

**XI SILUBESA*****Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental***

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

IV-007 - PROBLEMAS DE SALINIZAÇÃO NO ABASTECIMENTO COMPLEMENTAR EM RECIFE – PE.

Gustavo José Barros Gurgel⁽¹⁾

Mestrando em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Depto de Engenharia Civil, UFPE.

Suzana M.G.L. Montenegro⁽²⁾

Prof. Doutor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco.

Jaime J.S.P. Cabral⁽²⁾

Prof. Doutor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco.

Endereço⁽¹⁾: Rua João Sales de Menezes, 419 apt 501/B – Cidade Universitária, Recife/PE. CEP: 50670-390. Brasil.
Tel: +55 (81) 3274-5302**e-mail** gustavo.gurgel@bol.com.br.**Endereço⁽²⁾:** Rua Professor Moraes Rego, 1235 – Cidade Universitária, Recife/PE. CEP: 50670-901. Brasil.
Tel: +55 (81) 3271-8709suzanam@ufpe.br, jcabral@ufpe.br.

RESUMO

As águas subterrâneas representam a forma mais protegida e segura de armazenamento de água, em consequência disto, deveriam ser utilizadas apenas como reserva estratégica. Porém o gerenciamento inadequado dos aquíferos costeiros vem permitindo o surgimento de problemas que em médio prazo podem representar não só o esgotamento das águas subterrâneas, como também o aumento do risco da intrusão marinha no subsolo.

Com uma demanda de 14 m³/s, a Região Metropolitana do Recife composta por 14 municípios tem enfrentado sérios problemas com o déficit do abastecimento público. Uma crise no abastecimento de água nos anos de 1998 e 1999, devida a precipitações abaixo do normal, levou os mananciais de superfície a níveis próximos ao colapso. Em consequência disto, um grande número de poços foi perfurado por empresas privadas, na planície do Recife.

Com o presente trabalho objetiva-se a análise da possibilidade de intrusão marinha nos aquíferos Boa Vigem e Cabo, considerando a super exploração pelo crescente número de poços perfurados. Por apresentar maior número de poços, maior exploração de água e estar junto à costa, foram escolhidos os bairros do Pina e Boa Viagem em Recife, além do bairro da Piedade em Jaboatão dos Guararapes como área objeto do estudo. Analisando os dados do monitoramento da condutividade elétrica, foi possível definir os pontos críticos da área monitorada.

Para a modelagem computacional foi definido um modelo conceitual composto de uma malha de nós que abrange 15 Km sendo 5 Km no mar e 10 no continente. Foi escolhido um modelo computacional adequado para gerar as simulações de cenários, o modelo foi o SHARP versão 1.1 de 10/05/99 desenvolvido pela USGS - United State Geological Survey.

Utilizando dados de bombeamento de um sistema de informações de águas subterrâneas incluindo 2.368 poços, foram realizadas simulações de cenários envolvendo a sensibilidade do modelo à recarga, ao bombeamento e à injeção de água nos aquíferos.

PALAVRAS-CHAVE: Salinização, aquífero costeiro, modelagem matemática.

INTRODUÇÃO

No mundo, 61% da população é abastecida com água subterrânea, sendo 43% através de poços tubulares, 12% por fontes ou nascentes e 6% por poços escavados tipo amazonas (Feitosa e Manoel Filho, 2000). As águas subterrâneas representam a forma mais protegida de armazenamento de água. Com uma demanda de 14 m³/s, a Região Metropolitana do Recife composta por 14 municípios e uma população de 3,3 milhões de habitantes (IBGE, 2000) tem enfrentado sérios problemas com o déficit do abastecimento público.

Os sistemas de abastecimento da Região Metropolitana Recife, incluindo captação, adução, tratamento e distribuição, são operados pela COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento, que em seus principais sistemas tem capacidade para captar e tratar cerca de 9,8 m³/s de mananciais superficiais, embora nem sempre produza a capacidade máxima. Os sistemas e suas respectivas vazões são mostrados na tabela 1.

Tabela 1: Vazões produzidas nos principais sistemas da RMR

Sistema	População atendida (%)	Capacidade de produção (m³/s)	Vazão média produzida em abr/03 (m³/s)
Alto do Céu	10	1,0	1,0
Botafogo	17	2,2	1,5
Tapacurá	36	4,0	3,7
Gurjaú	9	1,0	0,7
Suape	6	1,6	0,6
Total	78	9,8	7,5

Fonte: COMPESA/APO/Data-base: Mai/03

Uma crise no abastecimento de água da Região Metropolitana do Recife nos anos de 1998 e 1999, devida a precipitações abaixo do normal (Figura 1), levou os mananciais de superfície a níveis próximos ao colapso. Este fato implicou em forte racionamento e mostrou o quanto o sistema de abastecimento está susceptível a estiagens.

