

DINÂMICA E EVOLUÇÃO DA SALINIZAÇÃO NO AQUÍFERO CABO, PLANÍCIE DO RECIFE (PE)

Montenegro, S. M.G. L¹.; Montenegro, A. de A.² ; Lima, E. S.; Demétrio, J. G. A.³;
Cabral, J. J. S. P.⁴ ; Manoel Filho, J.⁵ ; Gomes, S. V.⁶; Barbalho Jr., C. G. P.⁶ &
Lafayette, K. P⁷

Resumo- Programa de monitoramento sistemático vem sendo desenvolvido na faixa costeira da Região Metropolitana do Recife (RMR), a qual apresenta problemas de rebaixamento potenciométrico elevado, bem como incremento dos teores de sais dissolvidos nas águas captadas em vários poços condominiais. A geologia da RMR é composta por duas grandes unidades: a) Embasamento Cristalino e b) Cobertura Fanerozóica. O aquífero Cabo, objeto do presente estudo, encontra-se no Domínio da Planície do Recife, que inclui ainda os aquíferos Beberibe e Boa Viagem. Considerando todas as campanhas de campo em 1999, a correlação entre Cl⁻ e condutividade elétrica foi de 0,71, enquanto que a correlação entre Ca⁺² e a condutividade elétrica foi de 0,79, e a correlação entre Na⁺ e condutividade elétrica foi de 0,88. Analisando-se a variabilidade espacial da condutividade elétrica ao longo da linha de costa, a aproximadamente 150m do contorno de praia, pode-se notar uma tendência de seu crescimento à medida que se aproxima da bacia do Pina, região de estuário. Durante o período de monitoramento, pode-se notar evolução temporal das concentrações, particularmente na região supracitada. Diante da atual exploração, o sistema apresenta sinais de degradação, requerendo urgente implantação de um gerenciamento integrado considerando águas superficiais e subterrâneas, de modo a controlar o avanço da salinização.

¹ Prof. Adjunto. Departamento de Engenharia Civil. UFPE. Av. Acad. Hélio Ramos, s/n. Cidade Universitária. Recife, PE. CEP. 50670-530. Fone: (081) 271 8223. Fax: (081) 271 8219. E- mail: smglm@npd.ufpe.br.

² Prof. Adjunto. Departamento de Tecnologia Rural. UFRPE. Av. Dom Manoel de Medeiros. Dois Irmãos. Recife, PE.

³ Prof. Adjunto. Departamento de Engenharia de Minas. UFPE. E- mail: geilsonad@npd.ufpe.br.

⁴ Prof. Adjunto. Departamento de Engenharia Civil. UFPE. E-mail: jcabral@npd.ufpe.br.

⁵ Prof. Adjunto. Departamento de Engenharia de Minas. UFPE. e- mail: jmfilho@elogica.com.

⁶ Alunos de graduação do curso de Agronomia da UFRPE. Bolsistas PET/CAPES.

⁷ Bolsista FINEP/PADCT. UFPE.

Palavras-chave - Salinização; hidroquímica; Região Metropolitana do Recife.

INTRODUÇÃO

Um dos problemas relacionados à qualidade das águas subterrâneas que merece destaque no gerenciamento de aquíferos costeiros é o risco do aumento do teor de sais, ou a salinização.

Aquíferos costeiros podem apresentar muitas vezes problemas de salinização, seja em decorrência de intrusão da água do mar, ou em consequência de fenômenos de drenança vertical de domínios subterrâneos. A exploração excessiva de água doce, para abastecimento público e industrial é um dos fatores que podem provocar o aumento do teor de sais de origem marinha por efeito de intrusão da água do mar. Além do mar, podem ser citadas outras fontes de salinização como rios salinizados, mangues ou ainda águas antigas que tenham-se acumulado em períodos pretéritos de transgressão ou regressão marinha.

O aumento do teor de sais nos aquíferos da região metropolitana do Recife (RMR) tem sido uma preocupação constante para a preservação da qualidade da água no sistema aquífero. Isto porque este sistema constitui uma das mais importantes fontes para o abastecimento público, o que vem provocando o rebaixamento dos níveis potenciométricos com a consequente inversão dos gradientes hidráulicos que induz o fluxo do mar em direção ao continente. 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. Além da super-exploração, o uso e ocupação do solo, feitos de maneira inadequada, e a má construção de poços privados, podem levar à contaminação das águas subterrâneas.

Estudos anteriores 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 lenta mas continuamente em direção à costa, necessitando no entanto de aprofundamento da análise ao longo do tempo (França et al., 1987; Cabral e Cirilo, 1987).

Na Planície de Recife tem sido constatada a salinização dos aquíferos Cabo e

Beberibe em diversos poços, havendo a ocorrência de certos trechos desses aquíferos em que o teor de sal é bastante elevado. No entanto, acredita-se que não tenha havido ainda o avanço generalizado da cunha salina, mas que o problema seja devido à contaminação vertical, proveniente das camadas superiores salinizadas de antigos mangues, ou proveniente do estuário dos rios Capibaribe, Beberibe e Tejió 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.

