogeológica.

Os parâmetros hidrodinâmicos médios dos aquíferos intersticiais (porosos) da área em questão, segundo estudo do HIDROREC I (Costa et al., 1998) estão apresentados na Tabela 1. No cadastramento do HIDROREC II (Costa et al., 2002), foram registrados 1.658 poços, que somados aos cadastros existentes, sobretudo do HIDROREC I, totalizou 5.514 poços.

Vale destacar que estudo recente (Costa, 2007) questiona essa descrição hidrogeológica e destaca que ao contrário do que se vem adotando, a formação geológica que domina na profundidade em que vêm sendo perfurados poços na região dos bairros do Pina, de Brasília Teimosa e norte de Boa Viagem corresponde à Formação Beberibe, da Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba. Porém, no presente estudo será adotada a denominação usual, por ser a difundida até o momento na literatura e por essa pesquisa não se tratar de investigação hidrogeológica conceitual. Na Figura 2 está apresentado o mapa geológico da área de interesse.

Tab. 1 Características hidrodinâmicas dos aquíferos intersticiais da RMR (COSTA, 1998).

Coeficientes Hidrodinâmicos	Aquíferos			
	Beberibe	Cabo	Boa Viagem	Barreiras
Transmissividade	$2,2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$8,6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$7,0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$1,7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
Condutividade Hidráulica	$2,2 \times 10^{-5} \text{ m/s}$	$1,0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$	$1,7 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	$3,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$
Porosidade Eficaz	$1,0 \times 10^{-1}$	$7,0 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-1}$	$5,0 \times 10^{-2}$
Coef.de Armazenamento	$2,0 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-4}$	Não avaliado	Não avaliado

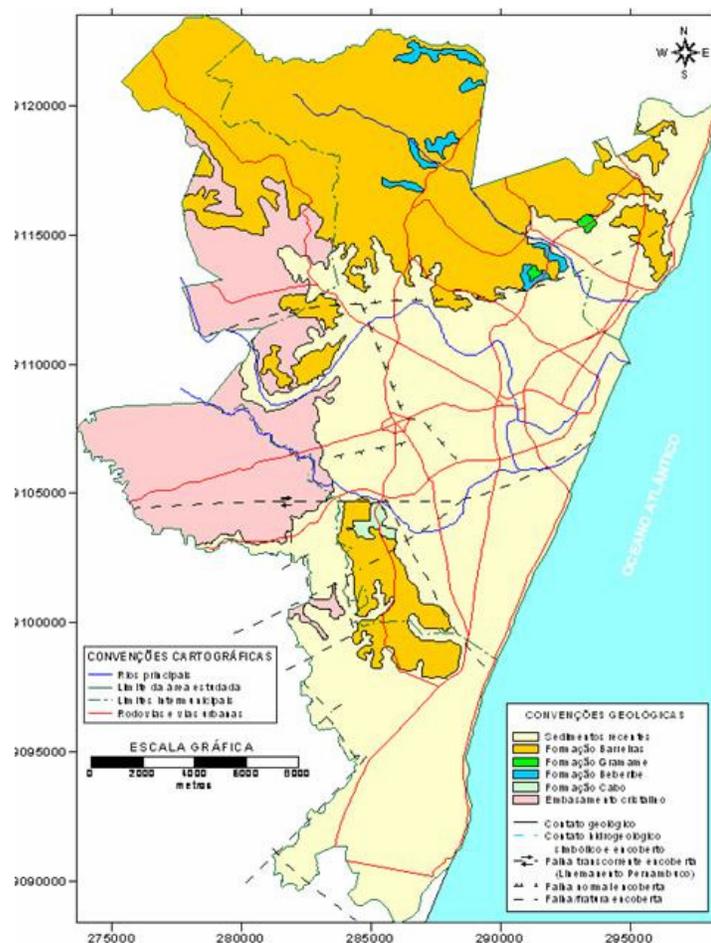


Fig. 2 Mapa geológico da Área (Costa et al, 2002).

Exploração das Águas Subterrâneas na RMR

O balanço hidrogeológico (Tabela 2) entre as entradas e saídas de água nos aquíferos apresentou saldo positivo em alguns domínios hidrogeomórficos e negativos em outros. O balanço é avaliado diminuindo da recarga anual, os exutórios naturais e artificiais.

Tab. 2 Balanço Hidrogeológico (Costa et al. 2004).

Domínio Hidrogeomórfico	BALANÇO HIDROGEOLÓGICO							
	Aquífero Beberibe		Aquífero Cabo		Aquífero B. Viagem		Aquífero Barreiras	
	$\times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$	m^3/s						
Planície do Recife	-62,39	-1,98	-30,52	-0,97	19,73	0,63	-	-
Planície de Jaboatão	-	-	4,94	0,15	22,67	0,72	-	-
Município de Olinda	-57,92	-1,84	-	-	-	-	-	-
Tabuleiros Barreiras	-	-	-	-	-	-	4,2	0,13

Do exposto, constata-se que os aquíferos Beberibe e Cabo encontram-se em regime de superexploração nas planícies do Recife e no município de Olinda. Na planície de Jaboatão e nos tabuleiros de Barreiras, ocorre saldo positivo entre as recargas e os exutórios, o mesmo acontecendo com o

aquífero Boa Viagem, em todas as áreas onde ocorre. Porém, a recarga que ocorre nestes dois últimos nem sempre provém de águas de boa qualidade, visto que eles recebem contribuições de fossas, mangues, marés, postos de gasolina, entre outros.

