

MONITORAMENTO DA SALINIDADE NO AQUIFERO CABO, NA REGIÃO COSTEIRA DA PLANÍCIE DO RECIFE (PE)

Suzana M. G. L. Montenegro¹

Abelardo A. de A. Montenegro²

Jaime J. da S. P. Cabral¹

José G. A. Demétrio³

João Manoel Filho³

Edmilson Santos de Lima⁴

Emanuelle M. de Oliveira⁵

Anderson Paiva⁵

RESUMO

O sistema aquífero da Planície do Recife (PE) é composto por dois aquíferos profundos, Cabo e Beberibe, de características confinadas, recobertos por um aquífero freático, o Boa Viagem. Em condições de super-exploração, os aquíferos costeiros da planície do Recife apresentam-se vulneráveis à degradação por salinização. Uma das causas da salinização é a intrusão marinha. No aquífero Cabo, na Zona Sul, o mais explorado, a salinização também pode ser provocada por conexão, através de poços, com o aquífero superior contaminado por disposição de esgotos, presença de mangues e ligação com estuários de rios. A drenança vertical através da camada semi-permeável que interliga os dois aquíferos também é outra causa provável da salinização. Diversos poços vêm apresentando níveis de salinidade crescentes e alguns até sendo abandonados. Monitoramento em poços no aquífero Cabo vem sendo realizado visando acompanhamento da evolução da salinidade da água subterrânea. Os resultados não apontam para a ocorrência da intrusão marinha, embora o risco exista.

PALAVRAS-CHAVE

SALINIZAÇÃO, MONITORAMENTO, AQUIFERO COSTEIRO.

-
- 1) Prof. Adjunto. Departamento de Engenharia Civil. UFPE. Av. Acad. Hélio Ramos, s/n. Cidade Universitária. Recife, PE. CEP. 50570- 630. e- mail: smglm@npd.ufpe.br.
 - 2) Prof. Adjunto. Departamento de Tecnologia Rural. UFRPE. Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n. Dois Irmãos. Recife- PE. e- mail: monte@hotlink.com.br.
 - 3) Prof. Adjunto. Departamento de Engenharia de Minas. UFPE. Av. Acad. Hélio Ramos, s/n. Cidade Universitária. Recife, PE. CEP. 50570- 630.
 - 4) Prof. Adjunto. Departamento de Geologia. UFPE. Av. Acad. Hélio Ramos, s/n. Cidade Universitária. Recife, PE. CEP. 50570- 630.
 - 5) Aluno de Graduação em Engenharia Civil da UFPE. Bolsista IC FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco).

ABSTRACT

The aquifer system in Recife coastal plain is composed by two confined aquifers, Cabo and Beberibe, overlain by a phreatic aquifer, the Boa Viagem. The over exploitation of the coastal aquifers poses a risk of groundwater salinization. The salinization may be caused by sea water intrusion. In the Cabo aquifer, in the South, the one which is the most exploited, the salinization may also be due to connection established through wells, with the phreatic aquifer. The phreatic aquifer is connected to river estuaries and mangroves and receives contribution of sewage.

Several wells have presented high salinity levels, and some of them have been abandoned. A monitoring program in wells of the Cabo aquifer has been established aiming to follow the groundwater salinity changes in time. The results do not indicate the occurrence of sea water intrusion, although it remains a threat.

KEY- WORDS

SALINIZATION, MONITORING, COASTAL AQUIFER.

INTRODUÇÃO

A exploração excessiva de aquíferos costeiros, em desequilíbrio com o processo de recarga, coloca o sistema sob risco de salinização por intrusão marinha. O fenômeno provoca a degradação do aquífero, tornando suas águas impróprias para diversos usos, incluindo o consumo humano e preocupa pesquisadores em todo o mundo. Diversas pesquisas vêm sendo conduzidas, buscando diagnosticar o risco anteriormente à ocorrência do processo de salinização, propor alternativas de gerenciamento que minimizem esses riscos, e a recuperação eficiente dos sistemas atingidos.

