

CONDICIONAMENTO HIDROGEOLÓGICO DA EXPLOTAÇÃO DO AQUÍFERO COSTEIRO BOA VIAGEM

Waldir D.Costa¹; Adson B.Monteiro²; Waldir D.Costa Filho³ & Almany C.Santos⁴

Resumo - O aquífero *Boa Viagem* foi primeiramente identificado e caracterizado por COSTA,W.D e SANTOS,A.C em 1990, para reunir todos os sedimentos recentes portadores de água, que ocorriam na planície do Recife, estendendo-se ainda para norte por toda a Região Metropolitana do Recife.

Esse aquífero é do tipo livre, sendo a sua superfície freática localizada a poucos metros da superfície, entre 1 e 5 m de profundidade e desempenha um importante papel na região pois ao mesmo tempo em que atua como manancial captado em poços rasos por grande parte da população, desempenha ainda uma ação de meio intermediário de recarga dos aquíferos mais profundos, que não possuem área de afloramento na região da planície do Recife.

Mais de 1.000 poços já foram perfurados nesse aquífero até o momento, entretanto não se dispõe de muitos dados técnicos dessas captações, tais como nível dinâmico e vazão, assim como das características hidrodinâmicas do aquífero tendo em vista que a maior parte desses poços são de reduzido diâmetro e construídos manualmente à trado. Dos poços testados, com maior profundidade (até 50m), constatou-se uma vazão média de 17 m³/h e uma vazão específica média de 4,5 m³/h.m. Os parâmetros hidrodinâmicos médios obtidos para os coeficientes de transmissividade, condutividade hidráulica e porosidade eficaz, foram, respectivamente de: 7×10^{-3} m²/s, $1,7 \times 10^{-4}$ m/s e 0,1. As condições de exploração desse aquífero exigem muito cuidado sobretudo quanto a qualidade da água,

¹ Geólogo, Professor Titular da UFPE. Diretor-Presidente da COSTA Consult.e Serv.Tec.e Amb.Ltda. Av. Santos Dumont, 320, Afritos- Recife-PE; 50.050-050; Fone/FAX(081) 241.3715 E.mail: waldir@costa.com.br

² Geólogo, Consultor da SRH-Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco. R. Dom Bosco, 1000, Ap.601, Boa Vista, Recife-PE; 50.070-070, Fone:(081)423.8474 E.mail: adsbrito@elogica.com.br

³ Geólogo, Consultor da CPRM-Serviço Geológico do Brasil. Travessa Francisco Silveira s/n- Afogados-Recife-PE 50.770-020, Fone: (081) 428.0623. E.mail: wdcfilho@costa.com.br

⁴ Geólogo, Professor Assistente da UFPE, End.Res. Rua Trajano Mendonça,320/705-Recife-PE-50710-200 F(081)445.9785 E.mail: almany@npd.ufpe.br

devido a elevada vulnerabilidade que o mesmo apresenta à contaminação provocada pelas diversificadas atividades antrópicas.

Palavras-chave - aquífero boa viagem, interconexão hidráulica, salinização e contaminação

I – INTRODUÇÃO

I.1 – LOCALIZAÇÃO E ÁREA DE ABRANGÊNCIA

A área objeto do presente estudo localiza-se no município do Recife, estado de Pernambuco, abrangendo conforme mostra a figura 1.1 toda a planície sedimentar costeira, circundada pelos morros representados pela Formação Barreiras ao norte e embasamento cristalino ao sul.

A área que possui uma superfície de 112 km² é limitada pelas coordenadas UTM 9.098.000 a 9.114.000 e 282.000 a 294.000 e está totalmente inserida no município do Recife, constituindo uma planície onde escoam de maneira divagante os baixos cursos dos rios Capibaribe, Beberibe, Tejipió e Jordão