A Tabela 3 ilustra um dos pontos de maior preocupação quando o tema é a super-exploração: o excessivo rebaixamento nos aquíferos profundos, que têm se acelerado nos últimos anos.

Costa et al. (2003) propuseram um zoneamento explotável dos aquíferos da região compreendida pelos municípios de Recife, Olinda, Camaragibe e Jaboatão dos Guararapes, na RMR, onde se identificou que a zona mais crítica é a chamada **zona A**, que possui as seguintes características:

- Localização: zona costeira a sul de Boa Viagem;
- Aquífero explotado: Cabo;
- Situação atual de profundidade: os níveis da água subterrânea no aquífero Cabo encontram-se a profundidades variáveis entre 60 e 110m;
- Condicionantes de explotação: nenhum novo poço deve ser perfurado nesse aquífero; os poços atualmente existentes deverão ter sua vazão reduzida em 50% e um monitoramento contínuo deverá ser exercido.

Esta é uma das regiões mais críticas da planície do Recife, em termos de número de poços perfurados. O bairro tem uma alta concentração populacional (acima de 6500 hab/km²) com padrão social elevado. Grande parte dos edifícios residenciais do bairro possui seu próprio poço. A área é altamente impermeabilizada. A Tabela 3 apresenta a variação da profundidade do nível d'água em um poço (prof. = 120m) na Zona A, o qual foi perfurado em 1992, quando o nível d'água situava-se a 51m. Observa-se o rebaixamento do nível potenciométrico no poço e o inexpressivo efeito da recarga pela precipitação (variação ao longo do ano 2005).

Tab. 3 *Variação da profundidade d'água em um poço na Zona A (Montenegro et al. 2006).*

PERIODO	Profundidade da água (m)
Jan-92	51
Nov-03	84.86
Dez-03	89.13
Mai-04	86.2
Jan-05	92.95
Fev-05	99.99
Mar-05	101.22
Abr-05	99.08
Mai-05	102.87
Jun-05	101.59
Jul-05	100.50
Ago-05	97.47
Set-05	102.17
Out-05	109.43
Nov-05	110.44
Dez-05	110.61

Gestão de águas subterrâneas no estado de Pernambuco

O problema da super-exploração dos aquíferos na RMR há muito preocupa a comunidade técnico-científica, órgãos gestores e população. A aplicação da Lei Estadual 11.427/97, da Conservação e Proteção das Águas Subterrâneas no Estado, e do Decreto 20.423, Março de 1998, de regulamentação da referida lei, prevê o controle das perfurações para a conservação e preservação das águas subterrâneas, com relação à defesa de sua qualidade e quantidade. No entanto, a oferta insuficiente de água a partir dos sistemas atualmente em operação, e a conseqüente pressão da população, vêm impedindo que um controle mais rigoroso da perfuração e exploração de poços seja efetivado.

No estado de Pernambuco, a gestão de águas subterrâneas é exercida, com base na legislação mencionada anteriormente, conjuntamente pela CPRH (Agência de Recursos Hídricos e meio Ambiente do estado de Pernambuco) e SRH-Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco (criada pela Lei nº 13.205 de 19 de Janeiro de 2007), que são responsáveis pela concessão das licenças de instalação e operação de poços. A análise dos pleitos para a concessão das licenças baseia-se no zoneamento de exploração em vigor ([Resolução CRH \(Conselho Estadual de Recursos Hídricos\) nº 04, de 20 de novembro de 2003](#)).

Apesar do moderno arcabouço legal e institucional, o efetivo gerenciamento vem enfrentado problemas devido a dificuldades operacionais, como reduzido contingente de pessoal para fiscalização e ausência de rede de monitoramento de águas subterrâneas adequada.

INDICADORES PARA GESTÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Generalidades

Para a gestão de recursos hídricos, o uso de indicadores proporciona condições de análises consistentes para o processo de tomada de decisão (Cabral e Santos, 2007). No âmbito da lei 9433/97 a aplicação de indicadores pode contribuir para que a gestão dos recursos hídricos seja efetivamente mais descentralizada e participativa.

Existe um amplo leque de indicadores (OCDE, 1993, Cendrero, 1997, Cendrero et al., 2001), a maioria deles são endereçados aos tomadores de decisão e expressam: 1) a PRESSÃO ambiental causada pela atividade humana; 2) as condições ambientais ou ESTADO e 3) a RESPOSTA no sentido de corrigir as situações indesejáveis.

Em UNESCO/ IAEA/ IAH/ UNECE (2004) foi divulgada uma publicação sobre água subterrânea e indicadores em que diversos indicadores são analisados para aplicação a nível global, nacional ou a nível de aquífero. Foram propostos 10 indicadores: Recursos renováveis de água subterrânea per capita; Relação entre o total bombeado e o volume de recarga; Relação entre o total bombeado e os recursos

renováveis de água subterrânea; Relação entre o uso potável de água subterrânea e o uso potável total; Rebaixamento do nível potenciométrico; Total explotável não renovável sobre exploração anual não renovável; Vulnerabilidade da água subterrânea; Qualidade da água subterrânea; Necessidade de tratamento das águas subterrâneas; Dependência de água subterrânea na população que vive da agricultura.

