

CAUSAS DE SALINIZAÇÃO DA ÁGUA DOS POÇOS EM ÁREAS DO RECIFE

Waldir D. Costa¹; Mario A. Valença dos Santos²; Waldir D. Costa Filho³

Resumo – A pesquisa das causas de salinização das águas dos aquíferos em exploração em determinadas áreas da cidade do Recife foi desenvolvida a partir de estudos de perfis elétricos, análises físico-químicas, análises de isótopos naturais e estudos de campo em poços nos quais foram medidas as suas cotas de nível estático a fim de efetuar o mapeamento da superfície potenciométrica. O estudo constatou que a salinização não era causada pela intrusão da cunha salina por ruptura do equilíbrio da interface água doce/água salgada, mas em função da infiltração pelo espaço anelar dos poços mal construídos, de águas salinizadas de paleo-mangues contidos no aquífero superior, de idade recente. O processo foi acelerado em decorrência da super-exploração dos aquíferos da região que promoveram uma inversão de carga hidráulica entre os aquíferos superior e inferior, o primeiro de idade recente e o segundo de idade cretácica.

Abstract – The research of the causes of salinization of waters of aquifers ones in explotation in determined areas of the Recife city was developed from studies of electric profiles, analyses physicist-chemistries, natural isotope analyses and studies of field in wells in which its quotas of static level had been measured in order to effect the mapping of the potenciometric surface. The study it evidenced that the salinization was not caused for the intrusion of the saline wedge for rupture of the balance of the interface water candy/salty water, but in function of the infiltration for the ring space of the wells badly constructed, of salinized water of paleo-fens contained in the water-bearing upper, of the recent age. The process was sped up in result of the superones of the water-bearing ones of the region that they had promoted a hydraulical load inversion between water-bearing the upper/lower one, the first one of recent age and as of cretacic age.

Palavras-Chave – SALINIZAÇÃO, PALEO-MANGUE, INFILTRAÇÃO, POÇOS MAL CONSTRUÍDOS

1 Geólogo, especialista em águas subterrâneas, com mestrado e doutorado em hidrogeologia. Diretor-Presidente da COSTA Consult. e Serv. Técn. e Amb. Ltda. Av.Santos Dumont, 320-Recife/PE.E.mail:wdcosta@ibest.com.br

2 Geólogo, especialista em águas subterrâneas com mestrado em hidrogeologia. Consultor. Endereço:Rua Engenheiro Oscar Ferreira, 101,Apto.1701.Poço-Recife/PE.E.mail:mariovalenca@yahoo.com.br

3 Geólogo, , especialista em águas subterrâneas, com mestrado em hidrogeologia. Técnico da CPRM-Serviço Geológico do Brasil. Endereço: Av.Sul, 2291-Afogados-Recife/PE.E.mail: waldir@re.cprm.gov.br

1 – INTRODUÇÃO

Os estudos realizados no período de agosto/2006 a novembro/2007 na cidade do Recife em duas áreas-piloto tiveram a finalidade de analisar as possíveis causas de salinização da água dos poços em exploração na região.

Em duas áreas selecionadas, foram executados inicialmente, estudos hidrogeológicos para estabelecer os sistemas de fluxo subterrâneo e melhor compreender a evolução da “cunha salina” que vem se desenvolvendo em algumas áreas da região estudada.

Para caracterizar a origem da água que vem sendo explorada em maiores profundidades, no aquífero Beberibe Inferior, foram realizadas análises físico-químicas e de isótopos naturais, as primeiras no laboratório AGROLAB do Recife e as segundas no laboratório da USP em São Paulo.

Foi também efetuada uma análise do comportamento qualitativo da água ao longo do tempo naqueles poços que dispunham de controle sistemático em análises físico-químicas, a fim de verificar se a salinização ocorreu desde o início da perfuração ou ao longo do tempo.

O trabalho realizado objetivou ainda apontar os poços em que deveria ser efetuada uma cimentação adequada e os procedimentos corretos para que se isolasse completamente aquele foco de contaminação do aquífero.

2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Duas áreas da cidade do Recife foram escolhidas para a realização da pesquisa: a primeira na zona norte, englobando total ou parcialmente os bairros de Coelhos, Ilha do Leite, Boa Vista, Soledade, Paissandu, Derby e Ilha do Retiro, e a segunda, na zona sul, constituída pelos bairros de Brasília Teimosa, Pina e parte norte de Boa Viagem.

Essas duas áreas foram separadas pela denominação Bacia do Pina, estuário dos rios Tejipió e Jordão que drenam a região centro-sul da cidade do Recife.

3 – PROCEDIMENTOS ADOTADOS

Para obtenção dos resultados esperados da pesquisa, foram executados os seguintes procedimentos:

a. Cadastramento de Poços

Um total de 305 poços foram cadastrados nas duas áreas de pesquisa, com distribuição conforme mostrado no Quadro 1.

QUADRO 1 – Distribuição dos poços cadastrados nas áreas pesquisadas.