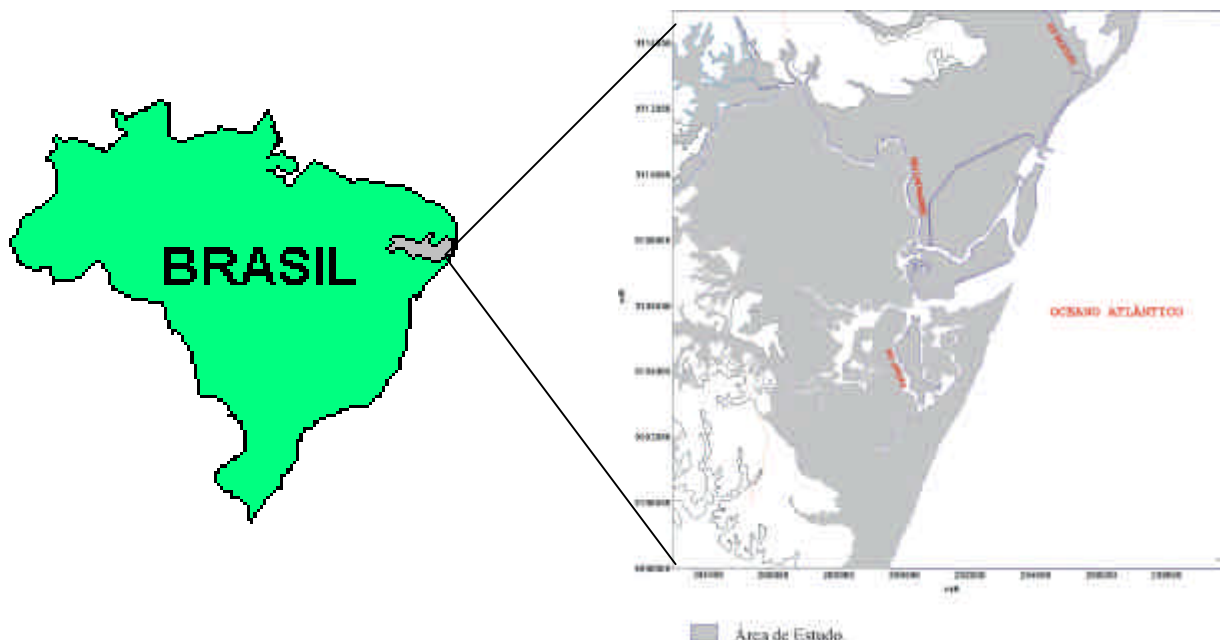


Figura 1.1 – Localização Da Área De Estudo

I.2 – BREVE HISTÓRICO DO AQÜÍFERO BOA VIAGEM

O primeiro estudo hidrogeológico que abordou com mais profundidade a problemática da cidade do Recife foi executado por COSTA et al, 1968, quando foram cadastrados cerca de 200 poços, executadas correlações entre os poços dotados de perfis geológicos, identificadas estruturas de falha, avaliados pela primeira vez os parâmetros hidrodinâmicos e as reservas e disponibilidades de água subterrânea nos aquíferos da região.

Nesse estudo e em todos os que se sucederam, os depósitos de sedimentos recentes não foram tratados de maneira diferenciada com relação ao aquífero mais profundo, de idade cretácica, não se dispondo de qualquer dado ou análise sobre esses depósitos terció-quaternários.

Em 1989 COSTA & SANTOS realizaram o “Estudo Hidrogeológico da Planície do Recife” dentro do projeto “Carta Geotécnica da Cidade do Recife” executado pelo Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Geociências da UFPE. Em função dessa pesquisa, os referidos autores publicaram em 1990 o trabalho “Zoneamento para utilização de água subterrânea no município do Recife” durante o Seminário Regional de Engenharia Civil patrocinado pela ABMS/UFPE/FESP/ITEP/ETEP.

Nesse trabalho foi introduzida a terminologia de **AQÜÍFERO BOA VIAGEM** para caracterizar o manancial hídrico subterrâneo freático, representado pelos vários tipos de sedimentos de idade recente.

No trabalho desenvolvido por COSTA et al sobre a “Hidrogeologia da Região Metropolitana do Recife” no período 1995/98, através de um convênio entre a UFPE e o IDRC do Canadá, foi mais detalhadamente estudado o Aquífero Boa Viagem, através de sua caracterização geológica, hidrodinâmica e hidroquímica.

No estudo presente, foi melhor detalhada a hidrogeologia desse aquífero que desempenha uma grande importância para a exploração das águas subterrâneas na cidade do Recife, como será visto a seguir.

II – ASPECTOS GEOLÓGICOS

II.1 – A GEOLOGIA DA PLANÍCIE DO RECIFE

A Planície do Recife situa-se no limite entre a bacia sedimentar Pernambuco-Paraíba e a bacia vulcano-sedimentar do Cabo, e está cortada pelo lineamento Pernambuco.

O substrato impermeável dos sedimentos aquíferos da planície do Recife é composto ao sul do lineamento Pernambuco por uma camada de derrame basáltico da Formação Ipojuca, conforme resultados das descrições das lâminas petrográficas das amostras coletadas nos poços situados na rua Padre Carlos Leôncio, s/n, Imbiribeira e na rua Francisco da Cunha, 1065, Boa viagem, nas profundidades de 98,00 e 136,00 metros, respectivamente. Ao norte do lineamento Pernambuco o substrato impermeável é constituído pelo embasamento cristalino.

O Rifte, que marca a conformação da **Bacia vulcano-sedimentar do Cabo**, teve o aporte de sedimentos marcado por um intenso processo de tectônica extensional que produziu falhamentos de grande rejeito, falhas de transferência de direção NW-SE e pacotes sedimentares clásticos espessos de dimensão e formas geométricas distintas.

Este sistema de falhamentos associado ao magmatismo intrusivo compartimentou a Bacia Cabo em blocos tectônicos e/ou células estruturais com características geológicas e hidrogeológicas distintas.

A única formação geológica presente na região do Recife é a Formação Cabo (Cretáceo Inferior) que chega a aflorar na periferia da cidade do Recife, imediatamente ao sul do Lineamento Pernambuco. Este lineamento é tido hoje como o limite das Bacias sedimentares norte (Bacia Pernambuco-Paraíba) e sul (Bacia do Cabo). Sua litologia é muito variada, sendo constituída de conglomerados polimíticos de matriz arcoseana, arcósios, siltitos, argilitos e arenitos.

As espessuras são muito variáveis, desde algumas dezenas de metros até mais de 2.000 metros, conforme os perfis (em anexo) revelados pelos poços: **2-CPE-1-PE** (PETROBRÁS), perfurado na praia do Cupê e **9-JG-1-PE** (GORVENO DO ESTADO DE PERNAMBUCO-CPRM- PETROBRÁS), na praia de Piedade, município de Jaboatão dos Guararapes.

Em decorrência da presença elevada de argila em todas as fácies da formação, esta é considerada como um aquífero de fraca vocação hidrogeológica; os poços perfurados na planície do Recife, no lado sul do lineamento PE-PB, atestam essa vocação.

Ao passo que, a **Bacia Sedimentar Pernambuco/Paraíba (PE-PB)** ocorre a partir do Lineamento Pernambuco ao longo de todo o litoral norte da Região Metropolitana do Recife

(RMR), constituindo uma faixa continental que, exibindo largura média em torno de 20 km, estreita-se quase que abruptamente nas proximidades do Lineamento Pernambuco, para assumir uma largura média de 8 Km. Estruturalmente apresenta-se como uma homoclinal, com o embasamento cristalino mergulhando suavemente para leste. É caracterizada por estruturas de pequeno rejeito e pacotes sedimentares pouco espessos, produzidos por processos tectônicos flexurais.