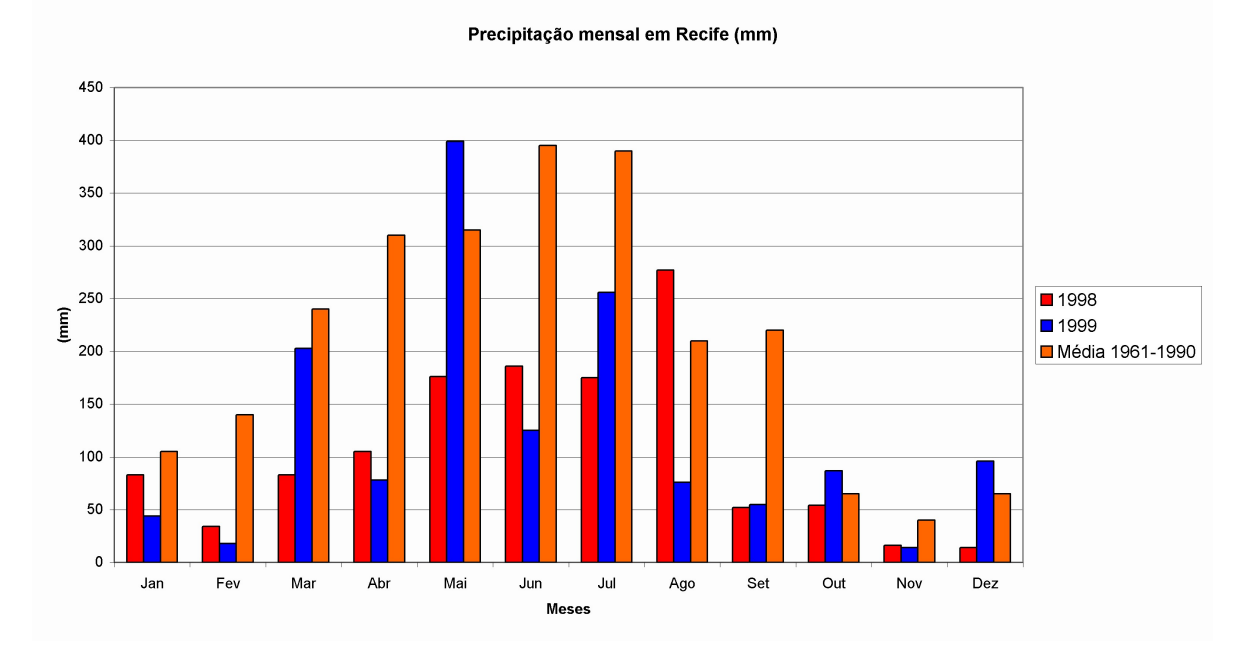


Figura 1: Variação da precipitação mensal em Recife nos anos de 1998, 1999 e a média histórica do período de

1961 a 1990.

Durante este período houve uma forte procura por meios mais confiáveis de abastecimento. Em consequência disto, por mostrar-se um meio que possibilita maior regularidade de vazões entre outras vantagens, um grande número de poços foi perfurado por empresas privadas, na planície do Recife, para servirem residências, hotéis e instituições públicas. Os aquíferos explorados foram o Beberibe, Cabo e Boa Viagem.

Costa et al. (1998) e CONTECNICA (1998) relataram que a contribuição de águas subterrâneas para o sistema de distribuição da COMPESA era de 1,6 m³/s, explorados por 110 poços no aquífero Beberibe ao norte da RMR. Logo após a seca de 1998/1999 novas baterias de poços foram construídas, sendo que atualmente as águas subterrâneas contribuem mais que em 1998 para o sistema público de abastecimento, quando todos os poços estão ativados. Além dos poços da COMPESA, centenas de poços particulares vêm sendo utilizados, totalizando aproximadamente 4,0 m³/h de vazão bombeada.

Em um estudo recente, Costa et al. (2002) avaliaram em 13.000 o número de poços públicos e privados existentes só no município de Recife o que mostra que a perfuração de poços continuou crescendo mesmo depois da crise no abastecimento. Dos poços avaliados, 33% eram profundos, ou seja, com mais de 20 metros de profundidade, o que significa que as águas profundas têm sido bastante exploradas.

Em um estudo realizado pelo grupo de recursos hídricos da UFPE denominado GIAREC – Gerenciamento Integrado dos Aquíferos da Região Metropolitana do Recife, foi elaborado um sistema de informações de águas subterrâneas (Cabral et al., 2000) incluindo 2.368 poços, os quais serviram de base para este estudo. Assim como, os dados do projeto de Dinâmica e Evolução da Salinização Marinha nos Aquíferos da Região Metropolitana do Recife (Montenegro et al. 2000; Montenegro et al., 2002), desenvolvido pelo Grupo de Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco.

Aquíferos costeiros são altamente sensíveis às mudanças de carga e de fluxo. A falta de gerenciamento ou o gerenciamento inadequado de um aquífero costeiro através da super-exploração, por exemplo, pode levar ao avanço da cunha salina e à destruição do aquífero como fonte de água doce. A questão da intrusão marinha em aquíferos costeiros afeta grande parte das cidades costeiras do mundo que utilizam água subterrânea para abastecimento público. Este assunto vem sendo objeto de pesquisas nas últimas décadas. Na Região Metropolitana do Recife, o assunto já vem sendo motivo de preocupação desde a década de setenta (ACQUAPLAN, 1979), e gradativamente, à medida que avança o conhecimento geológico da região, são feitos novos estudos e prognósticos (Cabral et al., 2000; Monteiro, 2000; Montenegro et al., 2002).

Com o presente trabalho objetivou-se a análise da possibilidade de intrusão marinha nos aquíferos Boa Vigem e Cabo, considerando a super exploração pelo crescente número de poços perfurados, a impermeabilização do solo que reduz a recarga por infiltração de águas pluviais e a previsão de cenários futuros que ajudarão na definição de métodos e modelos gerenciais que visem à conservação de forma sustentável das águas subterrâneas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área estudada localiza-se na Região Metropolitana do Recife delimitada pelas coordenadas UTM 9098000 e 9115000 mN e UTM 283000 e 298000 mE, meridiano 33°. A precipitação média anual é de 2.458 mm, sendo junho o mês com maior concentração de chuvas com média de 389,6 mm e novembro o mês mais seco com uma média de 47,8 mm. A temperatura média anual é de 25,5°C. O mês mais frio é agosto com uma média de 23,9°C e o mais quente é fevereiro com uma média de 26,2°C. A umidade relativa do ar média é em torno de 80%, com máximo de 85% em maio e mínimo de 73% em janeiro. A insolação média anual é em torno de 2.464 h com máximo de 266 h no mês de novembro e mínimo de 108 h no mês de agosto. Toda caracterização descrita foi baseada nos dados climatológicos da Estação Meteorológica de Recife/PE (nº 82/900/DNMet, 1992), numa série de 1961 a 1990.