Cabral e Santos (2006) relacionaram também alguns indicadores relevantes para diversos tipos de análise da sustentabilidade do uso das águas subterrâneas: Indicador de escoamento de base, Indicador da relação exploração versus recarga, Indicador de economicidade da exploração, Indicador de vulnerabilidade e risco de poluição, Indicador de intrusão marinha e Indicador de contribuição das águas subterrâneas para o ecossistema.

Indicadores para Águas Subterrâneas em Geral

Hirata et. al. (2007) apresentaram indicadores para as águas subterrâneas do Estado de São Paulo que foram baseados parcialmente em UNESCO / IAEA /IAH/UNECE (2004) e Vrba et al. (2005). São sete indicadores que mostram um panorama geral da unidade de gestão considerada, com respeito a três aspectos, a saber: (1) dependência, (2) disponibilidade e (3) qualidade da água subterrânea (Tabela 4). Para o caso mostrado pelos autores, as unidades de gestão foram então classificadas em três categorias crescentes: observação, atenção e alerta, de acordo com sua situação em relação a cada indicador.

Tab 4. Descrição dos Indicadores para o Estado de São Paulo (Hirata et al., 2007).

Águas Subterrâneas com respeito a:	Indicador	Unidade	Explicação/Interpretação
Dependência	1 - População abastecida por Águas Subterrâneas/População total da Unidade de Gestão	%	Importância da água subterrânea para o abastecimento da população na unidade de gestão
	2 - Extração total de Águas Subterrâneas/Extração Total (superficial + subterrânea)	%	Quantidade explotada para todos os usos (doméstico, agricultura, industrial) com respeito ao total de água explorado
Disponibilidade	3 - Reservas explotáveis de Águas Subterrâneas/População total da Unidade de Gestão	L/hab./dia	Corresponde a água subterrânea renovável, que consiste na dif. entre a a recarga e a descarga que mantém a vazão de base nos rios
	4 - Extração total de Águas Subterrâneas/Reservas explotáveis de Águas Subterrâneas	%	Denota a área onde a super-exploração e seus impactos socio-econômicos já foram identificados. As reservas explotáveis de águas subterrâneas podem variar de acordo com as condições políticas, sócio-econômicas e ecológicas de cada região.

Qualidade	5 - Área total de alta vulnerabilidade a contaminação/Área total da Unidade de Gestão	%	Área da unidade de gestão que é suscetível à qualquer tipo de contaminação.
	6 - Área total com contaminação natural das águas subterrâneas/Área total da Unidade de Gestão	%	Área total da unidade de gestão com contaminação natural corresponde a soma das áreas onde a mesma é verificada. Isso ajuda a visualizar no tempo e espaço os problemas relacionados a qualidade natural
	7 - Número total de casos provados de contaminação antropica/Área total da Unidade de Gestão	Nº de casos/km ²	Nº de casos de contaminação do solo e águas subterrâneas causadas por atividades humanas (postos, indústrias, lixões, comércio e acidentes) por km ² da unidade de gestão.

Traduzido de HIRATA et. al, 2007.

Para os indicadores I1 e I2 as três faixas para classificação são: até 25%, 25 a 50% e maior que 50%. Para o I3 os valores são: disponibilidade maior que 1500 L/hab/dia, entre 500 e 1500 L/hab/dia e menor que 500 L/hab/dia. Da mesma forma para os outros: I4 – até 25%, de 25 a 40% e maior que 40%; I5 - até 5%, de 5 a 10% e maior que 10%; e para I6 e I7 – até 15%, de 15 a 30% e maior que 30%.

Indicadores para Aquíferos Costeiros

Para se chegar a indicadores sustentáveis e preciso se identificar as características próprias do gerenciamento da água subterrânea, a fim de se relacionar problemas como rebaixamento do nível d'água ou poluição com substâncias perigosas, entre outros. Algumas medidas para isto são: identificação, investigação, monitoramento e avaliação das ameaças, análise de risco e controle das fontes de poluição e/ou extração da água subterrânea. Cabral e Santos (2007) concluíram que alguns aspectos devem ser incluídos, como: a renovabilidade das águas subterrâneas, o armazenamento e o escoamento, o gerenciamento integrado de água superficial e subterrânea, escala de tempo da resposta das águas subterrâneas, aspectos físicos, químicos e biológicos.

Outros parâmetros que devem ser incluídos são os que se referem: à exploração, onde devem ser incluídos parâmetros sobre ecossistemas que tenham interação com os aquíferos, como por exemplo, devido à interação com as águas superficiais, visto que 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; às atividades antrópicas, como velocidade de bombeamento associadas às características climáticas, que são fundamentais para manutenção do volume armazenado e da capacidade de recarga, que regem a capacidade de resposta do aquífero e a necessidade ou não de restrição de exploração numa determinada área; ao acompanhamento dos níveis potenciométricos da região para permitir a identificação das localidades que estão em situação precária (grandes rebaixamentos num curto intervalo de tempo); aos planos de ocupação dos solos e suas demandas futuras, pois algumas atividades de ocupação do solo podem

submeter o aquífero a uma intensa exploração e resultar num rebaixamento rápido e intenso do manancial hídrico; à atividade agrícola, pois devido ao alto consumo pode ser responsável por forte rebaixamento e, em alguns casos, até mesmo pela subsidência do solo; à existência de leis e instrumentos que as fazem cumprir, regulamentando o uso das águas subterrâneas, o que pode minimizar a potencialidade do risco de esgotamento hídrico e intrusão marinha; à existência de mapas de risco de exploração e/ou de salinização, devido a estudos realizados anteriormente na localidade; à atividades de conscientização da população sobre o uso responsável da água subterrânea, a exigência de padrão de qualidade na perfuração de poços e incentivo às boas técnicas construtivas, além da exigência de cimentação completa do poço antes de ser abandonado; entre outros.