Sendo assim, foram identificadas na RMR cinco direções preferenciais de falhamentos: E-W, NNE-SSW, NW-SE, ENE-WSW e N-S. Observa-se, ainda que, a tectônica na RMR tem uma forte influência no controle dos seus recursos hídricos e no controle do traçado de cursos d'água de superfície e em particular nas águas subterrâneas, além exercer importante papel nas variações significativas na espessura de aquíferos, como o Aquífero Beberibe, em parte decorrentes dos falhamentos observados, delimitando áreas com maior potencial hídrico.

A formação geológica que desempenha o principal papel como aquífera é a Formação Beberibe (Cretáceo Superior) que ocorre extensivamente na Bacia PE-PB (norte da RMR), assentada diretamente sobre o embasamento cristalino. Sua espessura média é da ordem de 180 metros, alcançando valores máximos que podem atingir mais de 250 metros na zona litorânea entre Olinda e Itamaracá. Regionalmente, as espessuras aumentam de oeste para leste, havendo entretanto uma tendência de redução no sentido norte-sul.

A porção inferior da formação é caracterizada por arenitos continentais quartzosos de granulações variáveis, com intercalações de siltitos e folhelhos, enquanto na parte superior predominam arenitos duros, compactos, com abundante cimento calcífero (fácies litorânea). Com base nestas diferenças litológicas e algumas particularidades locais, alguns hidrogeólogos (Batista, 1984 e Costa, 1986) subdividiram a formação Beberibe em dois sub-níveis denominados de aquífero Beberibe Inferior (a parte basal, mais silicosa) e aquífero Beberibe Superior (a porção superior, calcífera).

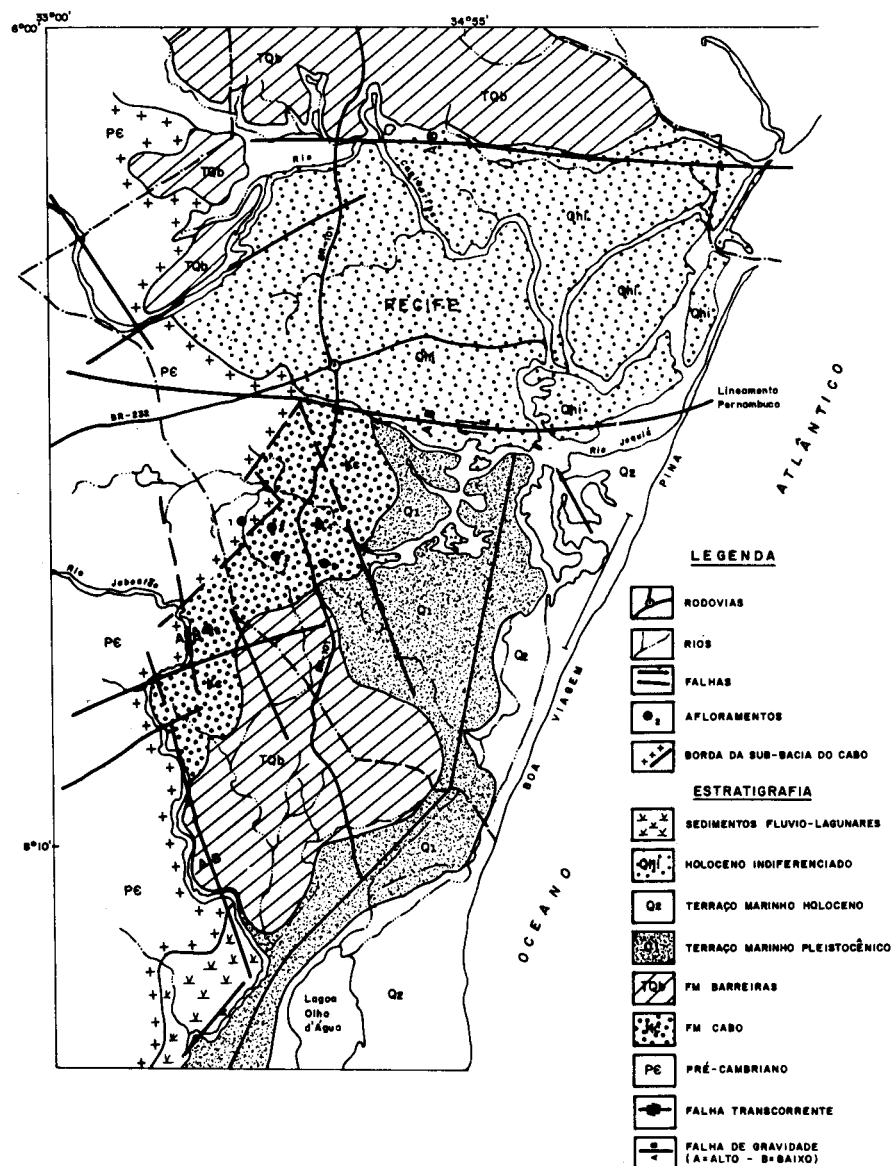
Outras formações calcáreas ocorrem para norte da bacia, como a Formação Gramame e a Formação Maria Farinha, porém além de não ocorrerem na planície, estas formações não desempenham papel importante como aquíferas.

Circundando a planície do Recife a fazendo parte integrante da área da cidade, ocorre em forma de morros a Formação Barreiras (Terciário-Quaternário), cuja litologia caracteriza-se por areias argilosas e argilas variegadas, de origem continental, exibindo localmente níveis arenosos mais grosseiros.

II.2 – CARACTERIZAÇÃO DOS SEDIMENTOS RECENTES

São areias variadas, argilas, limos e vasas, de origem continental ou marinha, ocorrendo nos vales dos rios, ao longo das praias e em zonas de mangues. Esses sedimentos ocorrem em toda a Região Metropolitana do Recife e são particularmente desenvolvidos na Planície do Recife onde receberam em superfície a designação de Sedimentos Indiferenciados.