Esta região, mostrada na figura 2, encontra-se na sua maior parte no domínio hidrogeológico da planície do Recife, inserida geotectonicamente na Bacia Pernambuco/Paraíba e Bacia do Cabo, respectivamente a norte e a sul do Lineamento Pernambuco. A sul do lineamento encontram-se os aquíferos Boa Viagem e Cabo, respectivamente superior e inferior, separados por uma camada semiconfinante formada pela porção basal do aquífero Boa Viagem constituída de argila, argila arenosa e areia argilosa (Monteiro, 2000). As principais características de cada aquífero são

mostradas na tabela 2.



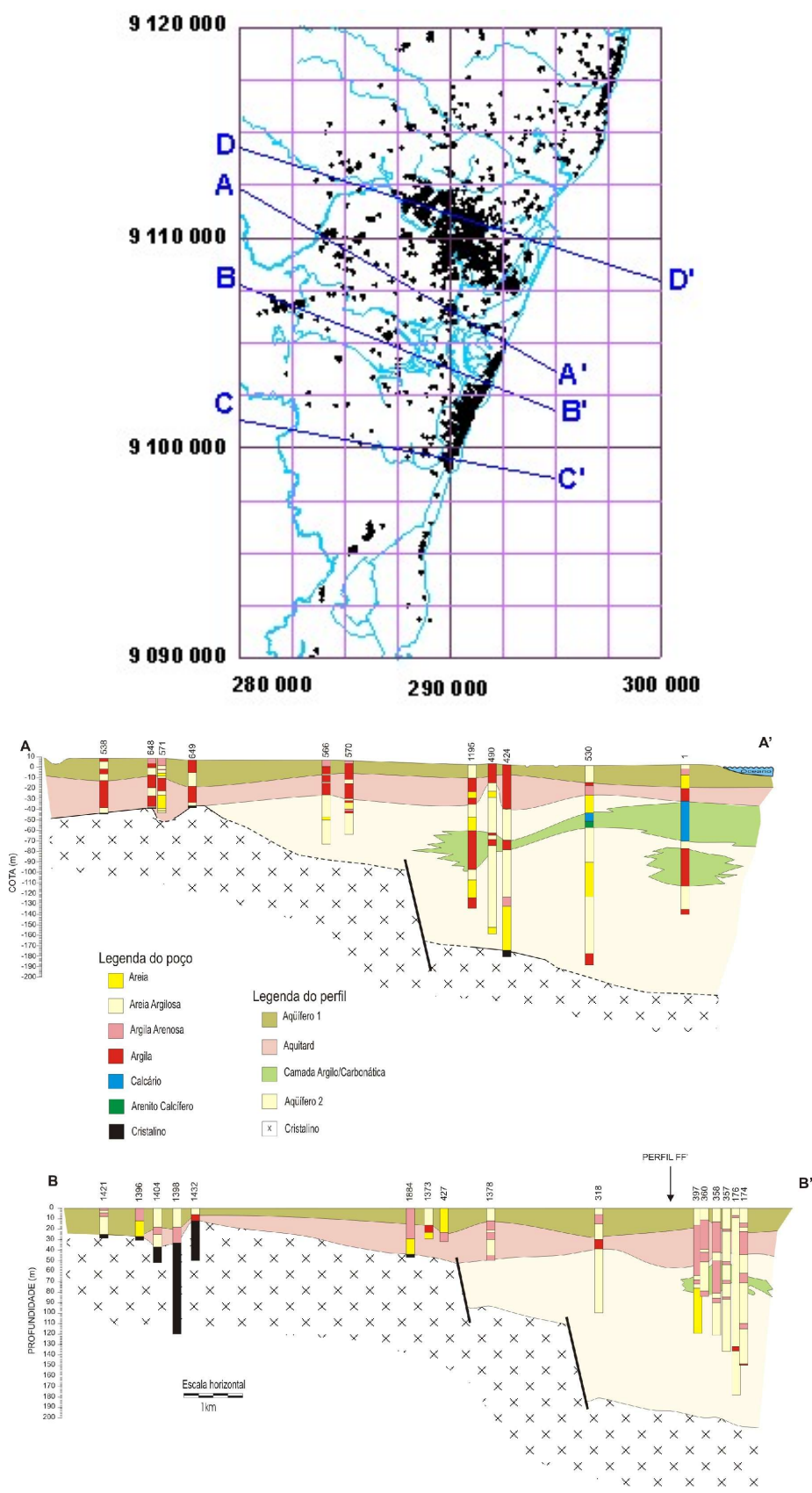
Figura 2: Localização da área estudada.

Tabela 2: Principais características dos aquíferos estudados (Costa et al. 1998)

Parâmetros	Características	
	Boa Viagem	Cabo
Granulometria dos sedimentos	Alternância de areias e argilas	Predom. Arenitos argilosos
Permeab. e condutiv. hidráulica	Baixa a elevada	Média a baixa
Transmissividade	Baixa a média	Regular
Coef. de armaz. ou porosidade eficaz	Baixa a elevada	Regular
Vazões	Média a elevada (17 m³/h)	Inferiores a 10 m³/h
Vazões específicas	Elevada (4,5 m³/h.m em média)	Baixas (< 1 m³/h.m)

Por apresentar maior número de poços, maior exploração de água e estar junto à costa, foram escolhidos os bairros do Pina e Boa Viagem em Recife, além do bairro da Piedade em Jaboatão dos Guararapes como área objeto do estudo. Nesta área, em estudos anteriores, foram definidas com base na concentração de poços, seções perpendiculares à linha de costa, as quais através dos perfis geológicos fornecidos pelas empresas perfuradoras, tiveram sua geologia representada em cortes, mostrados na figura 3.