BAIRRO	NÚMERO DE POÇOS	POSSUEM PERFIS LITOLÓGICOS	ATINGIRAM O CRISTALINO	POSSUEM ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA
ZONA NORTE				
Boa Vista	83	32	5	37
Coelhos	19	6	4	2
Soledade	8	4	1	6
Derby	22	2		9
Paissandu	23	18	11	16
Ilha do Leite	8	5	3	4
Cabanga	3	2	1	1
Ilha do Retiro	16	7	2	10
Afogados	12	3	4	2
Joana Bezerra	3	2		3
ZONA SUL				
Pina	73	36	12	41
Boa Viagem	32	20	4	20
Brasília Teimosa	3	1	1	2
TOTAL	305	138	48	153

b. Medição dos níveis estáticos

Após a conclusão do cadastramento dos poços foi efetuada uma campanha de medição de nível estático, utilizando uma sonda elétrica, levando em conta as seguintes condições:

- a) Poço com entrada ao ar livre sem coberturas que impedissem a introdução de uma sonda elétrica;
- a) Permissão do proprietário do poço para a equipe técnica efetuar a medição do nível;
- b) Desligamento da bomba do poço até as 18:00h do dia anterior à medição;
- c) Medição do nível nas primeiras horas do dia (entre 6:00 e 7:00h) a fim de alcançar uma situação de “quase estabilidade” da superfície potenciométrica.
- d) Em função desses óbices, o número de poços com medição de nível foi de apenas 63, representando 90% dos poços pré-selecionados para a pesquisa e apenas 20,65% do total de poços cadastrados.

c. Nivelamento de poços selecionados

Foram nivelados os 63 poços que tiveram o nível estático medido conforme explanado no item anterior.

O nivelamento dos poços foi executado com receptores GPS das marcas Trimble modelo 4000SST, AOA modelo Rascal e Insight modelo GTR-B (Foto 2.2).

Foi utilizado o vértice da RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – situado na Biblioteca Central da Universidade Federal de Pernambuco como vértice fixo. A RBMC é mantida pelo IBGE e tem altíssima precisão para trabalhos desta ordem.

d. Coleta de água para as diversas análises

A coleta de água dos poços para realização de análises teve distintas finalidades dentro do estudo. A maior parte das amostras coletadas destinou-se às análises físico-químicas e após a sua realização, em função da presença ou não de nitratos, era coletada uma amostra para análise bacteriológica.

Ainda em função dos resultados de análise físico-química foram escolhidos os poços que possuíam água mais salinizada para coleta de água especificamente destinada à análise de isótopos naturais a fim de detectar a origem da salinização.

Dessa maneira, foram coletadas 68 amostras para realização de análises físico-químicas, 15 amostras para realização de análises bacteriológicas e 11 amostras para realização de análises de isótopos naturais.

e. Perfilagem de condutividade elétrica e perfilagem óptica em poços

A finalidade dessas duas perfilagens foi de constatar se estava havendo ou não a infiltração de águas salinizadas de camadas superiores para camadas inferiores, confirmar a posição dos filtros e respectiva sanidade, além do perfil geral de salinidade da água.

f. Interpretação dos dados

A partir dos dados de campo e de laboratório, foi efetuada a interpretação hidroquímica do aquífero em estudo.

g. Compatibilização dos estudos hidroquímicos com processos hidrodinâmicos do sistema aquífero.

A associação dos dados hidroquímicos, inclusive históricos, com a potenciometria do sistema aquífero permitiu apresentar as propostas finais sobre as causas de salinização.

4 – ANÁLISE DOS DADOS HIDROQUÍMICOS

As águas da zona Norte e da zona Sul são, predominantemente, classificadas como Cloretadas Sódicas, com 58,14 e 52,00% respectivamente, com algumas classificadas como Cloretadas Mistas (23,26 e 20,00% respectivamente).

Outras classificações de menor proporção, como mostrado na figura 1, são as de Mista Sódica com 16,28% na zona norte e 16,0% na zona sul, Mista Mista com apenas 2,33% na zona norte e 4,0% na zona sul e, finalmente, as Bicarbonatadas Sódicas com 8,0% (apenas na zona Sul).

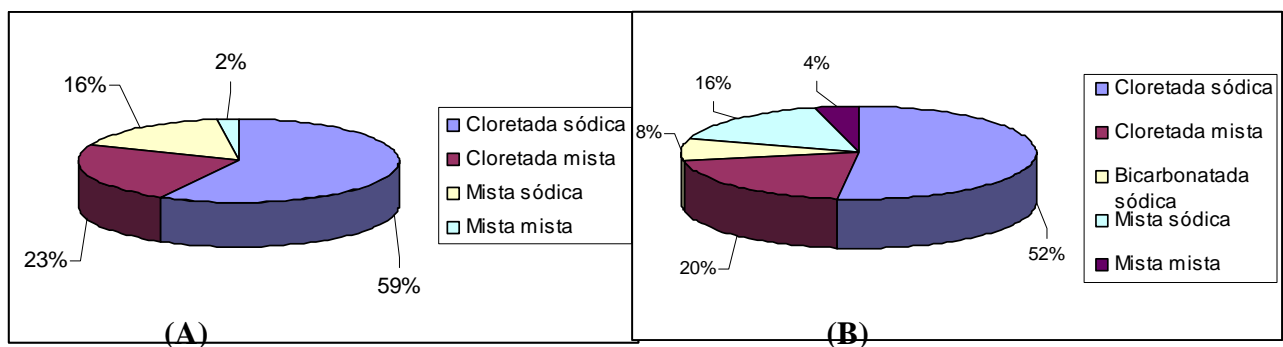


FIGURA 1 – Distribuição das águas quanto a classificação iônica nas zonas norte (A) e sul (B)

Pelas representações de Sólidos Totais Dissolvidos – STD, figura 2, as águas da zona Norte são predominantemente Doce - 81,4%, com existência de águas Salobras - 16,3% e águas Salgadas - 2,3%, enquanto que, na zona Sul, as águas Doces representam 72%, as águas Salobras participam com 20% e as Salgadas com apenas 8% do total amostrado.