No mapa geológico da figura 2.1 de autoria de LIMA FILHO et al (1991) são distinguíveis as seguintes unidades de mapeamento cenozóico, além daquelas cretácicas:



[FONTE: LIMA FILHO, ET AL, 1991]

Figura 2.1 – Mapa Geológico Da Área

- Sedimentos fluvio-lagunares que ocorrem numa área ao sul, onde predomina a formação de lagoas como a Lagoa Olho D'água; essa área já se situa fora dos limites da cidade do Recife, como mostra o mapa.
- Holoceno Indiferenciado que ocorre na maior parte da área da planície, entre o Rio Jequié ao sul e os morros da Formação Barreiras ao norte, com cotas entre 2 e 4m.
- Terraço Marinho Holoceno que margeia a planície na orla costeira, sobretudo de Boa Viagem, limitando-se a oeste pelo Rio Jordão, com cotas entre 2 e 4m
- Terraço Marinho Pleistocênico que ocorre entre o anterior e se limita a oeste pelos morros representados ora pela Formação Barreiras, ora pela Formação Cabo. As cotas desse terraço variam entre 6 e 10m.

Duas feições estruturais importantes são presentes no mapa geológico que são a falha transcorrente que aparece na porção central do mapa – o Linimento Pernambuco – que separa as bacias de Pernambuco/Paraíba para norte e do Cabo para sul, e uma falha de gravidade que ocorre mais para norte, com direção igualmente de leste-oeste como a falha transcorrente. Outras falhas de menor expressão são assinaladas ao sul da área em questão.

III – HIDROGEOLOGIA DO AQUÍFERO BOA VIAGEM

III.1 – CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS E COMPOSICIONAIS

O aquífero Boa Viagem (Costa, et al-1994) é formado por sedimentos de aluviões, dunas, sedimentos de praia e mangues, aflorando em quase toda a superfície da Planície do Recife, ora recobrando os sedimentos do aquífero Beberibe e Cabo e ora sobre o embasamento cristalino na região mais a oeste. Na região oeste da Planície do Recife o aquífero Boa Viagem é mais explorado por poços tubulares; suas espessuras médias oscilam em torno de 50m , como é o caso dos bairros do Curado, Cidade Universitária, Várzea, Engenho do Meio, Caxangá e Dois Irmãos. Na região de Boa Viagem, esse aquífero chega a atingir até 80m de espessura.

Como pode ser visto no mapa de isópacas do aquífero – figura 3.1 – a espessura varia muito de um ponto a outro ocorrendo maiores valores em Boa Viagem, Cidade Universitária, Espinheiro e Cruz Cabugá na altura da Tacaruna.

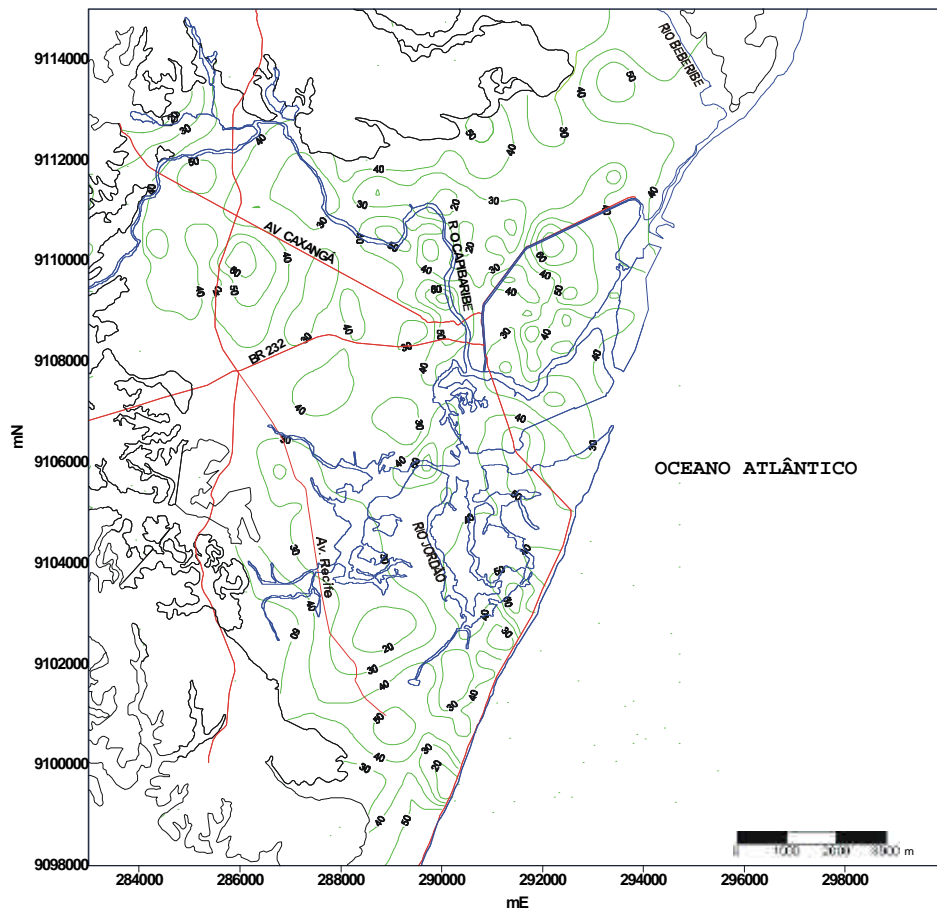


Figura 3.1 – Mapa De Isópacas Do Aquífero Boa Viagem

As principais características do aquífero Boa viagem neste estão referenciadas no quadro abaixo.