Analisando os dados do monitoramento da condutividade elétrica realizado pelo projeto de Dinâmica e Evolução da Salinização Marinha nos Aquíferos da Região Metropolitana do Recife (Montenegro et al., 2000; Montenegro et al. 2002), desenvolvido pelo Grupo de Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, foi possível definir os pontos críticos da área monitorada onde os valores médios obtidos eram maiores que o valor usualmente aceitável de 0,7 mS/cm. Para este estudo foi escolhida a seção A-A’ a qual encontra-se próxima aos pontos críticos identificados no monitoramento conforme visto na figura 4.



**Figura 3: a) Seções definidas em estudos anteriores (os pontos pretos representam poços cadastrados)
b) Perfis das seções A-A' e B-B'.**

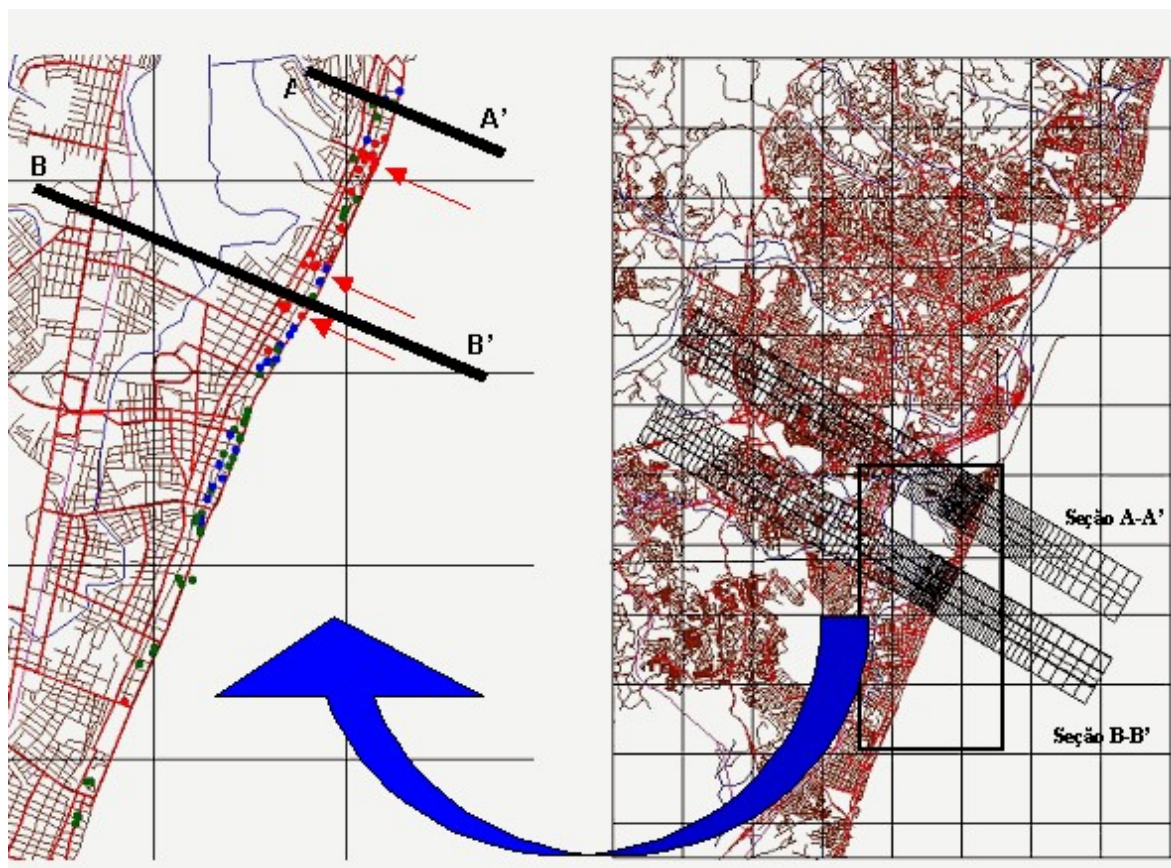


Figura 4: Áreas críticas (os pontos em vermelho representam poços com valores médios de condutividade elétrica maiores que 0,7 mS/cm) e malha das seções A-A' e B-B'.

Modelo conceitual e modelo matemático

Para a modelagem computacional foi definido como modelo conceitual composto de uma malha de nós que abrange 15 Km sendo 5 Km no mar e 10 no continente. A malha é composta por 3 colunas de 500 m de largura e 100 linhas com dimensões variando de 50 a 500 m de distância (figura 4).

Baseado no modelo conceitual composto pela malha de nós e os dados dos poços localizados na área modelada, foi escolhido um modelo computacional adequado para gerar as simulações de cenários. O modelo escolhido foi o SHARP versão 1.1 de 10/05/99 desenvolvido pela USGS - United State Geological Survey.

O SHARP é um modelo de diferenças finitas quasi-tridimensional, escrito na linguagem FORTRAN 77, que simula o fluxo de água doce e água salgada, separada por uma interface, no sistema aquífero costeiro. O modelo utiliza múltiplos aquíferos, separados por camadas confinantes, livres, ou semi-confinantes (Essaid, 1990).