Cabral e Santos (2007) propuseram indicadores que podem ser úteis para a análise de aquíferos costeiros (Tabela 5), mas a investigação sobre a situação de qualidade e disponibilidade hídrica de um aquífero costeiro deve ser entendida como uma seqüência de ações que visam identificar a ocorrência de fatores que possam estar relacionados com o processo.

Tab 5. Proposta de Indicadores para aquíferos costeiros (Cabral e Santos, 2007).

Indicador Ambiental	Risco Baixo	Risco Alto
Densidade de poços (poços/ km ²)	baixa	alta
Bombeamento anual/Reserva permanente	< 2 %	> 2 %
Bombeamento anual/ Recarga anual	< 100 %	> 100 %
Rebaixamento no nível d'água subterrâneo/Ano (1995-2000)	poucos centímetros	vários metros
Ocorrência de intercalações de camadas argilosas.	existente	inexistente
Área com tendência à aumento de atividade agrícola	cultura de baixo consumo de água	cultura de alto consumo de água
Área com tendência à aumento de atividade industrial	indústria com baixo consumo de água	indústria com alto consumo de água
Área com tendência à atividade comercial e habitação	baixa densidade demográfica	alta densidade demográfica
Leis regulamentando o uso da água subterrânea	existente	não existente
Fiscalização eficiente sobre o uso da água subterrânea	existente	não existente
Estudos indicando ocorrência de salinização	não existente	existente
Distância até o mar	quilômetros	poucos metros
Distância até mangues e estuários	quilômetros	poucos metros
Aumento na concentração de sólidos totais dissolvidos.	não existente	existente
Ocorrência de poços abandonados pela qualidade da água	não existente	existente
Estudos indicando exploração excessiva.	não existente	existente

Bocanegra et al. (2006) relacionaram também vários indicadores (Tabela 6) que foram aplicados para analisar o aquífero costeiro em Mar del Plata, Argentina.

Tab 6. Relação de Indicadores propostos por Bocanegra et al.(2006).

Indicadores de PRESSÃO	Indicadores de ESTADO	Indicadores de RESPOSTA
População	Recarga Média Anual (m ³ /ano)	Total de Poços
Área Urbana (km ²)	Poços (%) com h < 0 (masl)	Poços em Operação
Densidade Populacional (hab/km ²)	Rebaixamento Máximo (masl)	Poços Abandonados
Volume Anual Explotado (m ³ /ano)	Rebaixamento Máximo Alcançado (masl)	Cobertura do Sistema de Abastecimento (%)
Volume Explotado no Verão (m ³ /ano)	Poços (%) com Cl > Média + Deesvio Padrão	Cobertura do Esgotamento (%)
Prod. de Água Per capita (L/hab/dia)	Máxima Concentração de Cloretos (mg/l)	Jurisdição
Pop. sem Abastecimento (%)	Máxima Concentração de Cloretos Alcançada (mg/l)	Orçamento Anual (US\$/hab.)
Pop. sem Esgotamento Sanitário (%)	Wells (%) com NO ₃ > 45 mg/l	Custo da Água (R\$/m ³)
Áreas Irrigadas (km ²)	Poços domésticos (%) afetados por poluição bacteriológica	Reserva de Pessoal (empregados/1000 hab.)
Áreas Oficiais de Disposição de Lixo(km ²)		Iniciativas de Pesquisa
Peso Anual de Lixo(ton)		Projetos Ambientais
		Leis e Regulamentações Ambientais

APLICAÇÃO DOS INDICADORES

Dados Disponíveis

Tomando-se como base os indicadores expostos na seção anterior, partiu-se para o levantamento dos dados disponíveis para a RMR a fim de se verificar quais dos indicadores eram passíveis de ser aplicados para esta região. Os dados foram pesquisados em relatórios de pesquisas anteriores, websites e documentos dos órgãos correlatos. A fonte predominante foi o Relatório Final do Estudo Hidrogeológico de Recife, Olinda, Camaragibe e Jaboatão dos Guararapes – HIDROREC II (2002), que é o estudo mais abrangente que se tem até o presente momento sobre as águas subterrâneas na RMR.