PARÂMETROS	CARACTERÍSTICAS
Granulometria dos Sedimentos	Alternância de areias e argilas
Cimentação dos Sedimentos	Argilosa ou ausente
Diagênese	Incipiente a nula
Material Orgânico	Conchas recentes, restos de madeira de paleo-mangues.
Angulosidade/Arredondamento dos Grãos	Sub-anguloso
Composição Mineral	Quartzo, feldspato, fragmentos de rochas cristalinas.
Resistência à Penetração	Baixa resistência
Permeabilidade e Condutividade Hidráulica	Baixa a elevada
Transmissividade	Baixa a média
Coefficiente de Armazenamento ou Porosidade Eficaz (aqüífero livre).	Baixa a elevada
Vazões fornecidas pelos poços perfurados nesse aqüífero	Média a elevada com média em torno 17 m ³ /h.
Vazões Específicas desses poços	Elevada (4,5 m ³ /h.m em média).

[FONTE: Costa et ali,1998]

Os poços perfurados nesse aqüífero são rasos, devido principalmente a espessura reduzida desse pacote aqüífero, onde se constata vários poços feitos a trado e manualmente a pá e picareta. Os poços perfurados a trado chegam a atingir até 20m de profundidade, enquanto os poços perfurados manualmente (cacimbões e poços amazonas), podem atingir até 10 metros de profundidade.

III.2 – CONDIÇÕES DE ALIMENTAÇÃO, CIRCULAÇÃO E EXUTÓRIOS

A alimentação ou recarga dos aqüíferos verifica-se na RMR a partir de distintos processos, a saber:

- por infiltração direta das águas precipitadas da atmosfera, sobre a superfície do terreno;
- por infiltração de parte das águas escoadas nas calhas fluviais, nos trechos em que o rio é influente;
- por transferência de um aqüífero para outro a ele sotoposto
- por drenança vertical ascendente de aqüíferos inferiores (estratigraficamente), com maior carga potenciométrica;
- por vazamentos da rede de distribuição de água e na rede coletora de esgotos e galerias pluviais

Torna-se difícil ao nível dos conhecimentos atuais, estabelecer com precisão que trecho da drenagem superficial é influente ou efluente. Segundo estudos realizados por Batista (1984) “a contribuição dos rios ao aquífero ocorre apenas na região noroeste da Planície nas imediações do Caxangá Golf Clube. Fora dessa região, é o aquífero que irá fornecer água para os rios, isso quando a intensa exploração assim o permitir”.

Considerando a área de 112,5 km² da Planície do Recife, a variação anual da superfície potenciométrica de 2,5m, a precipitação anual média de 2.254 mm/ano e uma porosidade eficaz da ordem de 10%, a taxa de infiltração calculada ficou em 11%.

Na Planície do Recife (Sistemas aquíferos Beberibe/Boa Viagem + Cabo/Boa Viagem) a recarga anual, calculada a partir da equação $R = A \times \Delta s \times \mu$ em que A = área do aquífero (em m²), Δs = variação de altura da superfície potenciométrica, no ano (em m) e μ = porosidade eficaz do sistema aquífero (adimensional) acusou o seguinte valor:

$$R = 112,5 \cdot 10^6 \times 2,5 \times 0,1 = 28,12 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A circulação do aquífero Boa Viagem verifica-se, como mostra o mapa potenciométrico – figura 3.2 – no sentido de oeste para leste, entretanto, algumas zonas apresentam uma exploração mais intensa mostrando curvas fechadas que denotam o fluxo radial entrípeto. Na Avenida Caxangá verifica-se uma dessas depressões fechadas com cotas negativas de 4m e na Avenida Recife uma outra depressão alcança os 6m negativos. No restante da área, a situação é mais ou menos uniforme, com decréscimos de cotas de oeste para leste, alcançando o valor máximo no bairro do Recife onde chega a atingir 10 m negativos de cota.

Os exutórios naturais do aquífero são os rios e o oceano, enquanto o artificial é representado pela intensa exploração dos poços na região. Uma parte da recarga anual do aquífero é drenada para os exutórios naturais enquanto outra para os artificiais.

A componente de descarga natural para a drenagem superficial e para o oceano pode ser avaliada em conjunto, pela vazão de escoamento natural - VEN - do sistema aquífero.

No estudo realizado pelo projeto HIDROREC (1998) foi encontrado um valor para a vazão de escoamento natural da ordem de 35 milhões de metros cúbicos ao ano, ou 1,12 m³/s