Este programa requer todos os parâmetros típicos de entrada dos modelos de fluxo de águas subterrâneas. O conjunto de informações necessárias para especificar as condições iniciais depende do tipo de simulação. O modelo pode ser inicializado de duas maneiras: como uma nova simulação ou como continuação de uma simulação anterior. Existem duas opções para iniciar novas simulações: na primeira opção a carga hidráulica de água doce e a elevação da interface devem ser especificadas e são usadas para cálculo da carga hidráulica da água salgada; para a segunda opção, apenas as cargas iniciais são necessárias e a elevação da interface é calculada pelo programa. Para simulação contínua, o usuário utiliza o resultado da simulação anterior e insere o valor de carga hidráulica da água doce, posição da interface e os fatores de projeção da interface, para determinação dos novos valores de topo e base da interface.

Os limites sem fluxo são especificados utilizando nós inativos indicados por condutividade hidráulica zero. Para blocos não confinados no aquífero superior, a constante de fluxo pode ser especificada pela recarga. Para todas as camadas, o bombeamento pode ser usado para especificar um fluxo constante. O valor de bombeamento positivo representa extração de água no bloco e um valor negativo adição de água no bloco.

O modelo conceitual (Figura 5) foi definido como sendo quasi-tridimensional, que simula uma seqüência de aquíferos superpostos com intercalações de outras camadas semipermeáveis. Por estarmos estudando seções, as células das colunas das extremidades são inativas, têm apenas a função de impedir a influência do fluxo lateral. Na região onde provavelmente está a interface, a malha é refinada por células de comprimentos menores. À leste a malha faz fronteira com o mar e ao oeste, o aquífero Cabo com o embasamento cristalino e o aquífero Boa Viagem com o aquífero Barreiras.

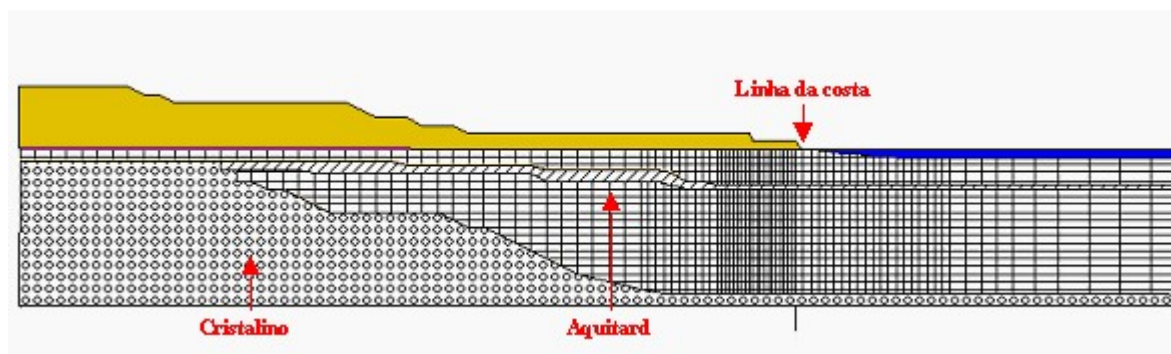


Figura 5: Modelo conceitual da seção A-A', a hachura de bolas representa o cristalino e a hachura de linhas inclinadas o aquítard.

Como condições de contorno foram consideradas: para a base do sistema a condição de fluxo nulo, uma vez que a base do aquífero Cabo é uma camada rochosa impermeável; para a fronteira à leste com o mar, carga constante e para a fronteira à oeste fluxo dependente da carga. Para o topo do modelo duas características foram consideradas: na parte continental a condição atribuída é de fluxo constante através de recarga; e sobre o mar carga constante. Os dados de topo, base e potencimetria dos aquíferos, foram obtidos de estudos e pesquisas realizadas anteriormente (Monteiro, 2000). Os valores dos principais parâmetros utilizados são mostrados na tabela 3.

Tabela 3: Valores dos principais parâmetros utilizados.

Definição	Unid.	Valores	
		B. Viagem	Cabo
Condut. Hidrául. de água doce na direção X	m/s	1,07E-03	1,00E-05
Condut. Hidrául. de água doce na direção Y.	m/s	1,07E-03	1,00E-05
Armazenamento específico de água doce deve ser negativo nos nós de carga constante.	m-1	1,00E-01	1,14E-06
Armazenamento específico de água salgada deve ser negativo nos nós de carga constante.	m-1	1,00E-01	1,14E-06
Porosidade	%	10	7

Simulações

Como o modelo numérico fornecido pela USGS é compilado com número máximo de células da malha em 20 linhas, 25 colunas e 3 camadas, para que o modelo suportasse a malha definida no modelo conceitual com 100 linhas, foi necessário alterar o código fonte escrito na linguagem FORTRAN 77 e compilá-lo novamente. Também se tornou necessário alterar o número máximo de iterações, uma vez que, na versão original apenas 200 iterações são permitidas. Como foram utilizados períodos de tempo de 1 mês entre cada iteração, em apenas 17 anos a simulação seria interrompida por exceder o número máximo.

Com o objetivo de determinar a posição inicial da interface que existia anteriormente à exploração dos aquíferos, foram realizadas simulações com vazões de bombeamento nulas, que representam condições anteriores ao início da exploração do aquífero. A geometria, condições de contorno, parâmetros hidrodinâmicos e potencimetria dos aquíferos foram baseadas no estudo de Monteiro (2000). Adotou-se a interface inicial em uma posição hipotética e executou-se o modelo computacional até atingir uma posição de equilíbrio. Para a recarga foram adotados os valores

de 15 mm/mês e 30 mm/mês, respectivamente 7,5% e 15% da média pluviométrica mensal. Nas figuras 6 e 7 são mostrados resultados de simulações com os valores de recarga adotados.

Na figura 6, para a condição de recarga de 15 mm/mês, a linha verde representa a interface inicial hipotética, ou seja, escolhida aleatoriamente, a linha azul representa o cenário para 30 anos de simulação, a linha vermelha 50 anos, e a linha magenta representa a posição de equilíbrio encontrada pelo modelo computacional com 75 anos de simulação. Percebe-se que a posição estimada para o aquífero Cabo foi muito próxima da encontrada no equilíbrio, já no aquífero Boa Viagem houve um movimento no sentido contrário ao continente, indicando que a interface inicial encontrava-se originalmente mais afastada da costa.