O aumento do teor de sais nos aquíferos da região metropolitana do Recife (RMR), localizados em uma planície costeira, tem sido uma preocupação desde a década de 70. Vários poços perfurados são abandonados ou desativados após constatada a salinização. Com a recente crise no abastecimento de água da RMR pelo colapso dos mananciais de superfície, a perfuração de poços foi intensificada, agravando ainda mais a vulnerabilidade do sistema aquífero. Estima-se que em alguns locais, como por exemplo a faixa costeira sul, os rebaixamentos tenham sido da ordem de 50 m nos últimos 50 anos (Costa et al., 1998a). A condição de super-exploração do sistema e o conseqüente rebaixamento dos níveis potenciométricos provoca a inversão dos gradientes hidráulicos que induz o fluxo do mar em direção ao continente. Além da hipótese do avanço da cunha salina em direção ao continente, suspeita-se do efeito da contaminação vertical, proveniente das camadas superiores salinizadas de antigos mangues, ou proveniente dos estuários dos rios Capibaribe, Beberibe e Tejiú que, nos seus trechos finais, sofrem o efeito das marés. A contaminação vertical foi a causa indicada por Costa Filho et al. (1998), com base na análise hidroquímica e de isótopos ambientais em 45 amostras de águas subterrâneas.

Projeto de pesquisa financiado no âmbito do PADCT III vem enfocando o estudo da dinâmica de salinização do aquífero Cabo, de características confinadas, em uma faixa próxima à costa sul, onde o bombeamento por poços profundos é intenso. Alguns outros poços em outras áreas também foram investigados. Esse trabalho apresenta os resultados do monitoramento, que podem servir de subsídios para o gerenciamento do sistema.

ÁREA DE ESTUDO, CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E ANTECEDENTES

Recife, capital do Estado de Pernambuco, é uma das mais populosas cidades do Nordeste do Brasil. A Região Metropolitana do Recife (RMR) é constituída por 13 municípios, e tem uma população aproximada de 3 milhões de habitantes. Recife 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 cerca de 112 km² e corresponde a uma planície de formação geológica fluvio- marinha, situada nos limites geográficos de ocorrência das bacias sedimentares do Cabo e Pernambuco- Paraíba.

O sistema aquífero da planície do Recife compreende dois aquíferos confinados: o Beberibe ao norte do Lineamento Pernambuco e o Cabo ao sul; e um freático, o Boa Viagem que recobre os outros dois. 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., 1998b). O aquífero Cabo, objeto desse estudo, possui o maior número de poços em exploração e é uma importante fonte de abastecimento d'água da RMR. As características desses aquíferos são resumidas na Tabela 1.

Tabela 1. Características hidrogeológicas dos aquíferos da RMR (Costa et al., 1998b).

Idade	Aquífero	Espessura Média (m)	Geologia
Quaternário	Boa Viagem	40	Areias, siltes e argilas
Cretáceo Superior	Beberibe	100	Arenitos com intercalações de siltitos e argilitos
Cretáceo Inferior	Cabo	90	Arenitos, siltitos e argilitos.

A demanda de água da RMR é de cerca de 12 m³/s, e a COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento) é responsável pelo abastecimento. Para o abastecimento de água da RMR, a COMPESA opera diversos sistemas superficiais e poços profundos, localizados na zona Norte. Os sistemas operados pela COMPESA não atendem toda a demanda da área e poços, em geral profundos, vêm sendo perfurados para abastecimento de condomínios, hospitais, hotéis e indústrias, e, poços, em geral rasos, vêm sendo explorados para abastecimento de residências e postos de gasolina. Os poços profundos instalados e operados por particulares se localizam nos bairros centrais e notadamente na Zona Sul da cidade, em especial no Bairro de Boa Viagem, com elevada concentração de edifícios de apartamentos, muitos deles situados à beira- mar.