O presente trabalho apresenta os resultados parciais de um projeto do PADCT III que tem como meta a identificação dos processos hidrogeológicos de salinização da água do sistema aquífero na RMR.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

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 no 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. A Bacia Pernambuco caracteriza-se por sua evolução tipo “rift” durante o Cretáceo Inferior, tendo como sedimentos basais conglomerados, arcósios e argilitos da Formação Cabo sobrepostos aos riolitos da suite vulcânica Ipojuca. A sedimentação intermediária da bacia é caracterizada por sedimentos carbonáticos de plataforma marinha rasa da Formação Estiva. A Formação Algodoads é formada por conglomerados e arcósios depositados em ambiente de leque aluvial.

Os sedimentos basais da Bacia Paraíba são representados por uma seqüência sedimentar continental (arenitos, arenitos carbonáticos e siltitosossilíferos) pertencentes à Formação Beberibe, de idade cretácica superior (Campaniano). Sobrepondo-se aos sedimentos da Formação Beberibe, estão os sedimentos plataformais (calcarenitos e calcáriosossilíferos) da Formação Gramame, também estes do Cretáceo Superior (Maastrichtiano). Os sedimentos superiores da Bacia Paraíba são predominantemente carbonáticos (calcários margososossilíferos) de idade oligocênica (Terciário).

A sedimentação terciária culmina com a deposição de areias e argilas da Formação Barreiras (Plioceno) que recobre mais de 50% da área norte da RMR. Os sedimentos quaternários da Planície do Recife incluem depósitos praias, fluvio-lagunares, de mangues e aluvionares, sendo constituídos por areias, arenitos de praia, siltitos, argilas e argilas com matéria orgânica.

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 Planície do Recife, encontram-se os aquíferos Cabo, Beberibe e Boa Viagem. O aquífero Cabo, objeto do presente estudo, encontra-se no Domínio da Planície do Recife, ao sul do lineamento Pernambuco. 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.

Apesar de suas características hidrogeológicas serem inferiores aquelas do aquífero Beberibe (Costa et al. 1998), o aquífero Cabo vem sendo bastante explorado devido ao já mencionado déficit no fornecimento de água pela COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento), por conta do colapso dos mananciais de superfície. Esta super-exploração desordenada acarreta fluxo vertical que pode causar salinização do aquífero (Costa et al. 1998). A Figura 1 apresenta mapa geológico da RMR.