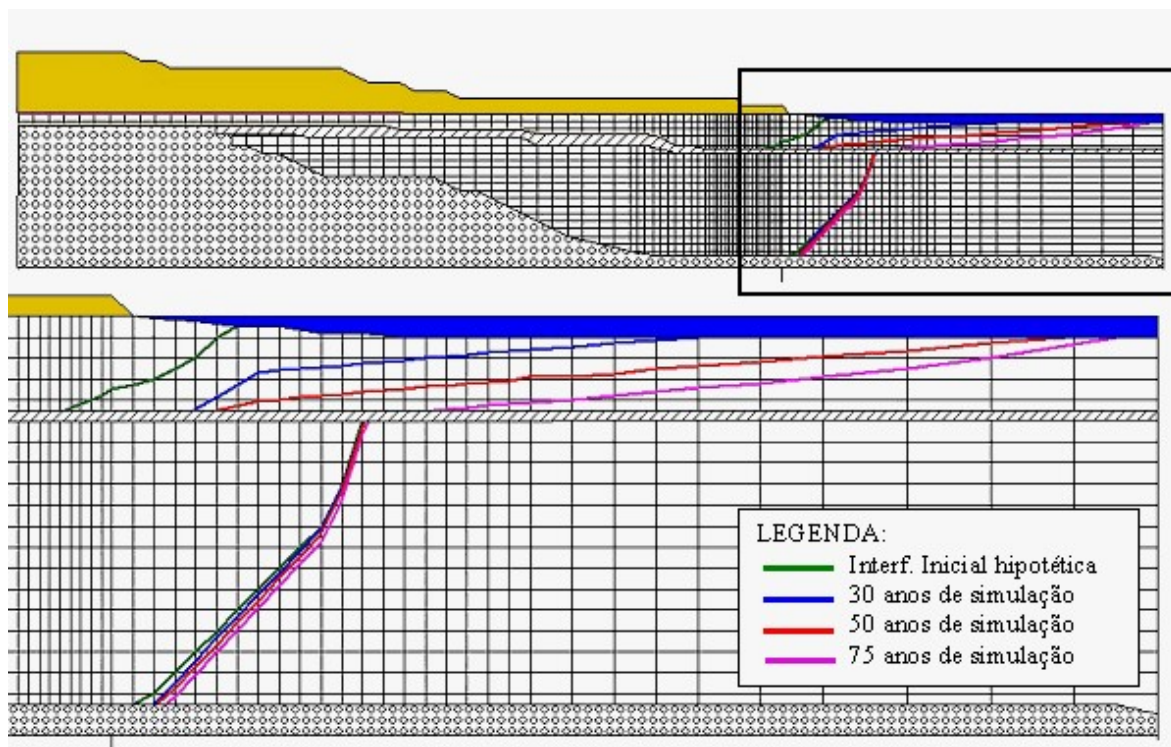


Figura 6: Resultado da simulação da interface inicial de equilíbrio para recarga de 15 mm/mês.

Na figura 7, para a condição de recarga de 30 mm/mês, a linha verde representa a interface inicial hipotética, ou seja, escolhida aleatoriamente, a linha azul representa o cenário para 30 anos de simulação, a linha vermelha 50 anos, e a linha magenta representa a posição de equilíbrio encontrada pelo modelo computacional com 96 anos de simulação.

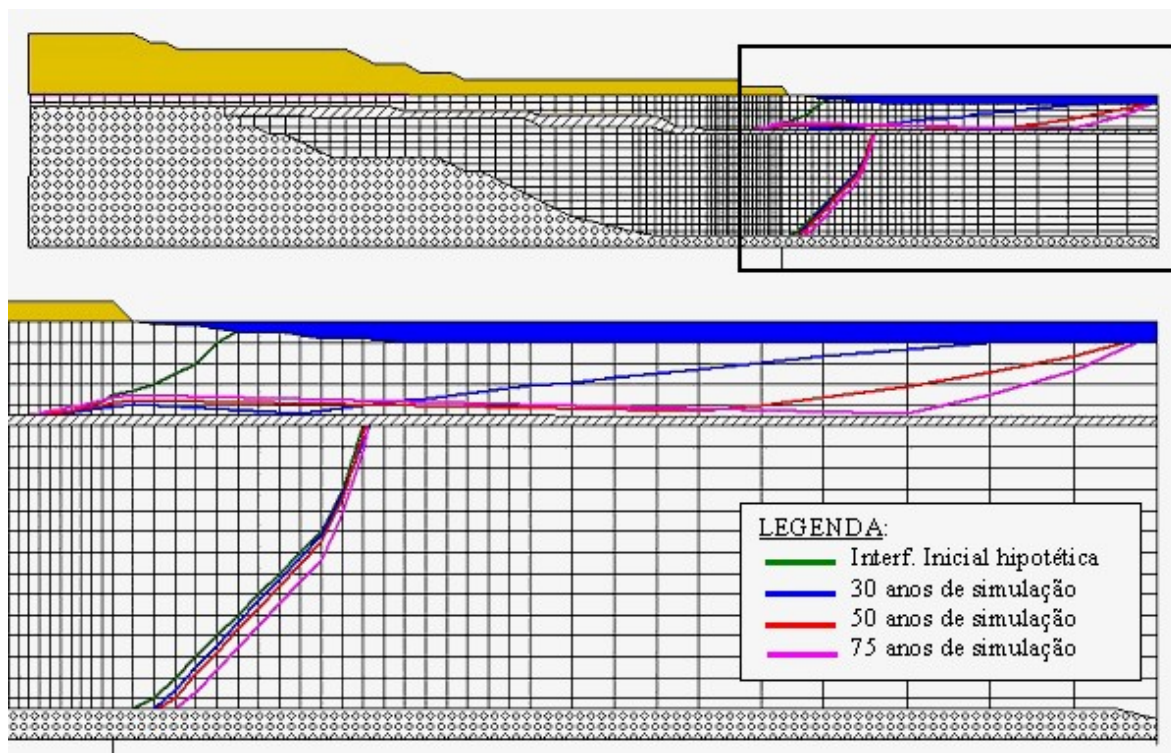


Figura 7: Resultado da simulação da interface inicial de equilíbrio para recarga de 30 mm/mês.