O problema da super- exploração dos aquíferos na RMR há muito preocupa a comunidade técnico- científica, órgãos gestores e população. Estudo incluindo levantamento detalhado das condições de exploração do sistema estabeleceu um zoneamento da exploração das águas subterrâneas na cidade do Recife (Costa et al., 1998b). 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. Estima-se que existem atualmente cerca de 4.000 poços na RMR, um número bem superior ao apontado após a conclusão do estudo concluído em 1997. A intensificação do bombeamento ocorreu após a estiagem dos anos de 1998 e 1999. Durante esse período os reservatórios superficiais que compõem o sistema de abastecimento operado pela COMPESA, chegaram a níveis críticos, e foi estabelecido um racionamento que previa, em alguns bairros o fornecimento de água por um dia, a cada nove sem abastecimento. Costa (2000) aponta que em 1995 já havia um desequilíbrio entre recarga e descarga de 800l/s.

Além da quantidade de águas subterrâneas, o problema da super-exploração dos aquíferos, pode também afetar sua qualidade. No caso dos aquíferos da RMR, por se constituírem em sistemas costeiros, há o risco da intrusão marinha, e a conseqüente salinização das águas subterrâneas. A preocupação com o risco de intrusão marinha e salinização de alguns poços ocorrida desde a década de 70 incentivaram a realização de diversas pesquisas. Estudos foram realizados na década de 70 por uma equipe coordenada pelo prof. Emílio Custódio (Barcelona, Espanha) e na década de 80 por uma equipe da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) em parceria com pesquisadores da Universidade Federal de Pernambuco. Na época inferiu-se que a cunha salina, na porção Norte da RMR, estava distante alguns quilômetros do continente, deslocando-se lentamente continuamente em direção à costa, necessitando no entanto de aprofundamento da análise ao longo do tempo (França et al., 1987; Cabral e Cirilo, 1987).

Além da intrusão marinha, podem ser apontadas outras causas para o problema da salinização de alguns poços na planície do Recife, como a contaminação vertical, proveniente das camadas superiores salinizadas de antigos mangues, ou proveniente do estuário dos rios Capibaribe, Beberibe e Tejipiú que, nos seus trechos finais, sofrem o efeito das marés. A primeira hipótese foi a indicada como conclusão de investigação realizada por Costa Filho et al. (1998), com base na análise hidroquímica e de isótopos ambientais em 45 amostras de águas subterrâneas.

Em relação ao aquífero Cabo, a área que oferece maior vulnerabilidade à salinização é a do Bairro de Boa Viagem, por sofrer uma exploração mais intensa que as demais e estar localizada próxima à costa. Muitos poços da região já vêm sendo abandonados por apresentarem teores de sais elevados, o que aumenta os riscos de salinização por contaminação vertical, pois esses poços tornam-se canais de conexão com o aquífero sobreposto (Boa Viagem) mais salinizado devido às influências de antigos mangues, de águas antigas que tenham se acumulado em períodos pretéritos de transgressão ou regressão marinha, do estuário dos rios, ou até de esgotos in situ. A diminuição do nível potenciométrico do aquífero inferior também pode incrementar a drenança vertical a partir do aquífero superior, pelo incremento no gradiente hidráulico.

MONITORAMENTO

Para investigação da origem e dinâmica da salinização no aquífero Cabo, RMR procedeu-se a um programa de monitoramento, que teve início em Maio de 1999. A princípio, apenas os poços da Zona Sul vem sendo investigados, incluindo os bairros de Boa Viagem e Piedade. O monitoramento vem sendo estendido a outros bairros onde ocorre grande incidência de po-

ços em operação, tais como Torre, Madalena, Aflitos e Boa Vista. Para a seleção dos poços para o programa de monitoramento tem-se buscado subsídios em um sistema de informações desenvolvido como ferramenta de apoio ao gerenciamento dos aquíferos da RMR e que é composto por um cadastro dos poços e outros módulos contendo perfis construtivos e litológicos dos poços (Cabral et al., 2000). O sistema vem sendo continuamente atualizado, com o fornecimento de informações pela CPRH (Companhia Pernambucana de Meio Ambiente), órgão responsável pelo licenciamento dos poços.