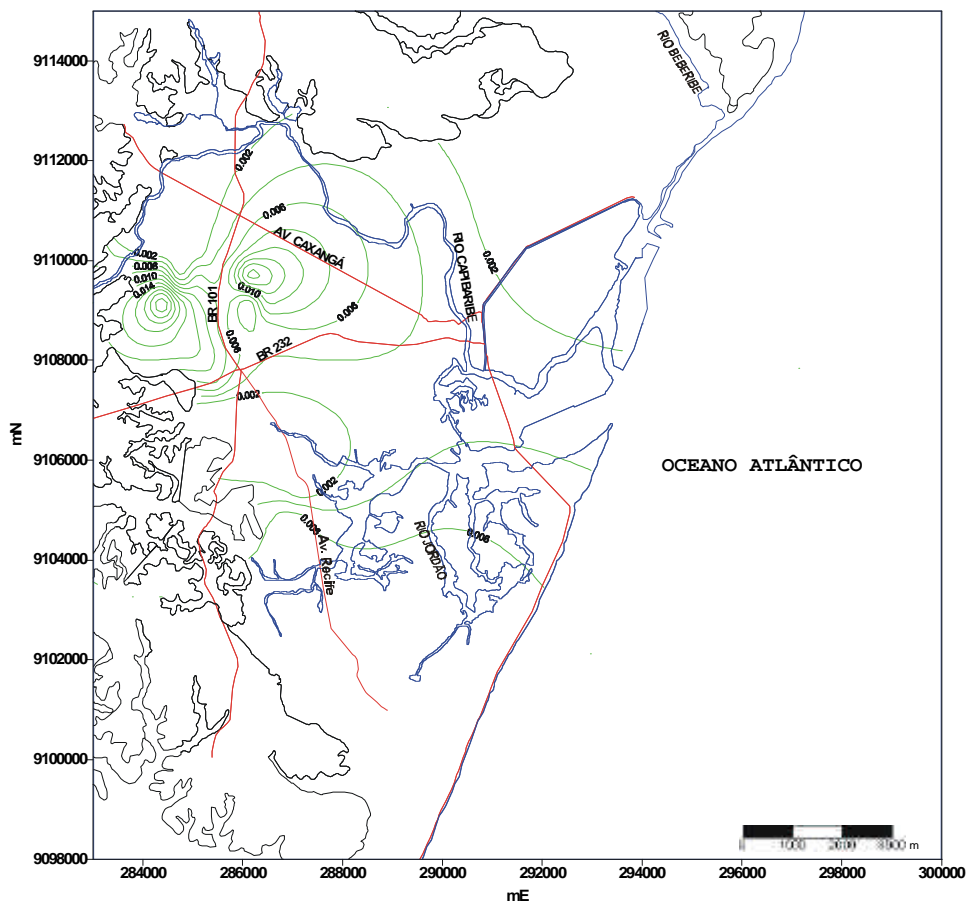


Figura 3.3 – Mapa De Iso-Transmissividades

Os 24 poços testados apresentaram os seguintes parâmetros estatísticos para a transmissividade do aquífero Boa Viagem:

- Média: $6,99 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
- Desvio padrão: $1,00 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
- Coeficiente de variação: 143,7%
- Valor máximo: $3,16 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
- Valor mínimo: $1,86 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

Os valores médios representativos dos coeficientes de transmissividade, condutividade hidráulica e porosidade eficaz do aquífero Boa Viagem, são de:

- Transmissividade: $T = 7.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
- Condutividade hidráulica : $K = 1,7.10^{-4}$
- Porosidade eficaz: $m = 0,10$

III.4 – INTERAÇÕES COM OS AQÜÍFEROS SOTOPOSTOS

O aquífero Boa Viagem apresenta uma importante propriedade na região além de atuar como um aquífero livre, que é o de recarregar os aquíferos a ele sotopostos, como sejam o aquífero Beberibe a norte do lineamento Pernambuco e o aquífero Cabo a sul desse mesmo lineamento.

A passagem entre os aquíferos superior e inferior nem sempre é marcado pela presença de material impermeável que impeça uma franca intercomunicação entre os dois. Em muitas localidades, como mostra o mapa da figura 3.4, ocorre uma **interconexão hidráulica** entre os dois aquíferos, apesar de existirem tanto num como no outro, camadas descontínuas, lentes ou bolsões de argilas que proporcionam condições de semi-artesianismo ao aquífero mais profundo.

Nessas áreas onde ocorre uma interconexão granulométrica entre os aquíferos, tais como nos bairros de Boa Viagem e Boa Vista-Espinheiro, o aquífero Boa Viagem deveria proporcionar uma recarga mais rápida aos aquíferos sotopostos de vez que não existindo camadas contínuas de aquícludes ou mesmo de aquítardes, o efeito de percolação vertical deveria verificar-se quase instantaneamente.

Na prática, todavia, o processo é bem mais complexo, pois, principalmente no bairro de Boa Viagem, onde a exploração do aquífero profundo – a Formação Cabo – se faz com maior intensidade, os níveis potenciométricos desse aquífero profundo se encontram à profundidades de até mais de 100m, enquanto o nível do freático permanece quase inalterado, à profundidades em torno de 5 m.