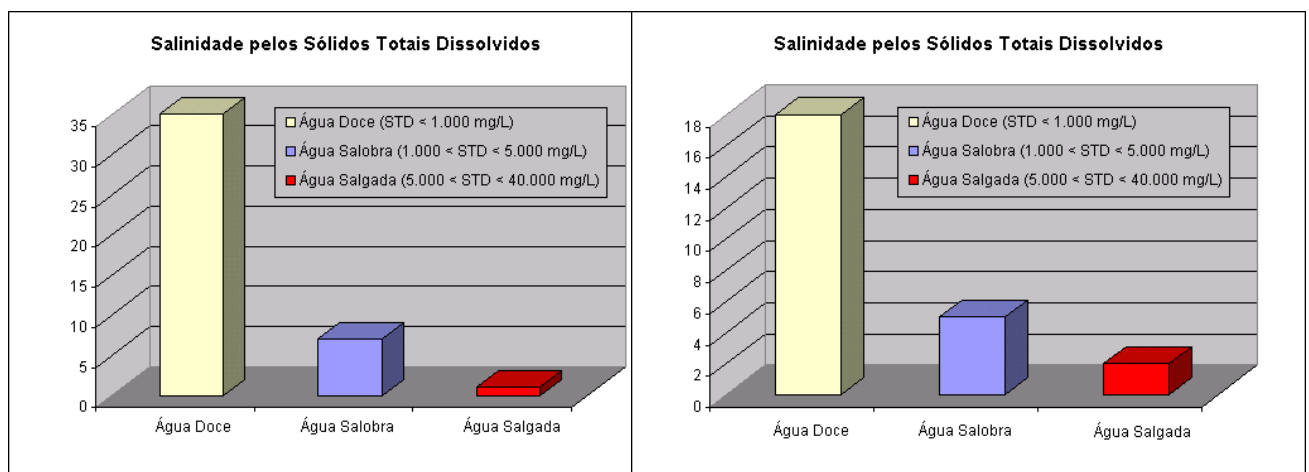


FIGURA 2 – Classificação das águas das zonas norte (A) e sul (B) quanto a salinidade

Considerando que praticamente todos os poços estudados estão captando água do Aquífero Beberibe Inferior, o mapa de STD apresentado na figura 3 representa a situação desse horizonte aquífero.

As razões iônicas também designadas de índices hidrogeoquímicos são relações existentes entre os íons dissolvidos na água e são utilizadas para indicar um certo relacionamento com o litotipo do qual a água se origina, a origem marinha ou continental da água, a ação de fenômenos modificadores ou ainda indicar uma característica específica da água considerada, também designada de “assinatura iônica” da água.

Várias são as relações entre os íons (cátions ou ânions) que podem ser estabelecidas, sendo as mais usuais as seguintes: rMg/rCa , rK/rNa , $rCl/rHCO_3$. Outras razões também usadas são rCa/rMg , rCa/rSO_4 , e rNa/rCl .

Pela relação rMg/rCa , as águas continentais apresentam valores freqüentemente entre 0,3 e 1,5, enquanto as águas de origem oceânica apresentam essa relação em torno de 5. O aumento do conteúdo de cloretos e da razão rMg/rCa pode ser um bom indício de contaminação por água de origem marinha. Nos casos de dissolução de calcários ocorre uma diminuição dessa relação.

A relação rK/rNa em águas doces varia entre 0,001 e 1, sendo mais freqüente entre 0,004 e 0,3, enquanto para a água do mar essa relação fica no intervalo de 0,02 e 0,025. Em geral, essa relação tende a diminuir quando aumenta a salinidade, como mostra Custódio (1974) em estudo na ilha vulcânica de Lanzarote, onde a razão, rK/rNa passava de valor 0,05 para água com resíduo seco em torno de 1.000 mg/L, para 0,02 quando o resíduo seco era da ordem de 4.000 mg/L.

A razão $rCl/rHCO_3$ é muito útil para investigar a intrusão marinha, uma vez que as águas continentais apresentam valores entre 0,1 e 5 enquanto na água do mar varia entre 20 e 50. Se o aumento de cloretos é devido à concentração de sais nas zonas de recarga, a razão $rCl/rHCO_3$ cresce muito menos para igual aumento de cloretos quando ocorre uma intrusão marinha.

A seguir serão mostrados os valores obtidos nas relações iônicas acima descritas tanto para as águas dos poços da zona norte, como da área sul. As razões dotadas foram de rMg/rCa , rK/rNa , $rCl/rHCO_3$ e rCa/rSO_4 .

Nas águas analisadas dos poços em estudo, foram utilizadas as principais razões iônicas e, através da relação rMg/rCa todas as águas analisadas se enquadram seguramente como águas de origem continental. Igualmente verifica-se pela relação rK/rNa , que todas as águas analisadas se enquadram seguramente como águas de origem continental.

Verifica-se que pela relação $rCl/rHCO_3$, 20% das amostras revelaram contaminação com águas marinhas ou mistas, provavelmente dos paleo-mangues. Finalmente, constata-se que, pela relação rCa/rSO_4 que todas as águas analisadas, com exceção de apenas duas amostras (3%) são de origem continental.

Das observações supra-citadas, pode-se deduzir que as águas subterrâneas, tanto da zona norte, como da zona sul, são predominantemente de origem continental.