Na seleção dos poços a serem monitorados, procura-se adotar os seguintes critérios:

- busca por poços já instalados, preferencialmente os que possuem informações como profundidade, perfis construtivo e litológico, próximos à linha da costa ou próximo às margens dos rios;
- poços que fazem parte de uma das zonas conhecidamente salinizadas ou que estejam próximos a uma delas;
- poços que estão sendo construídos.

São coletadas amostras das águas dos poços aproximadamente a cada dois meses e feitas análises de condutividade elétrica (CE) e composição iônica, com frequências diversas para cada poço, a depender do comportamento destes parâmetros ao longo do tempo. Assim, os poços que nas primeiras amostragens apresentaram valores críticos de um dos elementos analisados, ou uma tendência ao incremento das concentrações, vêm sendo monitorados mais intensamente. A Tabela 2 indica o número de poços monitorados no período de Maio de 1999 a Julho de 2001, separando-os por bairro. Cento e trinta poços vêm sendo monitorados, e os resultados vêm sendo divulgados (Montenegro et al., 2000; Montenegro et al., 2001). As análises de condutividade elétrica são feitas com o uso de condutivímetro, em laboratório ou em campo. As análises de composição iônica são encaminhadas aos laboratórios especializados.

Tabela 2. Número de coletas e o distribuição dos poços por bairro.

Bairro	Número de Coletas	Número de poços
Boa Viagem	14	86
Piedade	8	17
Aflitos	1	12
Madalena	1	11
Boa Vista	1	4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os poços monitorados, entre Maio de 1999 e Julho de 2001 apresentaram variação da condutividade elétrica entre 0,01 e 13,78 dS/m, com um total de 613 amostras coletadas em 130 poços, com frequência individualizada. Na área do bairro de Boa Viagem, próximo à costa, região mais intensivamente monitorada, foram identificadas “manchas salinas”, regiões que concentram diversos poços com elevada concentração de sais. A Tabela 3 apresenta um resumo das principais características dos poços monitorados. A medida da condutividade elétrica, em dS/m, pode ser convertida em concentração total de íons em mg/l, aproximadamente, utilizando-se o fator de conversão 640.

Tabela 3. Resumo das principais características dos poços monitorados.

	Profundidade maior que 100 metros	Apresentam perfis litológico e construtivo.	Fazem parte das zonas salinizadas.	Condutividade maior que 0,7 dS/m.
Número de Poços	60 [#]	49	34	22

[#] De um total de 81 em que se conhece a profundidade.

Na Figura 1, apresenta-se o comportamento da condutividade elétrica ao longo do tempo e o perfil litológico de três poços monitorados nos bairros de Boa Viagem e Pina. Nos três poços selecionados para a análise os filtros estão instalados nas profundidades 138 a 158m, 108 a 120m e 130 a 148m, respectivamente.