Na Tabela 7 são apresentados os dados numéricos extraídos do HIDROREC II, junto com alguns cálculos auxiliares que irão subsidiar a aplicação dos indicadores propostos por Cabral e Santos (2007) e Hirata et al. (2007). Para cada um dos aquíferos, por domínio geomorfológico, foram extraídos os n°. de poços, áreas, reservas permanentes, recarga anual, potencialidades anuais (reservas explotáveis), bombeamento anual dos poços e rebaixamentos médios dos níveis. A partir daí foram calculadas as densidades de poços para cada aquífero, por domínio, e as relações entre Bombeamentos/Reservas, Bombeamentos/Recargas e Bombeamentos/Potencialidades. Os valores rebaixamentos médios disponíveis na literatura consultada correspondem à zona mais crítica dos aquíferos Beberibe e Cabo. Na parte inferior da Tabela 7 os valores foram totalizados por aquífero e finalmente para a RMR (aquíferos intersticiais).

Tab 7. Dados e cálculos auxiliares para subsídio a aplicação dos Indicadores para a RMR.

Planície do Recife	Nº de Poços	Áreas (km ²)	Reservas Permanentes (x 10 ⁶ m ³)	Recargas (x 10 ⁶ m ³ /ano)	Potencialidades (x 10 ⁶ m ³ /ano)	Bombeamento dos poços (x 10 ⁶ m ³ /ano)	Rebaixamentos médios* (m/ano) entre 95-2000	Densidades (poços/km ²)	Bomb./Res. Perm. (%)	Bomb./Recarga (%)	Bomb./Potenc. (%)
Aqüífero Beberibe	1687	56	448	9,14	11,83	64,04	6	30,13	14	701	541
Aqüífero Cabo	1478	35	147	5,35	6,23	28,71	8	42,23	20	537	461
Aqüífero Boa Viagem	8094	112	448	43,19	48,45	11,82	-	72,27	3	27	24
Planície de Jaboatão											
Aqüífero Cabo	426	98	549	15,14	18,43	13,99	-	4,35	3	92	76
Aqüífero Boa Viagem	1800	98	392	29,34	31,69	2,7	-	18,37	1	9	9
Domínio de Olinda											
Aqüífero Beberibe	178	95	1425	9,72	18,27	62,15	-	1,87	4	639	340
Domínio dos Tabuleiros de Barreiras											
Aqüífero Barreiras	213	145	217	29,1	30,4	5,52	-	1,47	3	19	18
TOTAIS por Aqüífero											
Aqüífero Beberibe	1865	151	1873	18,86	30,1	126,19	6	12,35	7	669	419
Aqüífero Cabo	1904	133	696	20,49	24,66	42,7	8	14,32	6	208	173
Aqüífero Boa Viagem	9894	210	840	72,53	80,14	14,52	-	47,11	2	20	18
Aqüífero Barreiras	213	145	217	29,1	30,4	5,52	-	1,47	3	19	18
TOTAIS	13876	639	3626	140,98	165,30	188,93		21,72	5,21	134,01	114,30

Fonte: HIDROREC II

*Nas zonas críticas

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após analisados os dados levantados, foram obtidos os indicadores para a RMR como um todo (aquíferos intersticiais Beberibe, Cabo, Boa Viagem e Barreiras), os quais seguem nas tabelas subsequentes juntamente com as devidas análises e comentários. Vale frisar que os indicadores para os quais não se tem dados para a RMR, os mesmos foram excluídos das tabelas.

Seguem na Tabela 8 os valores levantados para a RMR para os Indicadores de PRESSÃO, ESTADO e RESPOSTA propostos por Bocanegra et al. (2006).

Os dados obtidos na pesquisa para os indicadores propostos por Bocanegra et al. (2006), listados na Tabela 8, indicam um panorama geral da situação da RMR e dão uma boa noção da dimensão do problema: a densidade demográfica é elevada e chega, na zona A (crítica) a valores maiores que 6500 hab/km². Ainda há população sem acesso à água e um número significativo não possui rede de coleta e tratamento de esgotos, fazendo então o uso de soluções individuais que vêm a poluir os aquíferos freáticos (Boa Viagem e Barreiras). Os volumes explorados de água subterrânea, devido ao grande número de poços concentrados nesta área, são maiores que a recarga o que reflete no rebaixamento excessivo detectado em alguns pontos já da ordem de 70 m. Outro aspecto que alerta para o problema da água subterrânea é que já existem pesquisas realizadas por diversas instituições há um bom tempo.

Tab 8. *Dados dos Indicadores do IGCP para a RMR.*

Indicadores de PRESSÃO	RMR	Fonte
População (hab)	3.595.318	IBGE - Contagem Populacional 2007
Área Urbana (km ²)	2.768,95	Wikipédia
Densidade Populacional (hab/km ²)	1.298,44	Calculado
Volume Anual Explotado (m ³ /ano)	188,93 x 10 ⁶	Hidrorec II
Prod. de Água Per capita (L/hab/dia)	255,27	COMPESA (2008)
Pop. sem Abastecimento (%)	10	Estimado - COMPESA
Pop. sem Esgotamento Sanitário (%)	65	Estimado - COMPESA
Indicadores de ESTADO	RMR	Fonte
Recarga Média Anual (m ³ /ano)	140,98 x 10 ⁶	Hidrorec II
Rebaixamento Máximo Alcançado (m)	70	Hidrorec II