Algumas amostras, com relação aos índices hidrogeoquímicos $rCl/rHCO_3$ e, eventualmente rCa/rSO_4 mostraram indícios de salinização, entretanto essa salinização não implica, necessariamente numa intrusão da cunha salina.

Ao que tudo indica as águas que apresentaram anomalias em relação às demais, nas relações acima descritas, foram contaminadas por águas do aquífero superior (Boa Viagem) que se encontravam no entorno de paleo-mangues e se infiltraram através do espaço anular de poços mal construídos, para o aquífero mais profundo.

Para dirimir quaisquer dúvidas quanto a origem da salinização detectada nos focos de altas concentrações físico-químicas nos aquíferos da Planície do Recife, foram determinadas as concentrações dos isótopos estáveis naturais oxigênio-18 e deutério na Zona Norte e na Zona Sul, respectivamente, em sete e em três amostras.

Na figura 3 estão relacionados os valores de deutério e oxigênio-18 de todas as amostras e também está plotada a reta meteórica,

$$\delta^2H = 8 \delta^{18}O + 10$$

Esta reta, obtida por CRAIG (1961), representa o comportamento dos valores nas águas de chuvas que foram formadas em condições de equilíbrio.

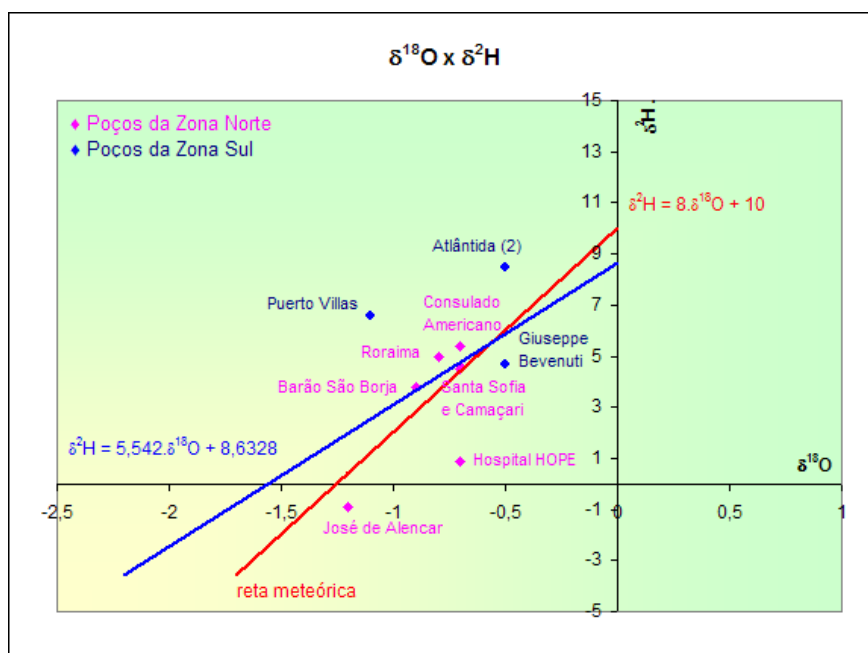


FIGURA 3 - Gráfico de correlação $\delta^{18}O \times \delta^2H$ das águas subterrâneas na Zona Norte (Aquífero Beberibe) e na Zona Sul (Aquífero Cabo) na Planície do Recife.

Os dados desta figura mostram que as amostras estudadas pertencem à reta,

$$\delta^2\text{H} = 5,542 \delta^{18}\text{O} + 8,6328$$

cujos coeficiente angular, menor do que da reta meteórica, indica águas evaporadas. Neste gráfico, foi plotada também a reta de correlação média das zonas aquíferas.

Além de indicar amostras evaporadas, o gráfico mostra que as águas têm concentrações muito afastadas do valor da água do mar, $\delta^2\text{H} = 0$ e $\delta^{18}\text{O} = 0$ que é o valor do padrão internacional. Conseqüentemente, com estas amostras analisadas não foi detectada intrusão marinha.

5. – MAPEAMENTO DA SALINIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO BEBERIBE

O mapa de STD (figura 4) revela, na zona norte do estudo, elevados teores de sais nas áreas relacionadas aos bairros de Coelhos, Ilha do Leite, Paissandu e Boa Vista (setor oriental), com valores entre 1.000 e 5.000 mg/L (águas salobras) e pontualmente, ultrapassando os 5.000 mg/L (águas salgadas).

Na região mais a noroeste, no bairro do Derby e centro norte, nos bairros de Boa Vista e Soledade, as águas ainda se apresentam dentro do limite de potabilidade, ou seja, são águas classificadas como doces (STD < 1.000 mg/L).

Essa zona mais salinizada, que também se estende para nordeste na Rua da Aurora, conforme apresentado nos estudos Costa et al - HIDROREC I (1998) e COSTA Consultoria - HIDROREC II (2001), coincide com a zona estuarina do Rio Capibaribe, onde existiam, antes da intensa urbanização que ocorre nos dias atuais, extensos manguezais que foram aterrados para ampliação da construção civil.

O manguezal, como se sabe, constitui um ambiente misto de água doce e água salgada, sujeito à influência das marés que ingressam nos rios até alguns quilômetros da sua foz. Os sais existentes nesse ambiente são fixados nas argilas e proporcionam às águas que ocorrem em sedimentos portadores desses mangues uma elevada salinização.