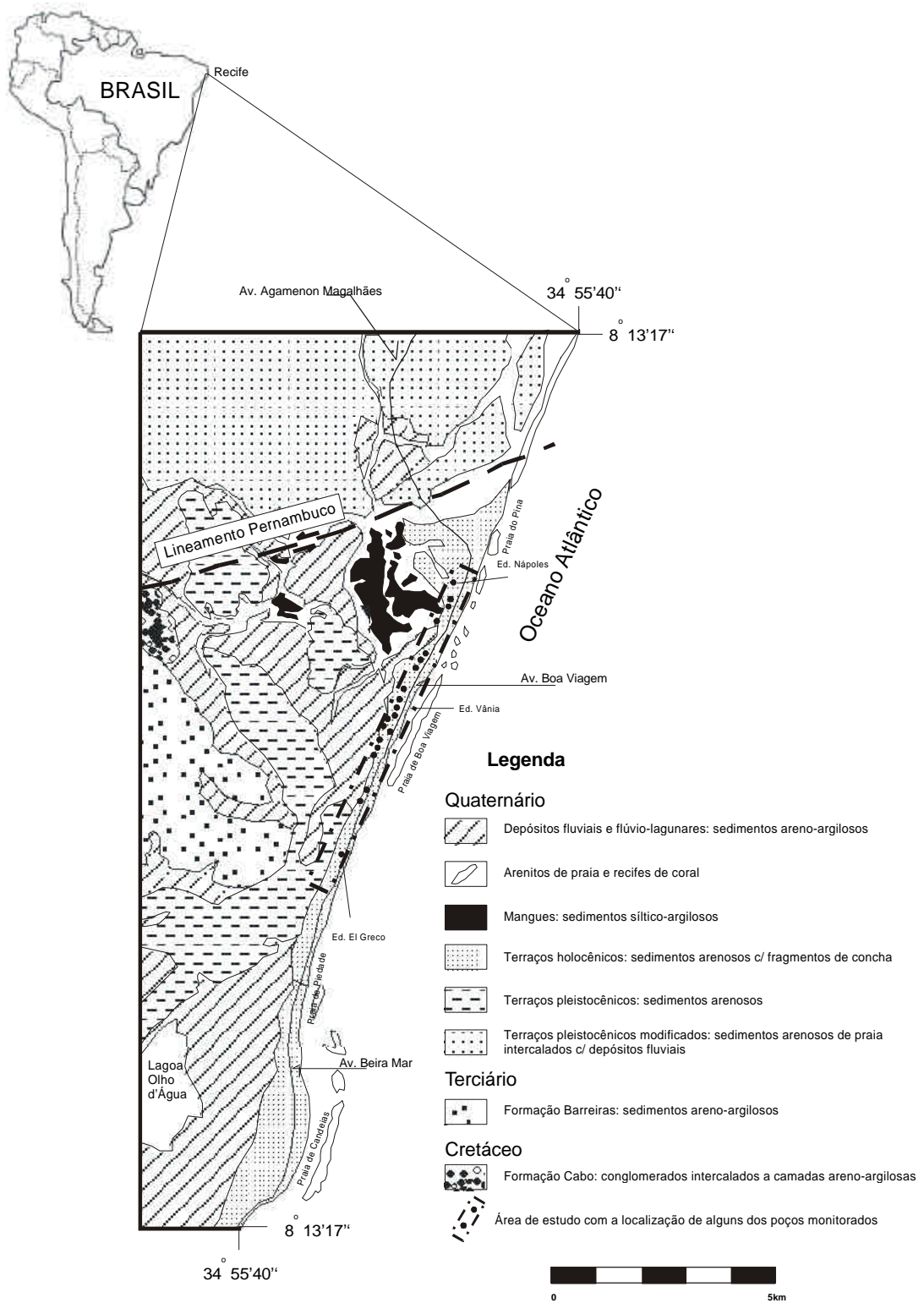


Figura 1. Mapa Geológico de parte da Região Metropolitana do Recife (Alheiros,1998) com localização da área de estudo.

METODOLOGIA

Para investigação da origem e dinâmica da salinização no aquífero Cabo, RMR procedeu-se a um programa de monitoramento, incluindo:

- seleção de poços já instalados, preferencialmente os que possuem informações como profundidade, perfis construtivo e litológico, e com localização próxima à linha da costa;
- coleta de amostras de água e determinação em laboratório de sua composição química;
- acompanhamento da evolução temporal da qualidade da água em pontos identificados com tendência ao aumento no teor de sais;
- coleta de amostras para análise de isótopos ambientais.

O monitoramento teve início efetivo em Maio de 1999 e foram realizadas sete campanhas na região metropolitana sul do Recife, que concentra atualmente o maior número de poços perfurados, especialmente próximo à costa. Cinqüenta e um poços vêm sendo monitorados, com frequência individualizada, estabelecida em função da variação da condutividade elétrica e da composição química observada ao longo do tempo, bem como da magnitude desses parâmetros. 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 Figura 2 ilustra esquematicamente a localização de quarenta e um dentre cinquenta e um pontos amostrados. Dos dez poços não incluídos na figura dois estão localizados em zona identificada como de recarga do aquífero Cabo (bairro do Ibura). Dos oito restantes, todos localizados próximo à linha da costa, cinco situam-se em ruas transversais e paralelas à Avenida Boa Viagem (bairros Pina e Boa Viagem, no Recife); um em Sétubal, e dois na Av. Bernardo Vieira de Melo (bairro Piedade, em Jaboatão dos Guararapes). A Tabela 1 apresenta a identificação e profundidades dos poços monitorados.

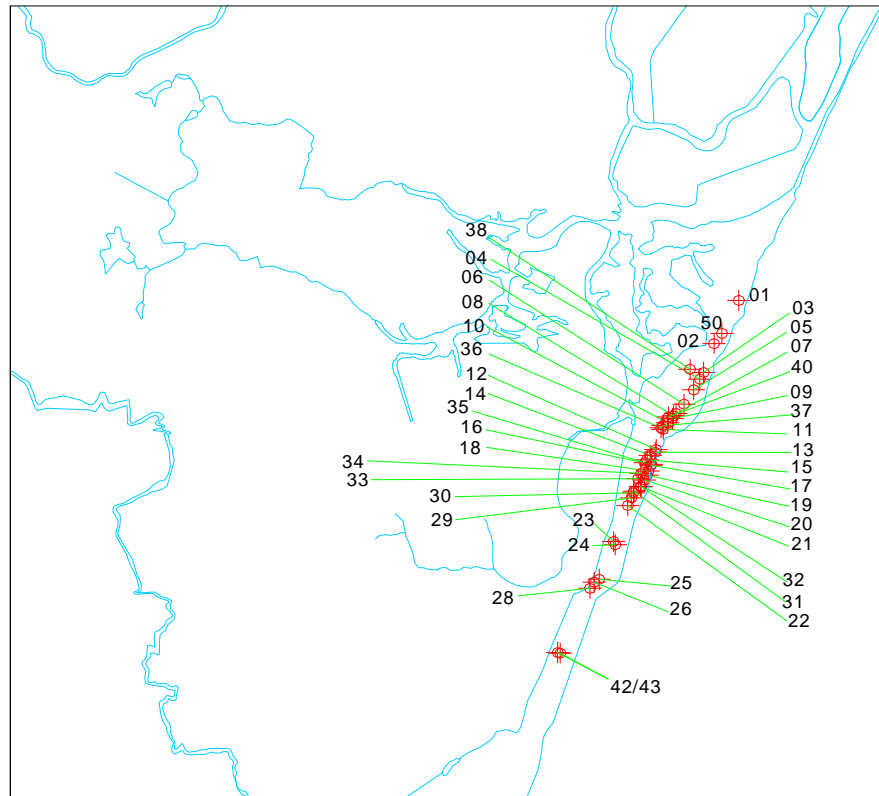


Figura 2. Localização esquemática dos poços amostrados na RMR.