Indicadores de RESPOSTA	RMR	Fonte
Total de Poços	13876	Hidrorec II
Cobertura do Sistema de Abastecimento (%)	90	Estimado - COMPESA
Cobertura do Esgotamento (%)	35	Estimado - COMPESA
Jurisdição	Estadual	COMPESA
Custo da Água (Despesa total com os serviços por m ³ faturado) [R\$/m ³]	2,72	Média para a RMR segundo o SNIS - 2007
Iniciativas de Pesquisa	Diversos grupos de pesquisadores e profissionais de vários órgãos/instituições como UFPE, UFRPE, CPRH, DNPM, SECTMA, SRH e COMPESA vêm há muito se empenhando em pesquisas de hidrogeologia, hidroquímica, mapeamentos, monitoramentos e modelagens.	
Leis e Regulamentações Ambientais	A Lei das Águas Estadual de 1997 estabeleceu a Política de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. A lei de Águas Subterrâneas, seus atos legais e resoluções, regulam a propriedade, perfuração de poços e uso das águas, recarga artificial e proteção contra contaminação e poluição baseada em critérios definidos. A SRH - Sec. de Rec. Hídricos junto com a CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente e Rec. Hídricos, são responsáveis pela implementação da política de gestão com seus instrumentos de controle e inspeção. As duas promovem a locação e licenciamento baseado num zoneamento, ou plano de gestão para a exploração da água subterrânea. Uma rede de monitoramento telemétrico foi implementada pela CPRH para controlar a exploração.	

Positivamente, dentro deste conjunto de informações aparece o fato de que o Estado de Pernambuco já possui leis para subsidiar um bom gerenciamento, porém há falhas quanto a sua efetiva implantação. Outro aspecto é que a COMPESA produz para a população uma água ainda de baixo custo e está atualmente realizando obras que visam anular o racionamento hoje existente na RMR, o que pode vir a reduzir significativamente a exploração de águas subterrâneas, podendo se chegar a níveis sustentáveis.

Com respeito ao exposto na Tabela 9 abaixo, a qual mostra os resultados da aplicação dos indicadores propostos por Cabral e Santos (2007) para a RMR, verifica-se no geral um RISCO ALTO para todos os aquíferos presentes.

Os valores apresentados para os cinco primeiros indicadores se referem ao domínio da Planície do Recife, por esta se apresentar a zona mais crítica pela concentração de poços. Porém, mesmo para outros domínios (exceto o dos Tabuleiros de Barreiras e da Planície de Jaboatão) quanto para os totais verifica-se que a situação não é boa (comparar com a Tabela 7). Cabe aqui frisar que quando se adotam os valores totais, se distorce a realidade, pois cada domínio possui características de densidade e de regime de exploração diferentes.

As densidades apresentadas são as mais críticas, pois se fossem considerados todos os poços divididos pela área total, este valor ficaria distorcido. Estes valores para os aquíferos Beberibe, Cabo e Boa Viagem foram enquadrados como altos, pois quando se analisa os outros indicadores subseqüentes,

nota-se que os poços neles presentes exploram um valor muito além do que é considerado sustentável para os aquíferos.

Tab 9. Resultados da aplicação dos Indicadores propostos por Cabral e Santos (2007) para a RMR.

Indicador Ambiental	Risco Baixo	Risco Alto	Aq. Beberibe	Aq. Cabo	Aq. Boa Viagem	Aq. Barreiras
Densidade de poços (poços/ km ²)	baixa	alta	30,13	42,23	72,27	1,47
Bombeamento anual/Reserva permanente	< 2 %	> 2 %	14%	20%	3%*	3%*
Bombeamento anual/ Recarga anual	< 100 %	> 100 %	701%	537%	27%*	19%*
Bombeamento anual/ Potencialidade anual	< 100 %	> 100 %	541%	461%	24%*	18%*
Rebaixamento no nível d'água subterrâneo/Ano	poucos centímetros	vários metros	6 m	8 m	não detectado*	não detectado*
Ocorrência de intercalações de camadas argilosas.	existente	inexistente	existente	existente	inexistente	inexistente
Área com tendência à atividade comercial e habitação	baixa densidade demográfica	alta densidade demográfica				
Leis regulamentando o uso da água subterrânea	existente	não existente	existente	existente	existente	existente
Fiscalização eficiente sobre o uso da água subterrânea	existente	não existente	não existente	não existente	não existente	não existente
Estudos indicando ocorrência de salinização	não existente	existente	existente	existente	existente	existente
Distância até o mar	quilômetros	poucos metros	poucos metros	poucos metros	poucos metros	quilômetros
Distância até mangues e estuários	quilômetros	poucos metros	poucos metros	poucos metros	poucos metros	quilômetros
Aumento na concentração de sólidos totais dissolvidos.	não existente	existente	existente	existente	existente	existente
Ocorrência de poços abandonados pela qualidade da água	não existente	existente	existente	existente	existente	existente
Estudos indicando exploração excessiva.	não existente	existente	existente	existente	existente	existente

*porém recebem recarga proveniente de águas poluídas

Quanto às recargas dos aquíferos Boa Viagem e Barreiras, apesar de apresentarem valores que os enquadrariam em risco baixo, vale alertar que nem sempre ela é proveniente de águas de boa qualidade, visto que os mesmos (livres) recebem contribuições de destinos finais de esgotos domésticos, assim como influência de mangues, paleomangues e marés em alguns pontos, o que torna suas águas impróprias para uso humano em vários locais.