Percebe-se que para uma recarga maior, o avanço da interface no aquífero Boa Viagem ocorre com maior velocidade, porém o equilíbrio só é alcançado com 96 anos de simulação. A posição encontrada no equilíbrio é mais afastada da linha da costa, o que é coerente, pois, com maior recarga é maior a pressão da água doce e menor o avanço da cunha salina.

Com a suposta posição inicial definida, partiu-se então para a aquisição de dados de bombeamento cujas vazões de bombeamento foram inicialmente obtidas através do sistema de informações de poços GIAREC (Cabral et al., 2000), e somadas a estas uma vazão estimada por célula, obtida pela suposição do número de quadras de ruas de cada célula, os quais possuíam um número de poços, que por sua vez extraíam uma vazão média de 5 m³/h e que somados representavam a vazão extraída daquela célula. A vazão por célula varia de acordo com o tamanho da célula, a região onde se encontra e a densidade populacional da área. Os poços cadastrados pelo GIAREC e utilizados neste estudo podem ser vistos na figura 8.

Com a apuração dos dados de bombeamento foram simulados cenários para 10, 20 e 50 anos de bombeamento na seção A-A' (figuras 9 e 10). Verificou-se que o avanço da cunha salina ocorreu com taxas diferentes em cada aquífero, sendo o avanço maior no aquífero superior. Observa-se ainda que para o tempo mais longo a interface no aquífero Boa Viagem sofre uma elevação excessiva devido ao bombeamento.

Resultados

Nas figuras 9 e 10, a linha magenta representa a posição de equilíbrio encontrada pelo modelo computacional, a linha verde representa o cenário para 10 anos com bombeamento constante, a linha azul representa o cenário para 20 anos e a linha vermelha 50 anos.



Figura 8: os pontos pretos são os poços cadastrados cujos dados de vazão foram utilizados neste estudo.

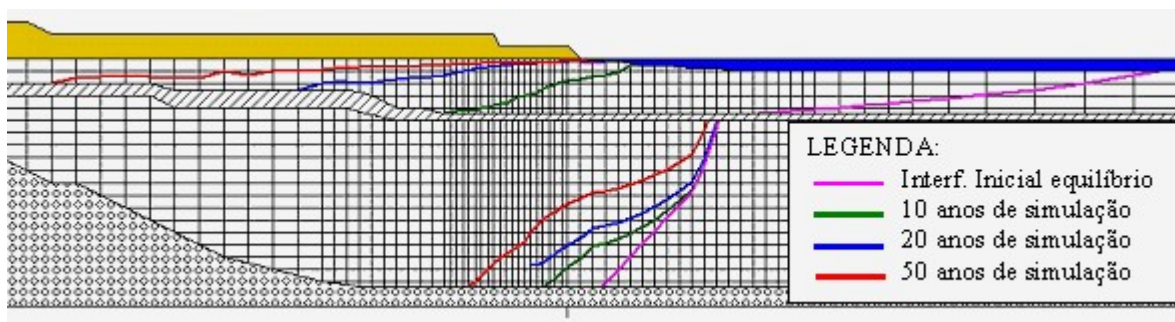


Figura 9: Simulação de cenários para 10, 20 e 50 anos com recarga de 15 mm/mês.

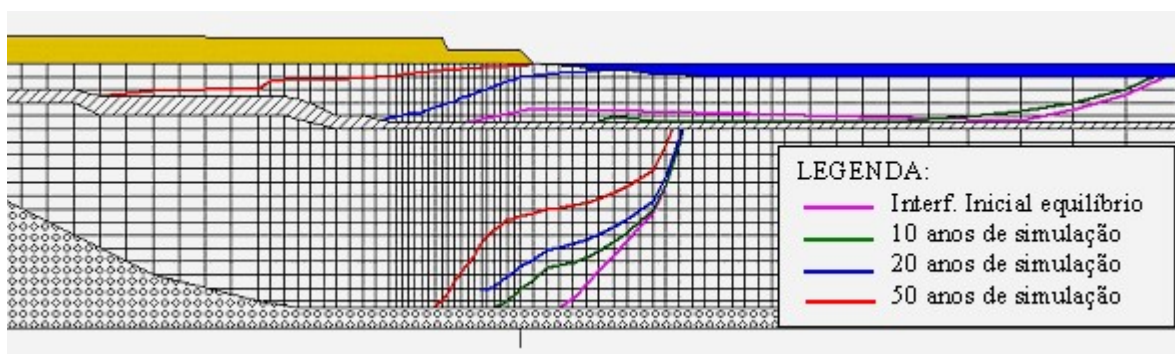


Figura 10: Simulação de cenários para 10, 20 e 50 anos com recarga de 30 mm/mês.

Considerando a recarga de 30 mm/mês observa-se que para o cenário simulado com recarga maior, há uma forte diferença de comportamento nos primeiros 10 anos para o aquífero livre. Já a partir dos 20 anos os cenários não diferem muito. No aquífero confinado ocorre o inverso, nos primeiros 20 anos o comportamento em ambos é similar, porém com 50 anos a interface apresenta-se mais inclinada para o cenário com maior recarga.