Tabela 1. Localização e profundidade dos poços amostrados na Região Metropolitana do Recife.

No de ordem	Localização	Profundidade (m)	No de ordem	Localização	Profundidade (m)	No de ordem	Localização	Profundidade (m)
1	ABV	50	18	ABV	128	35	NAV	142
2	ABV	180	19	ABV	133	36	NAV	134
3	ABV	141	20	ABV	150	37	NAV	134
4	ABV		21	ABV	143	38	NAV	110
5	ABV	143	22	ABV	158	39	ACA	150
6	ABV		23	ABV	132	40	ACA	135
7	ABV	122	24	ABV	126	41	ABM	
8	ABV	138	25	ABV	140	42	ABM	
9	ABV	120	26	ABV	135	43	ABM	
10	ABV	141	27	ABV	154	44	BVM	
11	ABV	120	28	ABV		45	BVM	
12	ABV	143	29	NAV	151	46	lbura	60
13	ABV	135	30	NAV		47	lbura	60
14	ABV	140	31	NAV	126	48	AM	176
15	ABV	155	32	NAV		49	RA	
16	ABV	142	33	NAV		50	ABV	
17	ABV	132	34	NAV		51	Setúbal	

*ABV: Avenida Boa Viagem (beira-mar da Praia de Boa Viagem); NAV: Rua dos Navegantes (primeira paralela à ABV); ACA: Avenida Conselheiro Aguiar (Segunda paralela à ABV); ABM: Avenida Beira Mar (Praia de Piedade); BVM: Avenida Bernardo Vieira de Melo (primeira paralela à beira- mar na praia de Piedade); AM, RA (ruas transversais à ABV na praia de Boa Viagem). OBS.: Não se dispõe dos perfis dos poços onde não são indicadas as profundidades.

As amostras foram coletadas de acordo com procedimentos do “*Standard Methods for Examination of Water and Wastewaters*” (ALPHA/AWWA/WEF,1992) em garrafas plásticas. Condutividade e pH foram determinados no campo. As amostras coletadas foram armazenadas à 4° C e preservadas quando necessário. A determinação dos elementos traços foi feita usando-se espectrômetro de emissão atômica (ICP/AES), da marca TJA, modelo IRIS/AP, com os seguintes parâmetros operacionais: nebulizador “cross-flow”, pressão do nebulizador, 32 psi; fluxo de argônio para resfriamento, 14l/min; fluxo de argônio auxiliar, 1,5l/min; potência, 1150kW; sistema óptico tipo Echelle.

RESULTADOS

As análises mais detalhadas do ponto de vista químico foram realizadas nas amostras coletadas nos meses Junho, Agosto e Setembro, envolvendo 35 poços.

Considerando todas as campanhas, foram efetuadas 86 análises simultâneas de Cl⁻ e condutividade elétrica. A correlação observada foi de 0,71. A correlação entre Ca⁺² e a condutividade elétrica para 52 amostras coletadas entre Junho e Setembro foi de 0,79. A correlação entre Na⁺ e condutividade elétrica para 56 amostras coletadas no mesmo período foi de 0,88. O íon K⁺ foi analisado apenas nas amostra coletadas na campanha de Agosto. A correlação observada entre esse íon e a condutividade elétrica em um total de 26 amostras foi de 0,70.

Em 16 poços, onde as amostras foram analisadas durante três campanhas sucessivas (Junho, Agosto e Setembro) com relação a Ca⁺², as concentrações tiveram variações de 0,13 a 153,9 mg/l (Junho), 0,07 a 139,1 mg/l (Agosto) e 0,48 a 140 mg/l (Setembro). Nessas mesmas amostras os intervalos de variação para cada um dos meses da concentração de Mg⁺² foi respectivamente de 0,51 a 110,7 mg/l, 0,52 a 94,1 mg/l e 0,66 a 82,3 mg/l. Para o Na⁺ os intervalos correspondentes foram 8,18 a 120 mg/l, 8,85 a 189,1 mg/l e 9,98 a 320 mg/l. Os correspondentes intervalos para a condutividade elétrica são 0,12 a 1,24 mS/cm, 0,17 a 2,95 mS/cm e 0,18 a 2,69 mS/cm. O íon Cl⁻ apresentou intervalo de variação nas mesmas 16 amostras de 15 a 193 mg/l em Junho e de 14 a 212 mg/l em Setembro. A variação do íon K⁺ observada nas amostras coletadas no mês de Agosto foi de 2,99 a 19,59 mg/l. O íon HCO₃⁻ analisado em 28 poços no mês de Agosto variou entre 0 e 307,5 mg/l.