Quando se analisa o bombeamento para a mesma área, verifica-se que em relação à reserva permanente e a recarga, este valor é muito superior, o que conseqüentemente gera os rebaixamentos elevados, detectados nas zonas críticas do Beberibe e do Cabo, respectivamente de 6 e 8 m/ano. Um outro indicador também foi analisado, desta vez comparando o bombeamento com a potencialidade (que é o que o aquífero pode produzir por ano) considerando que pode ser usada a recarga anual mais

uma pequena parcela da reserva permanente, porém com um limite de depleção de 30% da mesma em 50 anos.

Mesmo para este outro indicador, os valores continuaram muito elevados, o que alerta para o fato de que é extremamente necessário se fazer respeitar o zoneamento explotável que foi fruto do HIDROREC I, a fiscalização tem que atuar efetivamente para controlar vazões, impedir novas perfurações e obrigar as cimentações corretas no caso de desativações.

Para demais indicadores, verificou-se também que o risco é alto, tendo apenas como ponto positivo a existência das Leis regulamentando o uso da água subterrânea. Vale ressaltar que a ausência de indicadores qualitativos ruins pode estar relacionada ao fato de vários poços terem sido abandonados ao longo do tempo.

A Tabela 10 apresenta indicadores que puderam ser estimados seguindo a proposta de Hirata et al. (2007). A aplicação dos sete indicadores não foi possível, visto que não se possui alguns dos dados e outros disponíveis não dão as informações requeridas. Apesar disso, três dos sete indicadores (os n.ºs. 2, 3 e 4), abrangendo as categorias de Dependência e Disponibilidade foram estimados.

Tab 10. Resultados da aplicação dos Indicadores propostos por Hirata et al. (2007) para a RMR.

Águas Subterrâneas com respeito a:	Indicador	Unidade	RMR	Explicação/Interpretação
Dependência	2 - Extração total de Águas Subterrâneas/Extração Total (superficial + subterrânea)	%	56,4	Quantidade explotada para todos os usos (doméstico, agricultura, industrial) em relação ao total de água explorado
	3 - Reservas explotáveis de Águas Subterrâneas/População total da Unidade de Gestão	L/hab./dia	126	Corresponde a água subterrânea renovável, que consiste na dif. entre a a recarga e a descarga que mantem a vazão de base nos rios
Disponibilidade	4 - Extração total de Águas Subterrâneas/Reservas explotáveis de Águas Subterrâneas	%	114,3*	Denota a área onde a super-exploração e seus impactos socio-econômicos já foram identificados. As reservas explotáveis de águas subterrâneas podem variar de acordo com as condições políticas, sócio-econômicas e ecológicas de cada região.

*porém para o aquífero Beberibe (mais explotado volume) este valor chega a 541% na Planície do Recife – zona crítica.

Traduzido de HIRATA et. Al, 2007.

Considerando as classificações mencionadas quando da definição destes indicadores, verifica-se que o ESTADO da RMR é de ALERTA, visto que todos os valores estão na faixa mais crítica. Mais uma vez destaca-se aqui a importância de se implementar de fato a Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos no Estado de Pernambuco.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os indicadores aplicados neste trabalho, fazendo uso das informações disponíveis, já são capazes de avaliar a situação atual dos aquíferos intersticiais existentes da RMR como um todo, no que tange o Risco de se explorar descontroladamente os aquíferos, além de avaliar a Dependência e a Disponibilidade das águas Subterrâneas nessa Região.

Pelos resultados obtidos, pode-se também afirmar que a situação da RMR é de ALERTA e medidas devem ser adotadas pelos tomadores de decisão, no sentido de se implementar as Políticas de Gerenciamento dos Recursos Hídricos Subterrâneos em Pernambuco, afim de se evitar que a situação se agrave ainda mais, o que pode acarretar em diversos problemas que já vem há muito sendo estudados, como os listados a seguir:

- Algumas áreas, como o sul do Pina, a Ilha do Leite, o Recife antigo e a zona leste da Boa Vista, dentre outras, já apresentam um nível de salinização que torna contaminado qualquer novo poço que venha a ser construído naquelas áreas. Nessas áreas, o principal agente causador dessa salinização progressiva é a grande quantidade de poços desativados e abandonados/mal construídos que continuam a contaminar o aquífero;

- Algumas áreas apresentam elevadas depressões da superfície potenciométrica, em razão da grande quantidade de poços em exploração contínua, como a zona sul de Boa Viagem, denominada de “Zona A” no estudo do HIDROREC, e o bairro do Espinheiro;

- Em decorrência da precária recarga, os aquíferos Cabo e Beberibe, na região do Recife se acham em regime de sobre-exploração com depleção das reservas permanentes e riscos de exaustão em curto prazo, além de outros graves problemas com suscetibilidade a salinização, a subsidência e até a intrusão marinha.

Novas investigações devem ser feitas no sentido de se gerar mais dados, também de qualidade, para que possam ser aplicados outros indicadores, no sentido de se confirmar as tendências e enriquecer as análises, gerando conclusões mais refinadas. Também podem ser feitas, num próximo passo, comparações com outros sistemas aquíferos em condições semelhantes de exploração.