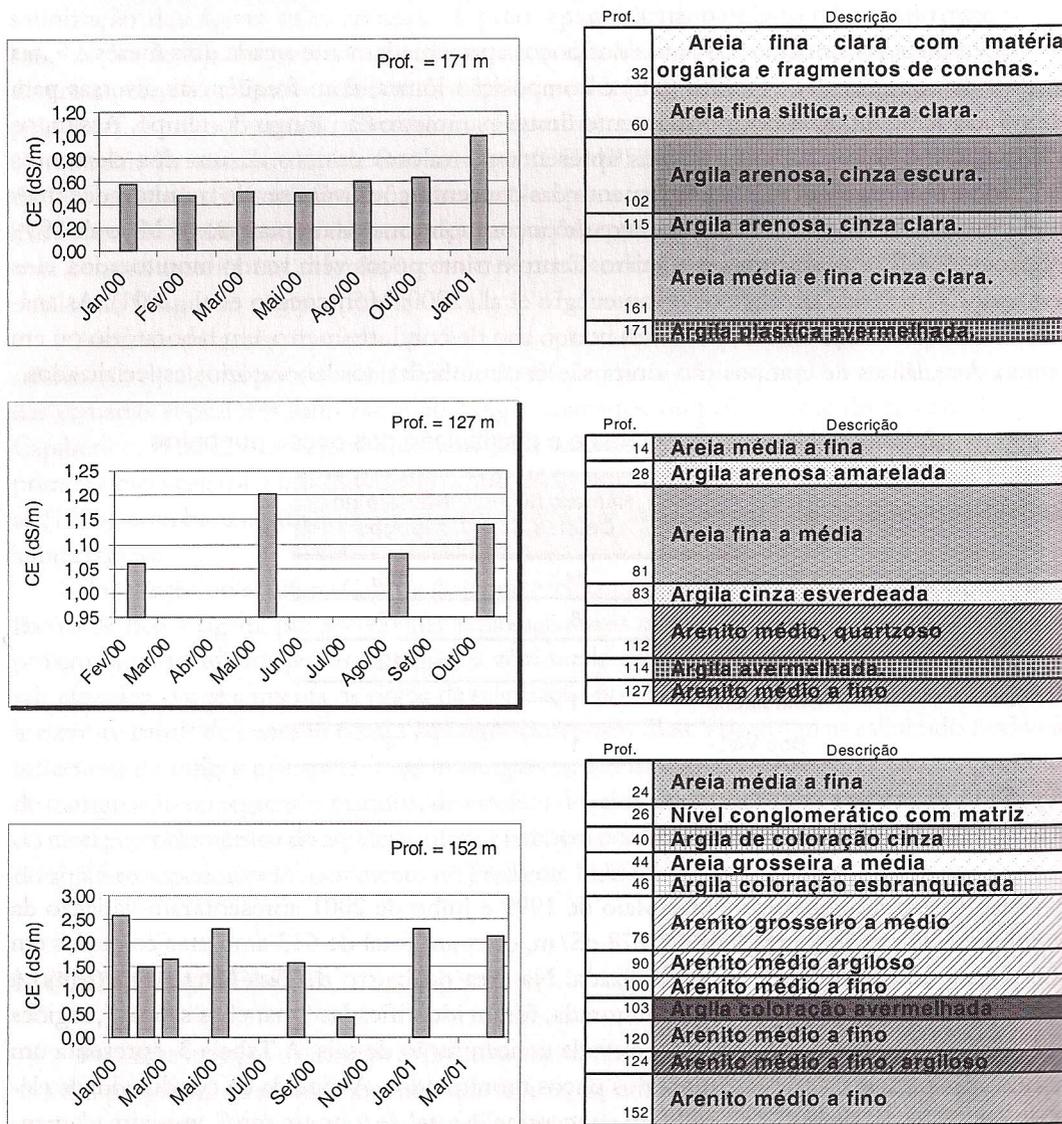


Figura 1. Condutividade elétrica e perfil litológico de três poços monitorados.

Observa-se, através dos gráficos da Figura 1, comportamento distinto para os três poços selecionados como ilustração. Os níveis de salinidade nos três casos são relativamente elevados. Apesar disso o comportamento ao longo do tempo difere entre os três poços. No primeiro caso, nota-se uma tendência crescente da salinidade que não é observada nos outros dois poços.

Até o momento, não foi identificado um padrão de aumento de salinização. Apesar de estar havendo um aumento no teor de sais como um todo, existem muitos outros fatores que afetam o problema. Além dos fatores citados anteriormente, a proximidade dos poços também influencia, visto que alguns quarteirões apresentam uma grande densidade de poços e a vazão total bombeada é elevada, intensificando portanto os gradientes hidráulicos vertical e horizontal. Outro fator importante é a impermeabilização do solo. Foi identificado um poço onde houve uma provável recarga devido ao período de intensas precipitações ocorridas no ano de 2000. O poço está localizado próximo a uma área com menor efeito da impermeabilização e com características arenosas. Este poço está em operação há mais de 10 anos. O gráfico da Figura 2 ilustra o comportamento da condutividade elétrica ao longo das coletas feitas. A mesma alteração não foi notada para os outros poços, o que mostra a dificuldade de recarga em áreas altamente urbanizadas, mais um agravante à salinização. A diminuição da salinidade foi observada em outros poços, que logo em seguida ao início da perfuração apresentavam altas concentrações. O acompanhamento de alguns desses poços identificou que o efeito do bombeamento produziu a diminuição da salinidade. Alguns poços profundos apresentam águas com salinidade superior a poços rasos próximos.