Esses paleo-mangues ocorrem em várias profundidades em função dos processos de sobre-imposição da calha do rio através do tempo, existindo inclusive paleo-canais com sedimentos areno-argilosos nas cercanias da atual calha do rio, que se estendem a profundidades de até 50m.

Os aquíferos profundos que são explorados na região, em princípio, não deveriam ser afetados por essa salinização, que deveria ficar restrita aos sedimentos cenozóicos, sobretudo marginais às calhas dos grandes rios, nas suas zonas estuarinas. Lamentavelmente, em grande parte dos poços

perfurados não se efetuou um isolamento bem feito das camadas superiores (até pelo menos 60m de profundidade) no que resultou uma infiltração de água salinizada do aquífero denominado de Boa Viagem para o aquífero a ele sotoposto, o Beberibe.

Exemplos desse fato podem ser citados como os 5 (cinco) poços na área da Amorim Primo, os vários poços na maternidade do IMIP e Hospital Pedro II, os inúmeros poços (cerca de 20) no Hospital Português, dentre outros. A maior parte deles era possuidora de água doce logo após a perfuração, entretanto, com a continuidade do bombeamento, ou salinizaram por deficiência própria ou por haverem drenado a água salinizada da “pluma de salinização” que se formara a partir de outros focos de contaminação já existentes.

Um exemplo mais recente foi o que ocorreu no Empresarial Albert Einstein na Ilha do Leite, em que um poço perfurado em 1998 acusava um total de sólidos dissolvidos da ordem de 500 mg/L e ao cabo de 3 anos passou para 16.452 mg/L, tendo sido então cimentado.

Observando o mapa de STD verifica-se que a salinização é mais intensa no entorno da bacia do Rio Capibaribe e apresenta uma evolução no sentido de SE para NW e de sul para norte. Comparando esse “trend” com o sentido de fluxo do aquífero no mapa de potenciométrica (figura 5) constata-se que há uma total coincidência, ou seja, a pluma de salinização se desloca no sentido SE-NW a S-N comandada pelo fluxo subterrâneo, o que já era de se esperar.

Muitos dos poços que acusaram aumento de salinidade já foram abandonados, entretanto continuam abertos, ou apenas tamponados, constituindo-se em focos de contaminação para o restante do aquífero o que acarreta a salinização dos novos poços construídos no entorno, mesmo que os mesmos venham a ser bem construídos.

É de suma importância que todos os poços salinizados venham a ser devidamente isolados, mediante procedimentos técnicos normalizados, que eliminem a possibilidade de se tornarem focos de contaminação do aquífero.

Convém lembrar que o mapa de STD apresentado refere-se a poços que estão atualmente explotando o Aquífero Beberibe e que, como já mencionado, se restringem a exploração do Horizonte Aquífero Inferior - Kb₂.

Apesar do Horizonte Aquífero Superior - Kb₁ ser, provavelmente, possuidor de águas mais duras pela presença da cimentação calcífera, seria interessante tentar a perfuração de poços bem isolados (do Aquífero Boa Viagem) com profundidades de captação (colocação de filtros) entre 60 e 80m. É possível que esse horizonte ainda não esteja comprometido, embora que não haja garantia de que não o esteja tanto pela super-exploração desencadeada, como pela possibilidade de o encascalhamento dos poços ter atingido aquela zona.