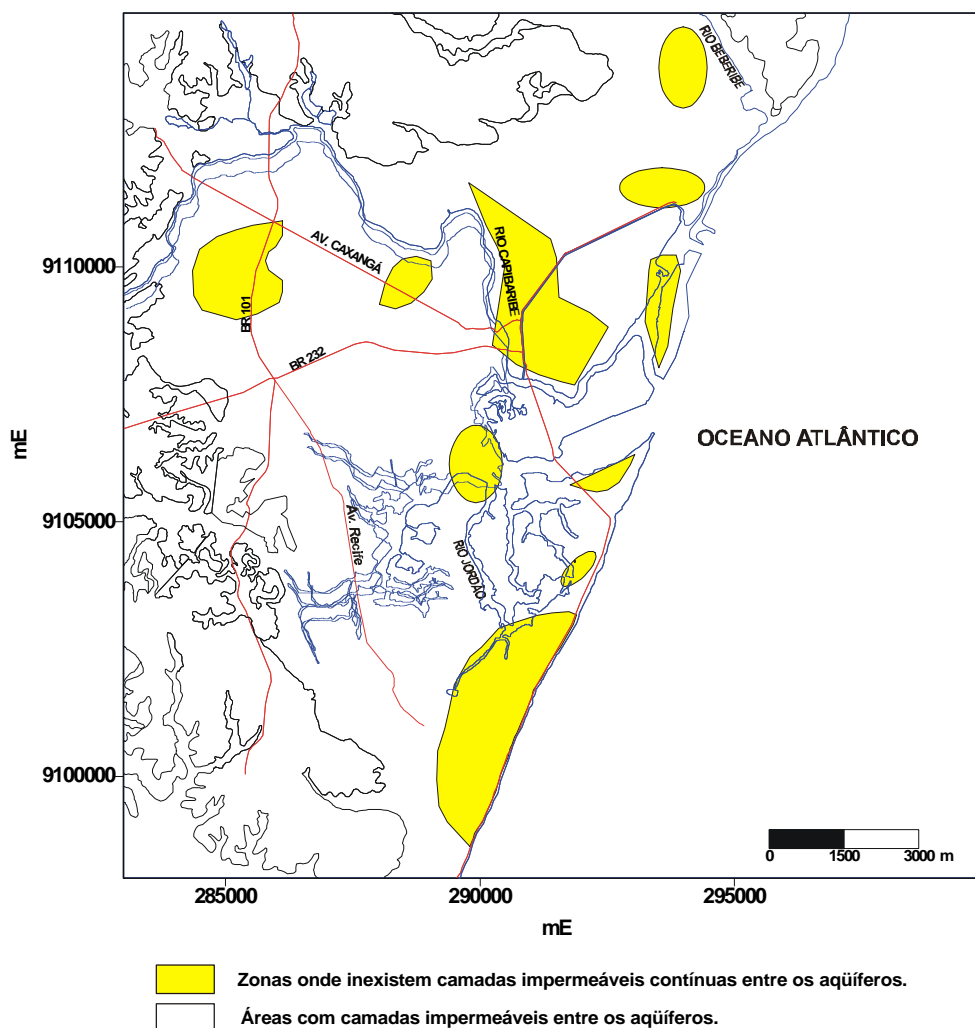


Figura 3.4 – Mapa De Interconexão Hidráulica Dos Aquíferos Superior e Inferior

Ao que tudo indica, as camadas argilosas que existem intercaladas dentro do aquífero Boa Viagem, principalmente próximo à sua base, estão proporcionando condições de isolamento do aquífero freático com as camadas sotopostas dos aquíferos Beberibe e Cabo. Os sedimentos recentes que constituem o aquífero Boa Viagem não são homogêneos, mas ao contrário, apresentam-se com alternâncias entre camadas arenosas e argilosas, proporcionando até níveis de semi-confinamentos dentro desse aquífero.

É possível ainda, que esteja acontecendo uma invasão da água oceânica em pontos localizados onde a exploração seja mais intensa, através da zona de interface água doce-água salgada, ou seja, um avanço da cunha salina, na medida que o aquífero mais profundo vem sendo super-explotado provocando um desequilíbrio nas pressões em torno daquela zona de interface.

Isso justificaria o processo de salinização da água dos poços existentes na praia de Boa Viagem, que vem progredindo de maneira assustadora, deteriorando a água de poços já existentes e impedindo a captação por novos poços.

O próprio aquífero Boa Viagem é possuidor de zonas de extrema salinidade, decorrente da existência de paleo-mangues que retêm sal e provoca a salinização das águas nas suas cercanias. Um exemplo disso é a região da Cidade Universitária, onde uma faixa que deve coincidir com um paleo-canal de rio, possui água muito salinizada (áreas do Hospital Universitário, Escola de Química e prédio da SUDENE), enquanto outras áreas próximas, como os prédios dos Centros de Tecnologia e de Ciências Básicas, a água é de excelente qualidade.

Assim, o processo de salinização do aquífero profundo também pode ser decorrente da percolação de águas salinizadas do aquífero Boa Viagem ao ser acelerado o fluxo vertical descendente em função do intenso rebaixamento da superfície potenciométrica do aquífero inferior. Essa conclusão foi apresentada pelo estudo de isótopos ambientais elaborado no âmbito do projeto HIDROREC.

Também deve ser considerada a percolação vertical descendente ao longo do espaço anelar entre o tubo de revestimento e a parede do poço, naquelas obras de perfuração mal executadas, onde não se procede a um isolamento bem feito dos aquíferos possuidores de águas salinizadas.

IV – CONSIDERAÇÕES SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA E A CONTAMINAÇÃO

A qualidade das águas subterrâneas reveste-se de importância tanto quanto o da sua quantidade devido as finalidades de uso, entendendo-se, por qualidade da água, o conhecimento da sua composição e os efeitos que podem causar os seus constituintes.

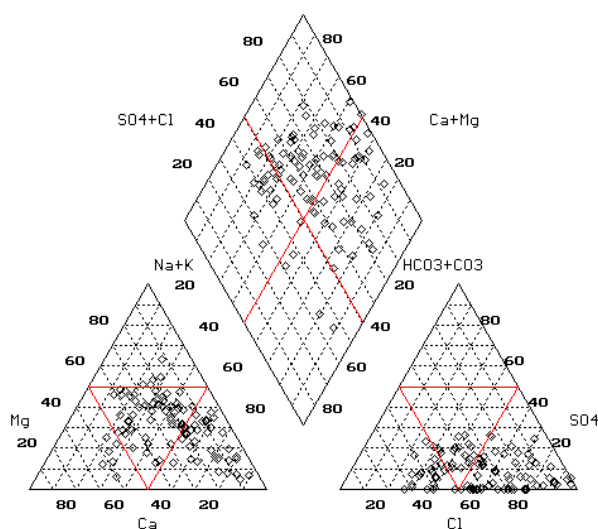
Estudos realizados por COSTA FILHO (1997), quanto aos limites de potabilidade estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS), concluíram que a maioria das águas do Aquífero Boa Viagem são potáveis, dentro dos limites de potabilidade dos elementos, estando, a condutividade elétrica com 43% dos valores abaixo de 500 μ S/cm, o pH com 57% dos valores entre 6 e 8, o cloreto com 87% das concentrações abaixo de 250mg/L, o sódio com 89% das concentrações abaixo de 200mg/L, o bicarbonato com 98% das concentrações abaixo de 500mg/L, e o cálcio com 100% das abaixo de 200mg/L. Ainda, com relação ao pH, apenas 9% das águas são consideradas ácidas, porém, 39% das águas

são consideradas alcalinas, oferecendo uma certa preocupação quanto à corrosão e à incrustação.

COSTA *et al* (1997) classificaram as águas quanto à dominância dos íons, baseado nos valores de cátions e ânions e quanto à sua adequabilidade para irrigação, baseado nos valores de SAR e de condutividade elétrica. Para a classificação quanto ao tipo das águas subterrâneas foram elaborados diagramas de Piper e gráficos de barra e circulares, enquanto que, para a classificação para irrigação, foram elaborados diagramas de Wilcox segundo o *United States Salinity Laboratory* – USSL.