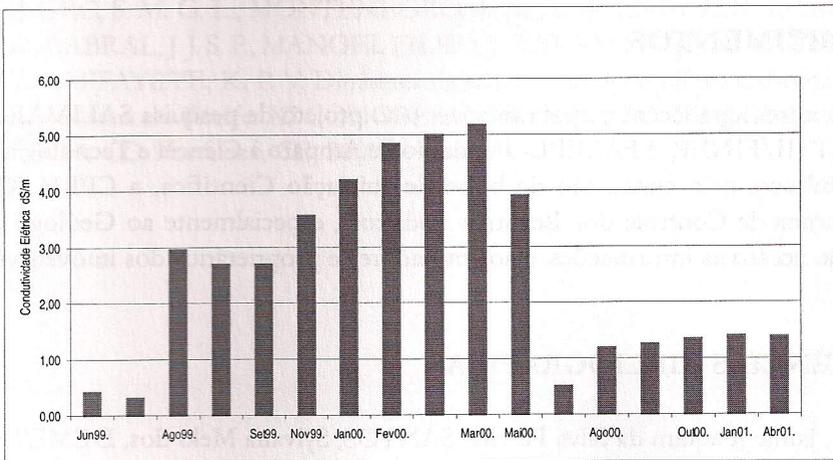


Figura 2. Salinidade em poço com provável efeito de recarga.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto de pesquisa vem gerando importantes contribuições tais como a identificação de “manchas” salinas nessa região. No entanto, ainda não se tem uma conclusão definitiva sobre a dinâmica da salinização no aquífero. Observa-se comportamento diversificado da salinidade nos poços monitorados. Em alguns casos, a salinidade apesar de elevada é estável. Em outros casos, o nível de salinidade é crescente ainda que em pequena taxa. Há casos em que a salinidade diminui, atribuindo-se a duas possíveis causas: recarga e circulação por

bombeamento. O monitoramento e a análise realizados ao longo do projeto acenam para a existência de uma faixa próxima à linha da costa onde a salinidade das águas subterrâneas é mais alta do que nos poços mais afastados em direção ao continente. Isso poderia ser um indício da contaminação por intrusão marinha. No entanto, se isto já estivesse ocorrendo estaria sendo notado níveis crescentes de salinidade em todos os poços dessas manchas, o que não foi detectado. O monitoramento deve continuar, buscando acompanhar os poços nas “manchas” salinas e estendendo a investigação para outras regiões de bombeamento intenso. Simulações matemáticas utilizando modelo numérico indicam que em um horizonte de dez anos, a cunha salina terá efetivamente atingido o continente, salinizando boa parte dos poços hoje em operação (Cabral et al., 2000b). Os resultados das simulações foram, contudo baseadas em algumas hipóteses que precisam ser refinadas com a continuidade da pesquisa. Os dados que vêm sendo coletados estão sendo armazenados em um sistema georreferenciado de informações desenvolvido como ferramenta de apoio ao gerenciamento dos aquíferos da Região Metropolitana do Recife (Cabral et al., 2000a). O sistema vem sendo utilizado gradativamente pelos órgãos gestores dos recursos hídricos do Estado de Pernambuco, e necessita de atualização permanente. Seja por conexão com o aquífero superior salinizado, ou por intrusão marinha, a condição de super- exploração do sistema tem influência decisiva no incremento dos níveis de salinidade das águas subterrâneas na RMR. O problema do rebaixamento excessivo nos níveis do aquífero confinado pela super- exploração é agravado pelo elevado grau de urbanização que diminui sobremaneira a oportunidade de recarga natural do sistema.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro ao projeto de pesquisa SALIMAR no âmbito do PADCT III/FINEP, à FACEPE- Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco, pela concessão de bolsa de Iniciação Científica, a CPRH (Companhia Pernambucana de Controle dos Recursos Hídricos), especialmente ao Geólogo Veronilton Farias, pelo acesso às informações, e aos moradores e proprietários dos imóveis visitados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CABRAL, Jaime Joaquim da Silva Pereira, SANTOS, Sylvana Melo dos, DEMÉTRIO, José Geilson Alves, MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima. A GROUNDWATER INFORMATION SYSTEM FOR RECIFE METROPOLITAN REGION. In: MIS, 2000, Lisboa. 2000a.
- CABRAL, J.J.S.P. - LAFFAYETE, K.P.V.- MONTENEGRO, S.M.G.L.. Modelagem de Intrusão Marinha na Planície de Recife, Utilizando o Modelo SHARP. In: **Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, V, Natal – RN, ABRH, 2000 b.
- CABRAL, J. J. S. P., CIRILO, J. A. . Salt water- fresh water interface motion in leaky aquifer. Boundary Element Technics, Application in Fluid Flow. Computational Mechanics Publications. Southhampton, UK.111122. 1987.
- COSTA, W.D. Riscos potenciais e reais decorrentes da super- exploração de águas subterrâneas no Recife- PE. XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. CD. Fortaleza, CE. 2000.