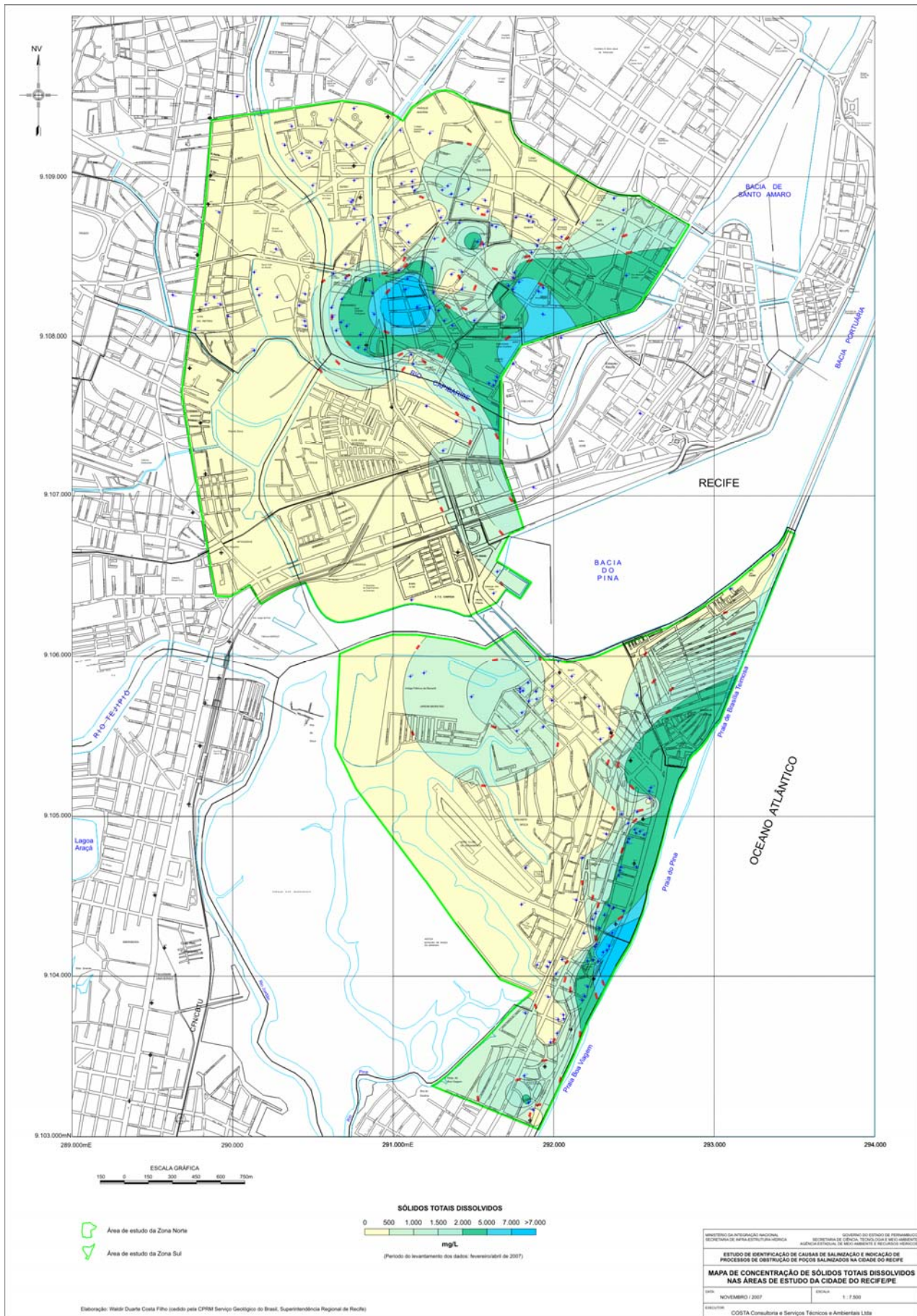


FIGURA 4 – Mapa de Sólidos Totais Dissolvidos nas águas subterrâneas da área estudada

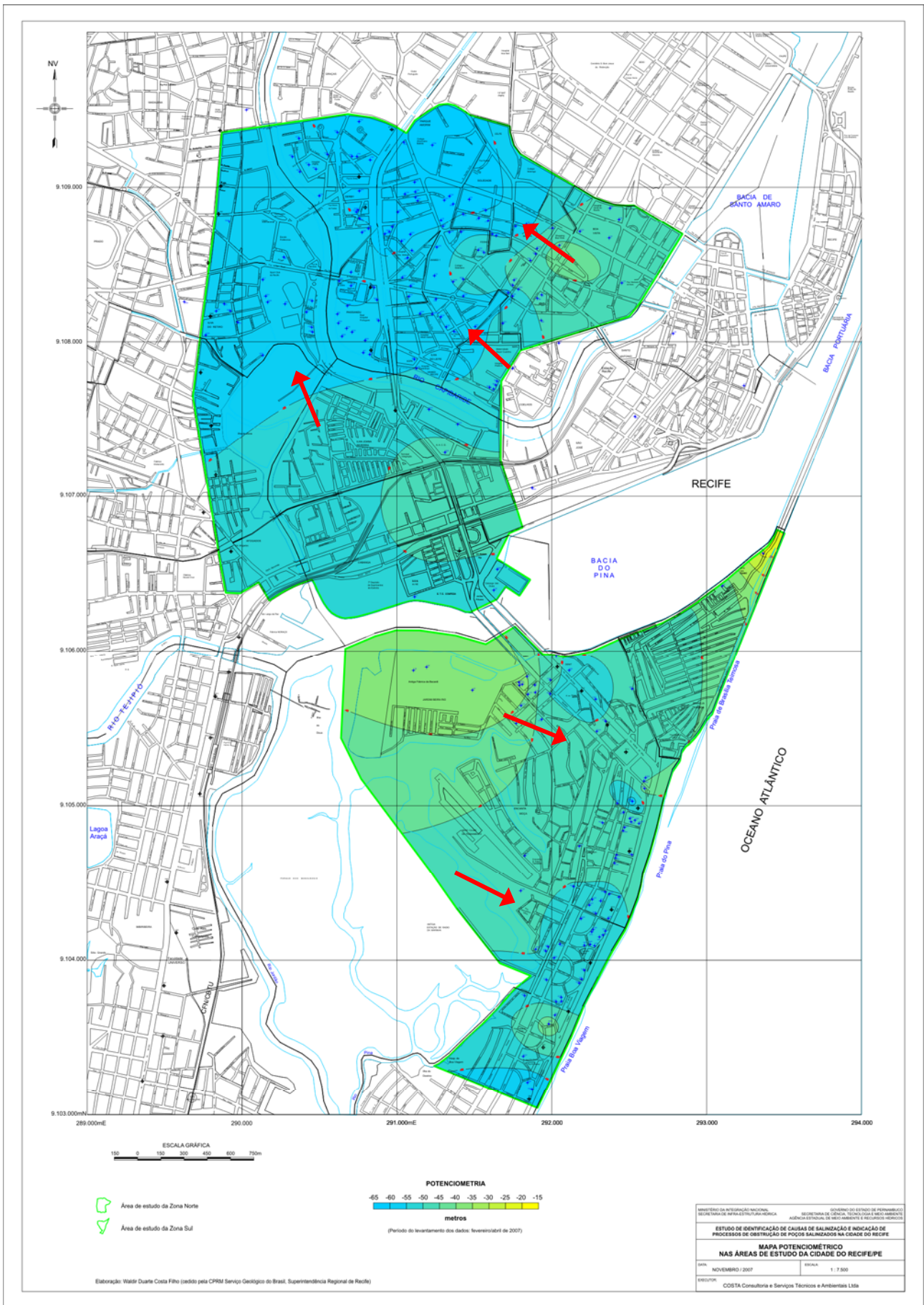


FIGURA 5 – Mapa Potenciométrico do aquífero Beberibe Inferior na área estudada

Na zona sul o problema da salinização é menos grave do que na zona norte, apesar de também existirem poços com elevada salinização. A diferença fundamental está relacionada ao sentido de fluxo do aquífero.