Outros aspectos relevantes que ajudam a minimizar os danos no quadro atual seriam:

- Considerando a importância que o manancial hídrico subterrâneo desempenha para atividades econômicas de relevância tais como o abastecimento de hospitais, da rede hoteleira, de escolas e outros prédios públicos, necessita ser desencadeada uma campanha de controle absoluto sobre os poços salinizados abandonados ou não, visando a sua cimentação dentro das normas técnicas, a fim de evitar a salinização de áreas maiores;

- Estudos visando a implantação de um aproveitamento sistemático de água de chuva nos prédios deverão também ser incentivados, a fim de economizar a água subterrânea. Uma opção seria aproveitar

os excedentes hídricos das águas captadas, após tratamento, injetando-as no aquífero. Assim, durante o período chuvoso o aquífero poderia ser poupado para ser utilizado no período de estiagem;

- Estudos visando uma recarga artificial mais generalizada a partir de água da drenagem superficial, também deveriam ser desenvolvidos pelo governo, a fim de evitar uma possível subsidência no futuro, face ao crescente nível de exploração dos aquíferos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do CT- HIDRO/CNPq ao projeto de pesquisa e ao apoio institucional da COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento) e da UFPE.

BIBLIOGRAFIA

ABF ENGENHARIA, SERV. E COMÉRCIO LTDA. *Estudo de Demanda por Água na Região Metropolitana do Recife, Relatório R5 – Metodologia*. Programa de Modernização do Setor de Saneamento – PMSS, Ministério das Cidades, Paulista-PE, 2006.

BOCANEGRA, E. M., MASSONE, H. E., CIONCHI, J. L., MARTINEZ, D. E. *Integrated management of the coastal aquifer in Mar del Plata, Argentina*. Proceedings 1st SWIM-SWICA Joint Saltwater Intrusion Conference, Cagliari-Chia Laguna, Italy - September 24-29, 2006, pp. 129 – 134.

CABRAL, J.J.S.P., SANTOS, S.M. *INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE NA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA: Considerações sobre a exploração sustentável em aquíferos costeiros* in XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, SP. 2007.

CABRAL, J.J.S.P., SANTOS, S.M. *Indicadores de Sustentabilidade na Exploração de Água Subterrânea: considerações sobre indicadores de risco de subsidência* in VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Gravatá, 2006. pp. 1-16.

COSTA, W. D. *Estudo Hidrogeológico de Recife, Olinda, Camaragibe e Jaboatão dos Guararapes – HIDROREC II*. Governo do Estado de Pernambuco. Secretaria de Recursos Hídricos, 2002.

COSTA (COSTA CONSULTORIA E SERVIÇOS AMBIENTAIS LTDA). *Estudo de Identificação de Causas de Salinização e Indicação de Processo de Obstrução de Poços Salinizados*. 190p. 2007.

COSTA, W. D. e COSTA FILHO, W. D. *A gestão dos aquíferos costeiros de Pernambuco. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*. Cuibá, MT. Cd- rom. 2004.

COSTA, W.; MANOEL FILHO, J.; SANTOS A. C.; BRITO, A. M.; SOUZA, F. J.; LOPES, A. V.; SANTOS A. J. *Estudo Hidrogeológico da Região Metropolitana do Recife*. UFPE/FADE, IRDC, 1998.

COSTA, W. D.; SANTOS, M. A. V.; COSTA FILHO, W. D.; CAVACANTI, D. J. *Monitoramento dos Aquíferos Costeiros de Pernambuco na Região do Recife*, in *Água Subterrânea: Aquíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade e Aproveitamento*, Edufpe, Recife, 2004. pp 357-380.

COSTA, W. D., SANTOS, M. V., COSTA FILHO, W. D., MONTENEGRO, S. M. G. L., CABRAL, J. J. S. P., CAVALCANTI, D. J. *Monitoramento dos aquíferos costeiros da região do Recife e*

Adjacências - Pernambuco/Brasil. Anais do II Congresso sobre Planejamento e Gestão da Zona Costeira dos Países de Expressão Portuguesa. Recife, PE. 2003.

EEA - EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY *EEA Core Set of Indicators: Revise Version*. Compiled by Peter Kristense, Germany, 2003.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2009a). <http://www.ibge.gov.br> (acesso em 17/04/2009).

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A.; FERNANDES, A. *Groundwater resources in the State of São Paulo (Brazil): the application of indicators*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, São Paulo, 2007.

MANOEL FILHO, J. *Exploração de água subterrânea em zona urbana: caso da Grande Recife*. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Cuiabá, MT. CD-rom. 2004.

MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. de A.; CABRAL, J. J. S. P.; CAVALCANTI, G. L. *Intensive exploitation and Groundwater salinity in Recife Coastal Plain: monitoring and management perspectives* in SWICA SEIM, Italy, 2006.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2007*. Programa de Modernização do Setor de Saneamento – PMSS, Ministério das Cidades, Brasília, 2007.

UNESCO, IAEA, IAH, UNECE. *Development of groundwater indicators for second edition of the World Water Development Report*. Groundwater indicators Working Group (Jaroslav Vrba, Jan Girman, Naim Haie, Ricardo Hirata, Annukka Lipponen, Tushaar Shah and Bill Wallin). Third Version (UNESCO Technical Report), Paris, France, 2004, 18 p.

VRBA, J., LIPPONEN, A. *Groundwater Resources Sustainability Indicators - IHP – VI Series on Groundwater No 14*, United Nations Educational, Saint-Denis, 2007, 114p.