- COSTA, W.D., MANOEL FILHO, J., SANTOS, A.C., COSTA FILHO, W.D., MONTEIRO, A.B.; SOUZA, F.J.A.DE, LOPES, A.V.G., SANTOS, A.J.C., SILVA FILHO, M.C., SILVA, M.J. DA. Estudo Hidrogeológico da Região Metropolitana do Recife-Relatório Técnico. Vol. I, 116p. Convênio IDRC-UFPE-FADE. 1998a.
- COSTA, W. D., MANOEL FILHO, J., SANTOS, A. C., COSTA FILHO, W. D., MONTEIRO, A. B., SOUZA, F. J. A. de. . Zoneamento de Exploração das Águas Subterrâneas na Cidade do Recife – PE. X CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. CD.São Paulo, SP. 1998b.
- COSTA FILHO, W. D., SANTIAGO, M. M. F., COSTA, W. D., MENDES FILHO, J. Isótopos Estáveis e a Qualidade das Águas Subterrâneas na Planície do Recife. X CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. CD.São Paulo, SP. 1998.
- FRANÇA, H. P. M., VASCONCELOS NETO, B. G. M., ANDRÉ, H. O., CIRILO, J. A., CABRAL J. J. S. P. Análise preliminar do comportamento hidrodinâmico e de intrusão marinha no aquífero Beberibe na Região Metropolitana do Recife. 1º Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste. Recife, PE. 59-71. 1987.
- MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima, MONTENEGRO, Abelardo Antônio de Assunção, LIMA, Edmilson Santos de, CABRAL, Jaime Joaquim da Silva Pereira, MANOEL FILHO, João, DEMÉTRIO, José Geilson Alves. Monitoring salinity levels in the Cabo Aquifer, Recife Coastal Plain (Northeast Brazil). In: SALT WATER INTRUSION AND COASTAL AQUIFER CONFERENCE, 2001, Essaouira. Proceedings of the Salt Water Intrusion and Coastal Aquifer Conference. 2001.
- MONTENEGRO, S. M. G. L., MONTENEGRO, A. de A., de LIMA, E. S., DEMÉTRIO, J. G. A., CABRAL, J. J. S. P., MANOEL FILHO, J., BARBALHO JR., C. G., VENÂNCIO, S. G., LAFFAYETE, K. P. V. Dinâmica da salinização do aquífero Cabo na Região Metropolitana do Recife. XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. CD. Fortaleza, CE. 2000.