Na campanha do mês de Novembro (5^a) as amostras foram analisadas quanto à concentração de Nitrato. Foram analisadas amostras de 28 poços. Em apenas 4 amostras a concentração foi superior a 10 mg/l. Desses quatro poços, dois, com concentrações de

NO₃⁻ de 43,5 e 71,5 (mg/l), não estão localizados na linha da costa, mas em um bairro da periferia onde é identificada uma das regiões de recarga do aquífero. Nesse bairro não há sistema de esgotamento sanitário implantado e os poços têm profundidade em torno de 60 metros. Os outros dois poços com concentração de NO₃⁻ acima de 10 mg/l são o 37 (profundidade 110m) e 38 (profundidade 134m), com condutividade elétrica em torno de 0,5 e 1,0 mS/cm respectivamente e concentração de cloretos acima de 100mg/l (Poço 37).

Analisando-se a variabilidade espacial da condutividade elétrica ao longo da linha de costa, em alguns poços (38, 40 e 01) a aproximadamente 150m do contorno de praia, pode-se notar (Figura 3) uma tendência de crescimento da condutividade elétrica à medida que se aproxima da bacia do Pina, região de estuário. Durante o período de monitoramento, notar ainda (Figura 3) a evolução temporal das concentrações, particularmente na região supracitada. A Figura 3 ilustra esse comportamento. A sequência denotada por HIDROREC na Figura 3 refere-se a dados coletados por Costa et al. (1998).

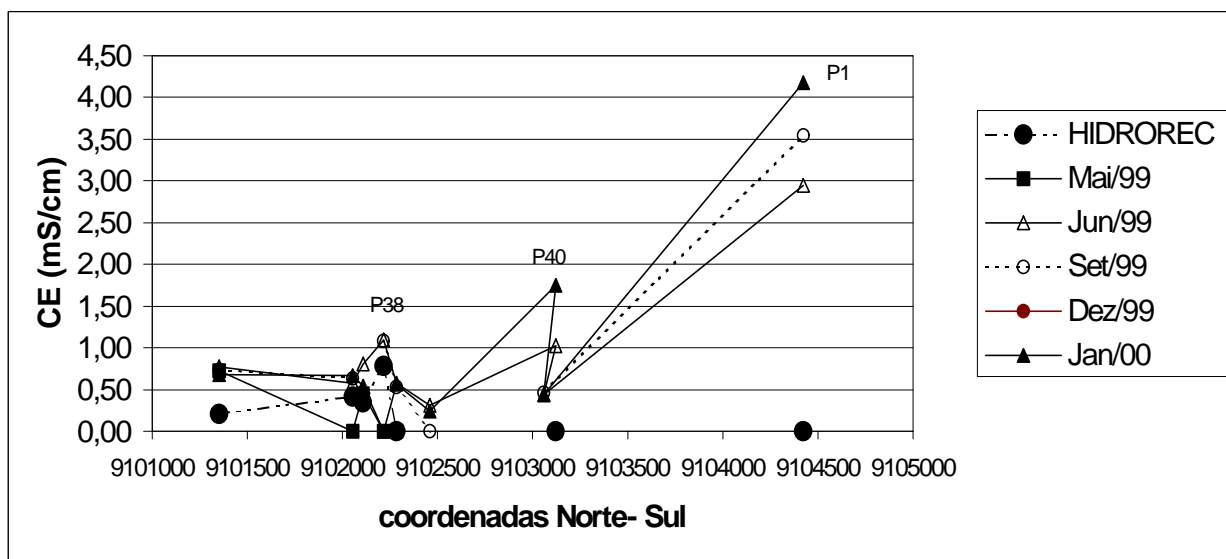


Figura 3. Condutividade elétrica em poços ao longo da linha da costa na região metropolitana do Recife- Sul.

Os valores de Ca⁺² que ultrapassam a faixa de variação usualmente encontrada nas águas subterrâneas, ou seja, valores até 100 mg/l, são observados nos poços 1, e 40. As concentrações de Na⁺ que excedem o limite de 100 mg/l, em geral característico das águas subterrâneas, foram observadas nos poços 1, 10 e 35. Foram detectadas concentrações de cloretos acima de 100 mg/l nos poços 1 (tendência crescente de Junho a Setembro, com decréscimo, ainda acima do limite, no mês de Novembro, voltando a

apresentar crescimento na campanha de Janeiro), 7 e 8(decréscimo no mês de Setembro), 37, 38, 40, 48 a 51.

Selecionando os poços que apresentaram concentrações elevadas de pelo menos um dos íons maiores e da condutividade elétrica nas três campanhas subsequentes onde essas análises foram efetuadas, destacam-se os poços 1, 10, 37 e 40. Pela Figura 4 observa-se que a tendência acentuada de crescimento da condutividade elétrica no poço 1, já destacada anteriormente, é acompanhada pelo crescimento de Na^+ e Cl^- , e em menor escala o Ca^{+2} . O Mg^{+2} apresenta tendência a decréscimo no período analisado.