Como pode ser visto no mapa específico de STD a zona de maior salinização corresponde à região costeira onde sedimentos de ambiente misto continental/marinho, inclusive de paleo-vales, contendo argilas orgânicas foram soterrados pela expansão imobiliária e atualmente constituem o Aquífero Boa Viagem (Costa et al, 1994).

O processo de salinização dos poços é semelhante ao da zona norte no que se refere à origem provocada por poços mal construídos, que geram focos de contaminação.

Considerando a grande quantidade de poços existentes na orla costeira, sobretudo numa faixa compreendida entre as avenidas Domingos Ferreira e Boa Viagem, a contaminação da salinidade ocorre não tanto pelo sentido do fluxo do aquífero, mas lateralmente pelas reduzidas distâncias entre os poços.

Na área estudada, a região costeira do Pina é a mais afetada, sobretudo no limite com Boa Viagem, onde o STD supera os 7.000 mg/L, passando de salobra para salgada a classificação da água. Mais ao norte na zona costeira, limite do Pina com Brasília Teimosa, ocorre outro foco de salinização porém de caráter menos intenso com águas classificadas como salobras (STD<5.000 mg/L). Os paleo-vales detectados nas seções geológicas realizadas podem explicar essa salinização na região costeira.

Enquanto isso, praticamente toda a zona oeste do Pina possui água doce (STD<1.000 mg/L) inclusive com uma grande área de salinidade menor que 500 mg/L. Isso também é um reflexo da reduzida exploração das águas subterrâneas nessa área.

O fluxo do aquífero em exploração, que como foi visto no mapa potenciométrico no horizonte Kb₂ do Beberibe, possui o sentido de NW para SE e dessa forma a localização da região mais salinizada a sudeste não poderia migrar contra o sentido de escoamento subterrâneo. Dessa forma, a região mais ocidental do bairro do Pina possui água de melhor qualidade, ficando a salinização restrita a uma faixa costeira.

Nessa área sul, também merece uma pesquisa nos níveis menos profundo do aquífero Beberibe, isto é, no Beberibe Superior, uma vez que os poços estudados situavam-se à profundidades superiores a 90m, correspondendo ao aquífero Beberibe Inferior. Também poderiam ser efetuados poços mais profundos, além dos 200m, a fim de analisar a situação do aquífero Cabo, sotoposto ao aquífero Beberibe, na região de Boa Viagem, e ainda não explorado.

6. – ORIGEM E EVOLUÇÃO DO PROCESSO DE SALINIZAÇÃO DO AQUIFERO

A origem e a evolução do processo de salinização do aquífero Beberibe na Planície do Recife podem, com vistas ao estudo realizado, ser sintetizado em quatro fases, como a seguir descrito:

Estágio inicial: Os poços são perfurados atravessando o aquífero Boa Viagem (onde são encontrados paleo-mangues em torno dos quais a água é salinizada) e o aquífero Beberibe. Em grande parte esses poços são mal construídos, não havendo uma cimentação adequada do espaço anelar até o horizonte produtor.

Segunda fase: Após algum tempo de bombeamento a água que vem sendo captada no aquífero Beberibe passa a ser contaminada por sais procedentes dos horizontes superiores salinizados, por infiltração através do pré-filtro no espaço anelar que deveria estar devidamente cimentado. Durante esta fase a contaminação é apenas pontual, nos poços mal construídos.

Terceira fase: A intensa exploração do aquífero acarreta o rebaixamento da superfície potenciométrica do aquífero semi-confinado do Beberibe, invertendo as cargas hidráulicas e acelerando o processo de infiltração do horizonte superior. Deve-se ainda considerar que o aquífero superior recente – denominado de Boa Viagem – não apresenta uma camada contínua de sedimentos argilosos separando-o do aquífero mais antigo – o Beberibe – ao longo de toda a sua extensão. Leve-se em conta ainda, que o aquífero Beberibe possui em sua parte mais superior, camadas calcíferas representadas por calcários, arenitos calcíferos, calcarenitos, fosforita e margas que não se constituem em aquicludes perfeitos, no máximo, em aquitardes.

Quarta fase: Estando o aquífero Beberibe contaminado pela salinização que se procedeu verticalmente de cima para baixo, passará a água salinizada a migrar semi-horizontalmente, no sentido do fluxo do aquífero, passando a salinizar a água em uma extensa região. A “pluma de salinização” assim formada, irá se expandir no aquífero e, mesmo os poços bem construídos, tenderão a ser salinizados nos próximos anos ou meses.

Em resumo, a causa original da salinização foram poços mal construídos, tendo em seguida, sido desenvolvida e acelerada em função da super-exploração que vem sendo desencadeada no aquífero, sobretudo nos últimos 10 anos.

A figura 6 a seguir, mostra esquematicamente como se verifica a evolução da salinidade de um poço para outro na região afetada pelo processo de salinização.