Uma outra situação estudada foi a de realizar simulações com os mesmos parâmetros, porém com a injeção de água nos aquíferos. Foram inseridos aos dados de bombeamento 4 poços com vazão negativa que representa injeção, todos com vazão de 50 m³/h. Dois poços, um na célula 50 com profundidade de 20 a 25m e outro na célula 55 com profundidade de 30 a 35 m, injetam água no aquífero Boa Viagem. Outros dois, um na célula 60 com profundidade de 150 a 155 e outro na célula 70 com profundidade de 160 a 165, injetam água no aquífero Cabo. No resultado da simulação, mostrado na figura 11, observa-se que houve um recuo da interface no aquífero Cabo, porém, no aquífero Boa Viagem a interface continuou avançando.

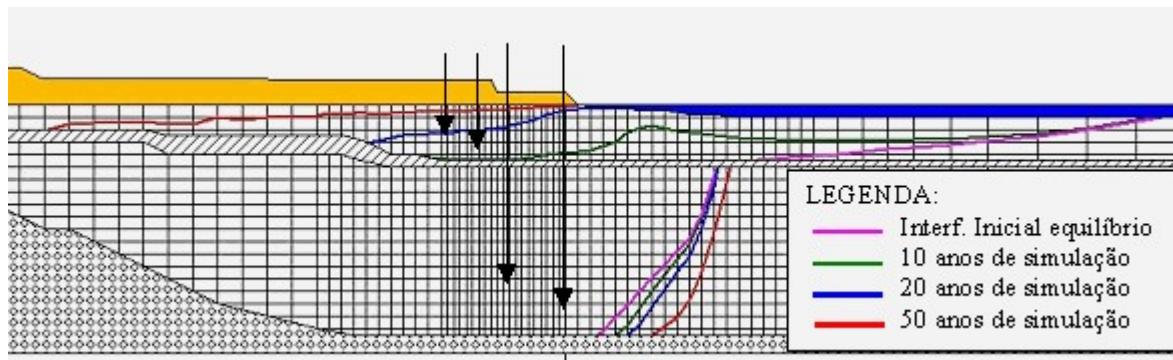


Figura 11: Simulação de cenário para 10, 20 e 50 anos com recarga de 15 mm/mês e injeção de 50 m³/h em quatro poços indicados pelas setas.

Na figura 11, para um cenário com poços injetando água, a linha magenta representa a posição de equilíbrio encontrada pelo modelo computacional, a linha verde representa o cenário para 10 anos com bombeamento constante, a linha azul representa o cenário para 20 anos e a linha vermelha 50 anos.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos devem ser entendidos como informações quantitativas de comportamento da interface, visto que há necessidade de um melhor conhecimento da camada semi-confinante para extrair informações mais precisas do ponto de vista quantitativo.

Pode-se afirmar que as atuais taxas de bombeamento estão muito elevadas e a interface salina tende a avançar gradativamente em direção ao continente. O monitoramento de algumas dezenas de poços, que vem sendo feito em pesquisa realizada na UFPE, indica a salinização de alguns poços, embora a salinização não seja generalizada.

Não se pode afirmar que o avanço da cunha é a causa da salinização dos poços, mas o risco existe. Alguns hidrogeólogos têm afirmado que o avanço da cunha não ocorreu ainda e que a salinização tem ocorrido devido à contaminação vertical acarretada por problemas construtivos dos poços.

Novas simulações devem ser realizadas analisando a sensibilidade do modelo à recarga por águas pluviais, bem como a influência da camada semi-confinante entre os aquíferos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o PADCT/FINEP e CT-HIDRO/CNPq pelo financiamento da coleta de dados de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACQUAPLAN estudos e projetos ltda. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Região Metropolitana do Recife. Volume III – Recursos Hídricos Subterrâneos. 1979.
2. CABRAL, J. J. S. P.; SANTOS, S. M.; DEMÉTRIO, J. G. A. e MONTENEGRO, S. M. G. L. A groundwater information systema for Recife Metropolitan Region, In Management Information System, edited by C. A. Bubbia and P. Pascolo, WIT Press, Southampton, 2000.
3. CONTECNICA. Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição Hídrica, Volume 7 – Disponibilidade e

- Situação de Mananciais para abastecimento da RMR. Recife, PE, 1998.
4. 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.
 5. 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.
 6. ESSAID, H. I. The Computer model, a quasi-Three dimensional finite difference model to simulation fresh water and salt water flow in layered coastal aquifer system: Water Resources investigations Report 90-4130, 1990
 7. FEITOSA, F. e MANOEL FILHO, J. Hidrogeologia Conceitos e Aplicações. CPRM. 2ª Edição, 2000.
 8. IBGE. Censo Demográfico. 2000.
 9. Instituto Nacional de Meteorologia. www.inmet.gov.br.
 10. MONTEIRO, A.B. Modelagem de Fluxo subterrâneo nos aquíferos da planície do Recife seus encaixes, Dissertação de Mestrado UFPE, 2000.
 11. 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. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Fortaleza, CE, 2000.
 12. MONTENEGRO, S. M. G. L., MONTENEGRO, A. A. de A., CABRAL, J. J. S. P., DEMÉTRIO, J. G., MANOEL FILHO, J., LIMA, E. S. de, MATOS, E., PAIVA, A. Groundwater salinity in the Cabo Aquifer in Recife Coastal Plain, Pernambuco, Brazil. XXXII IAH & ALHSUD Congress – Groundwater and Human Development. Mar Del Plata, Argentina. CD-ROM. 2002.
 13. USGS. United State Geological Survey. www.usgs.org.