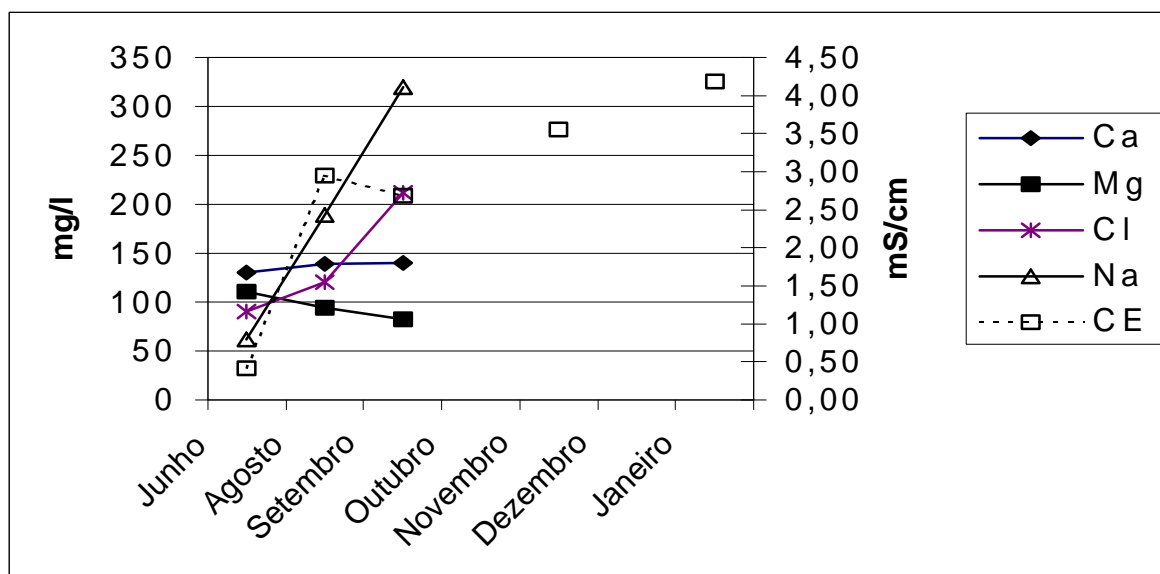


Figura 4. Variação temporal da composição iônica no poço P1.

No poço P10 (Figura 5), o crescimento da condutividade elétrica no período também é acompanhado pelo incremento de Na^+ . Os demais íons apresentaram valores baixos e sem tendência definida no período.

O Cl^- parece ser o ânion que acompanha o crescimento da condutividade elétrica no poço P37, conforme observado na Figura 6, enquanto o Mg^{+2} é o cátion de maior crescimento no período, mas de pequena magnitude. No poço P40 (Figura 7), a dinâmica de variação da condutividade elétrica ao longo dos três meses foi seguida por Cl^- e Na^+ , também em concentrações elevadas.

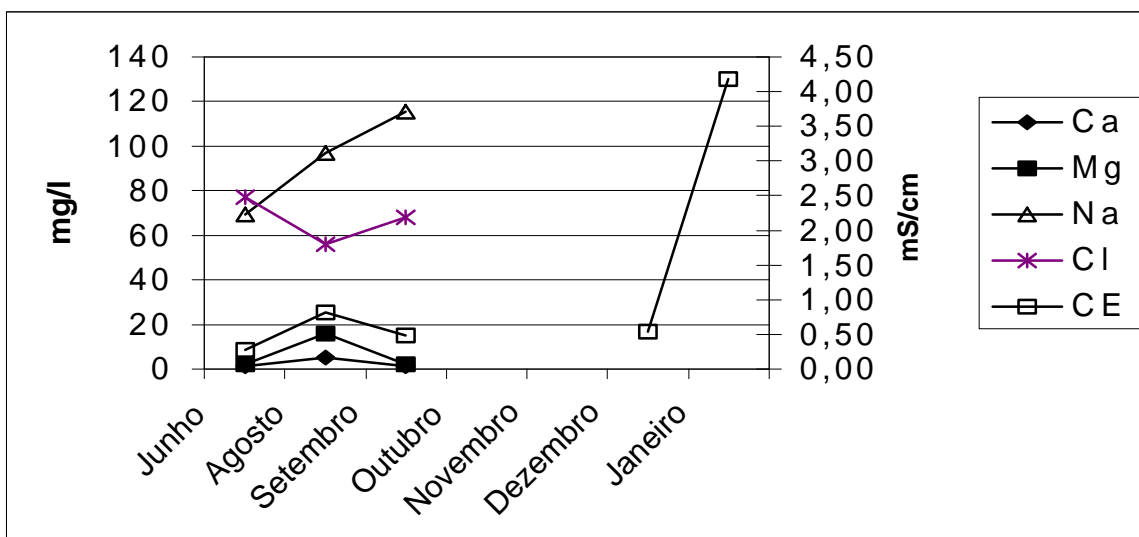


Figura 5. Variação temporal da composição iônica no poço P10.