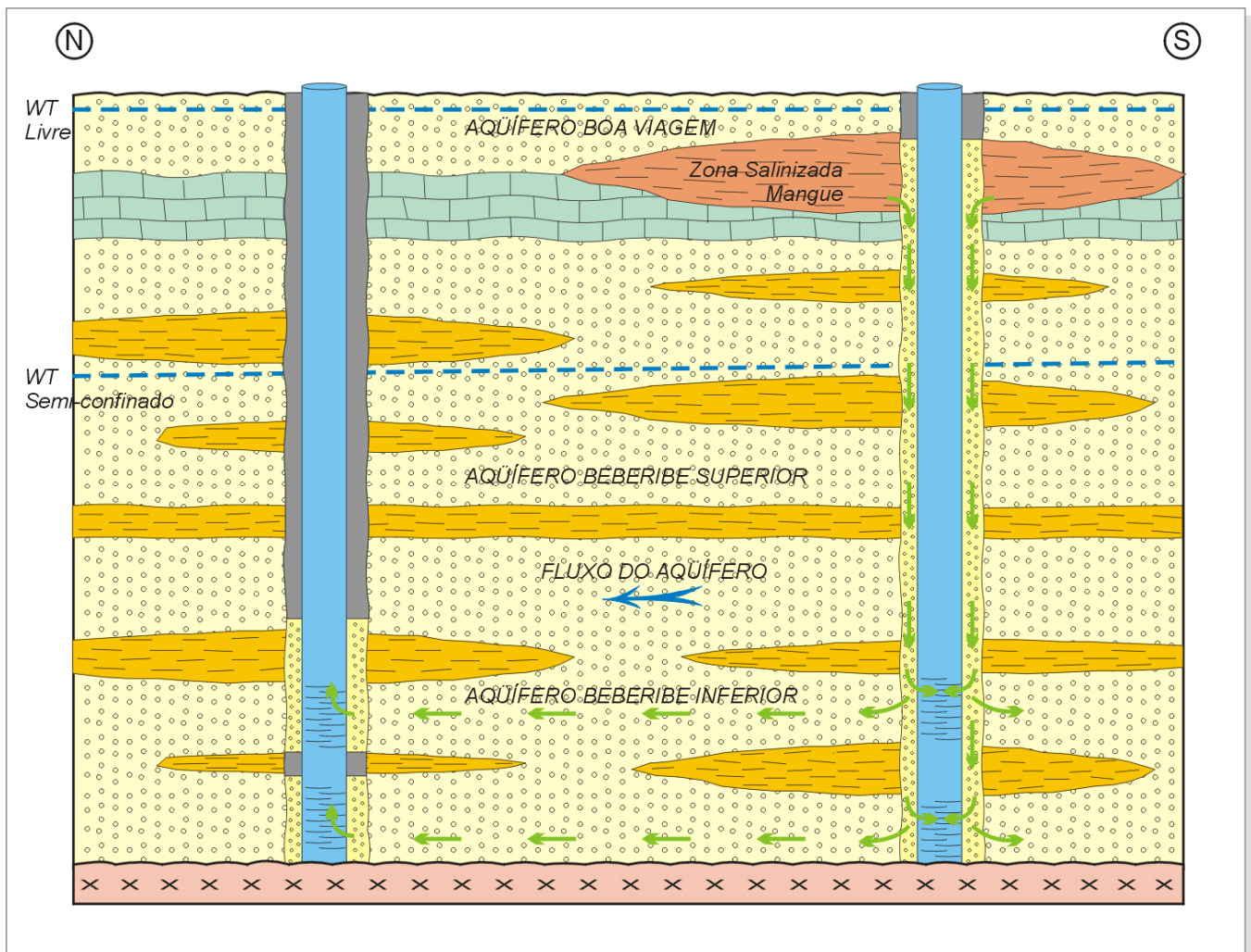


FIGURA 6 – Ilustração do processo de salinização de poços na região do Recife. O poço à esquerda com boa construção (cimentação do espaço anelar em cor cinza) está sendo salinizado pelo poço à direita, mal construído (cimentação apenas próximo da superfície).

O estudo concluiu pela necessidade de continuidade da pesquisa tanto no horizonte superior do aquífero Beberibe, como no aquífero Cabo a ele sotoposto na região de Pina-Boa Viagem e, principalmente, efetuar o isolamento dos poços com elevado teor de sais, atualmente ainda não cimentados através de uma metodologia adequada de cimentação.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COSTA, W.D.; SANTOS, A.C.; COSTA FILHO, W.D. (1994) – O Controle Estrutural na Formação dos Aquíferos da Planície do Recife. In 8º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, ABAS – p 38-43 – Recife – PE
- COSTA, W.D.; MANOEL FILHO, J.; SANTOS, A.C.; COSTA FILHO, W.D.; MONTEIRO, A.B.; SOUZA, F.J.A. (1998) – Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos na Cidade do Recife/PE-Brasil. (Resumo do HIDROREC I) – Anais do Congresso SulAmericano de Água Subterrânea – ALSHUD – Montevideo- Uruguai.
- COSTA Consultoria e Serv. Tecn. E Amb. Ltda (2002) – Estudo Hidrogeológico do Recife, Olinda, Camaragibe e Jaboatão dos Guararapes – HIDROREC II – Relatório inédito – Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco – 3 vol. – Recife/PE.
- CRAIG, H (1961) – Isotopic variations in meteoric waters. Science, 133: 1702-3
- CUSTODIO, E.G. & LLAMAS, M.R. (1968) – Hidrologia Subterranea. Barcelona. Ed. Omega, 1v.il.