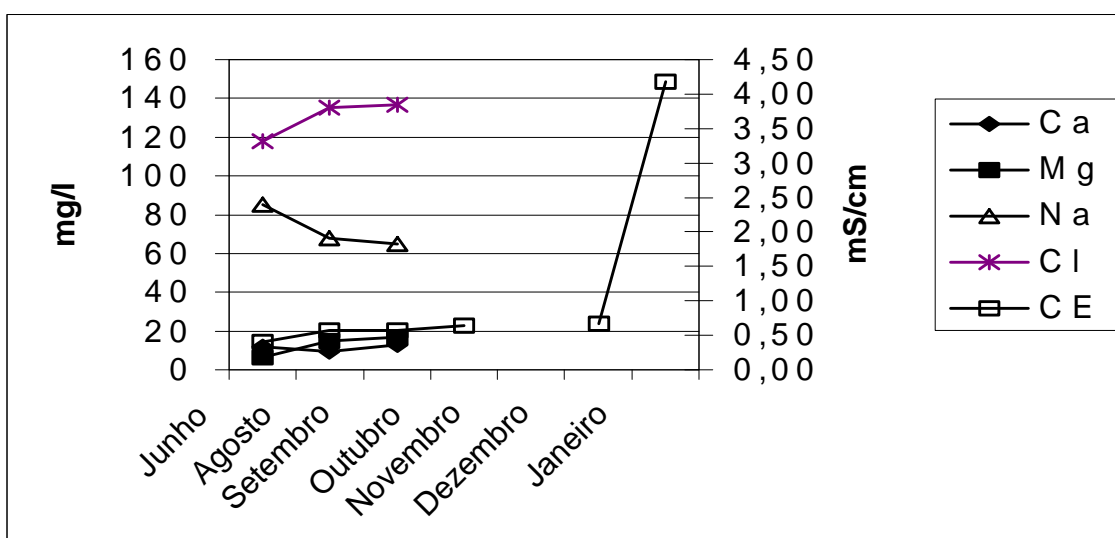


Figura 6. Variação temporal da composição iônica no poço P37.

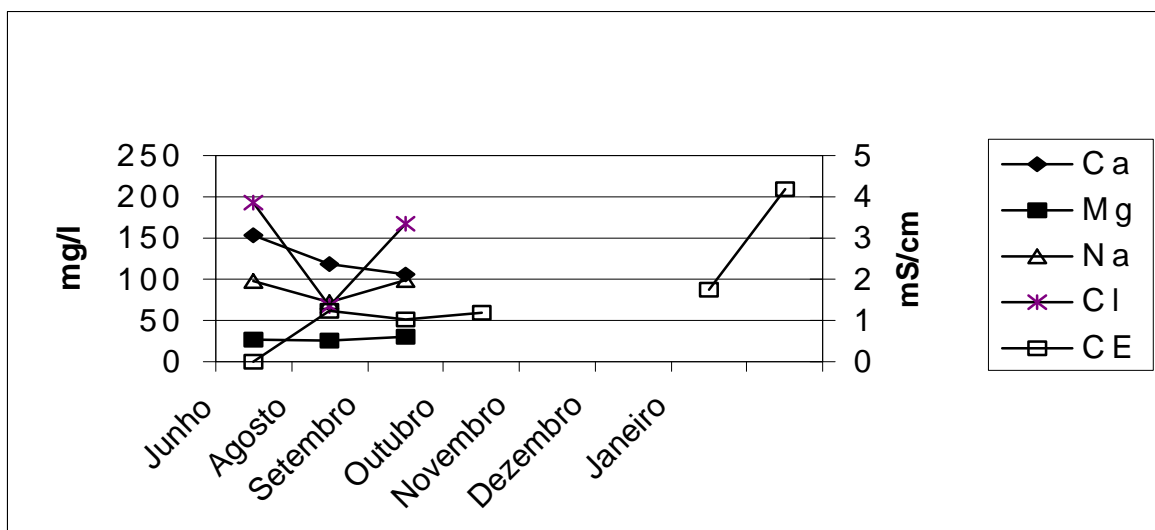


Figura 7. Variação temporal da composição iônica no poço P40.

Além desses poços destacados, os poços 35 e 38 apresentam condutividade elétrica elevada (em torno de 0,5 e 1,0 mS/cm, respectivamente). Os poços 48, 49, 50 e 51 foram incluídos no programa de monitoramento apenas a partir da última campanha por caracterizarem a presença de uma outra “mancha” salina próximo à costa. Ainda não se dispõe de dados que permitam uma análise mais profunda para essa região.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados de razões iônicas de interesse na análise de salinização por intrusão marinha. A razão rMg/rCa observada nas amostras excede o limite superior da faixa de valores usuais das águas continentais (0,3 a 1,5). Custódio e Llamas (1983) destacam que o aumento do conteúdo de cloretos e da razão rMg/rCa pode ser um bom indício de contaminação por água de origem marinha. Água de chuva coletada nesse período apresenta o valor 0,25 para essa razão. Os valores superiores a 1,5 para essa razão correspondem as águas dos poços localizados na beira-mar (ABV, da Tabela 1). Por outro lado, a razão $rCl/rHCO_3$ observada nos poços monitorados apresentou-se dentro do intervalo das águas continentais (0,1 a 5). A razão rK/rNa que apresenta variação usual na água do mar de 0,02 a 0,025, apresentou uma faixa de variação distinta nos poços monitorados.

Tabela 2. Faixa de variação de razões iônicas em três campanhas (números entre parênteses referem- se à quantidade de amostras analisadas).

	Junho	Agosto	Setembro
rCl/rNa	0,14 – 3,15 (16)	0,19 – 2,60 (16)	0,23- 1,88 (21)
rCl/rHCO ₃		0,21- 2,87 (25)	
rK/rNa		0,033 – 0,58 (20)	
rMg/rCa	0,29 – 11,75 (16)	0,35 – 12,18 (18)	0,48 – 11,96 (21)

CONCLUSÕES

Apesar de estudos anteriores terem apontado que a contaminação salina observada em alguns poços é decorrente da má construção dos mesmos que serviriam de conduto hidráulico entre os aquíferos Boa Viagem (superior) e Cabo (inferior), a influência marinha não deve ser descartada. Nesse aspecto, destaca-se que as razões iônicas obtidas no presente estudo não se encontram nas faixas de variação características das águas continentais. Consequentemente, estudos mais detalhados necessitam ser realizados.

Os resultados alcançados, apesar de preliminares, já indicam o impacto desse tipo de estudo como gerador de ferramentas para o gerenciamento do sistema aquífero. A atual crise de abastecimento de água na Região Metropolitana do Recife decorre da falência nos sistemas de superfície. Com a intensificação da exploração do aquífero, este já apresenta sinais de degradação em termos de quantidade e qualidade. Atualmente em condições de super-exploração, este sistema corre ainda o risco de salinização por intrusão marinha. Tudo isso reforça a necessidade da implantação de um gerenciamento integrado considerando águas superficiais e subterrâneas.

Investigação subsequente deve incluir a análise de isótopos ambientais nos poços do programa de monitoramento. O prosseguimento do programa de pesquisa também deverá incluir em etapas subsequentes:

1) Identificação das zonas críticas em relação à salinização:

Na região do centro do Recife e em alguns locais do bairro de Boa Viagem já existem poços salinizados. O mapeamento destes locais que apresentam taxas elevadas de sais ou que apresentam taxas com tendência crescente ajudará a prevenir a propagação das manchas de salinização.

2) Acompanhamento da evolução das manchas de salinização

A direção e a velocidade de propagação dos sais por advecção ou por dispersão são importantes para o planejamento das atividades de controle do avanço da salinização. Por outro lado, a concessão da outorga e/ou licença de exploração a ser implantada no Estado de Pernambuco requer o conhecimento da salinização e de seu avanço.

3) Desenvolvimento e/ou adaptação de programas computacionais para modelagem de salinização

Modelagem computacional constitui uma metodologia valiosa para simulação do comportamento futuro da salinização. De acordo com o cenário planejado de recarga e de bombeamento podem ser analisados os fluxos e as concentrações de sal no aquífero.

AGRADECIMENTOS

Essa pesquisa foi financiada pelo PADCT/FINEP. Os autores agradecem ainda o apoio recebido da UFPE, UFRPE, CPRH (Companhia Pernambucana de Meio Ambiente), COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento), e aos responsáveis pelo acesso aos pontos de monitoramento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALHEIROS, M.M. (1998) Riscos de Escorregamentos na Região Metropolitana do Recife: Mapa Geológico. Tese de Doutorado inédita, IG/UFBA, Anexo IV.
- APHA/AWWA/WEF (1992) Standard Methods for Examination of Water and Wastewaters. 18th Ed., Washington, USA.
- CABRAL, J. J. S. P., CIRILO, J. A. (1987). Salt water- fresh water interface motion in leaky aquifer. Boundary Element Technics, Application in Fluid Flow. Computational Mechanics Publications. Southhampton, UK. 111- 122.
- 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 (1998) Estudo Hidrogeológico da Região Metropolitana do Recife- Relatório Técnico. Vol. I, 116p. Convênio IDRC-UFPE-FADE.
- CUSTÓDIO, E. & LLHAMAS, M.R. (1976) Hidrologia subterrânea. Vol. 2. Ediciones Omega, Barcelona.

- FRANÇA, H. P. M., VASCONCELOS NETO, B. G. M., ANDRÉ, H. O., CIRILO, J. A., CABRAL J. J. S. P. (1987). 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.
- LIMA FILHO, M.F. (1998) Análise Estratigráfica e Estrutural da Bacia Pernambuco. Tese de Doutorado Inédita, IG/USP, 139p.