O

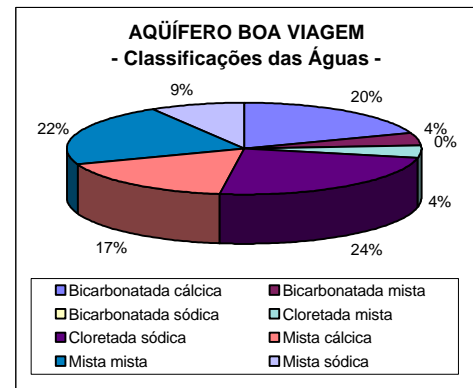
b
s
e
r
v
a
-
s
e
q



ue, pelo diagrama de Piper – Figura 4.1 - as águas do Aquífero Boa Viagem são predominantemente Cloretada Mista a Sódica de ambiente Cloretado Cálcico/Magnésiano enquanto que nos outros dois aquíferos da Planície do Recife, Beberibe Inferior e Cabo, são predominantemente Cloretada Sódica a Mista de ambiente Cloretado Cálcico/Magnésiano, e predominantemente Cloretada Sódica de ambiente Cloretado Sódico, respectivamente.

Figura 4.1 - Diagrama De Piper Para Classificação Das Águas Do Aquífero Boa Viagem

Apesar do diagrama de Piper mostrar uma classificação predominante, observa-se, pelo gráfico circular ao lado, uma variedade muito grande com 8 (oito) tipos de água, quanto à classificação iônica nesse aquífero (COSTA *et al, op.cit.*). Nos outros aquíferos da região, Beberibe Inferior e Cabo, a predominância das águas é de, respectivamente, mista mista (40%) e cloretadas sódicas (46%).



Quanto à classificação das águas do Aquífero Boa Viagem para irrigação (Figura 4.2), observa-se que possui similarmente três classificações, C_1S_1 (25,8%), C_2S_1 (35,5%) e C_3S_1 (22,6%), com risco de salinidade (88,2%) variando de baixo a alto e risco de sódio baixo (89,2%). O mesmo comportamento também é apresentado pelos outros dois aquíferos apresentando um risco de sódio essencialmente baixo, com algumas águas apresentando riscos maiores de sódio, e o risco de salinidade variando, na média, de baixo a alto grau, sendo o mais predominante o de médio grau. Desta forma podem ser utilizadas em quase todos os tipos de solos com fraco risco de aparição de teores nocivos de sódio susceptível de troca, servindo para irrigar a maioria das culturas, preferencialmente com lixiviação moderada do solo, sendo as plantas de fraca tolerância salina as mais aceitáveis neste caso.

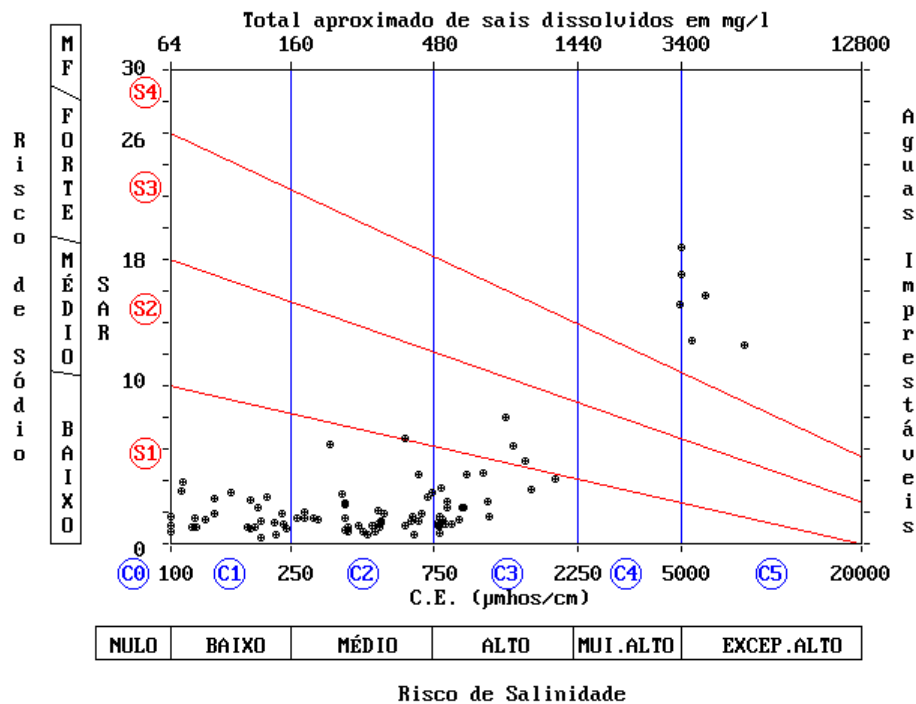


Figura 4.2 - Diagrama De Wilcox Para Classificação De Águas Para Irrigação, Segundo O USSS, Para O Aquífero Boa Viagem

COSTA FILHO (*op.cit.*), detectou três focos de salinização das águas desse aquífero na Planície do Recife, situados, um no bairro do Recife antigo e dois no bairro de Boa Viagem, coincidentes de altas concentrações de sódio, de cloreto, e de condutividade elétrica, que mantiveram, entre si, altas correlações (>98,5). Relações iônicas entre o cloreto e o bicarbonato, mostraram que, um dos focos do bairro de Boa Viagem, apresenta, além das altas concentrações dos elementos supracitados, valores superiores a 20, equivalentes a valores da água do mar, indicando possível foco de contaminação com água de origem marinha neste bairro.

Porém, estudos complementares por COSTA *et al.*, (*op.cit.*), com isótopos estáveis, através de oxigênio-18 ($-2,3 < \delta^{18}\text{O} < -1,3 \text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{médio}} = -1,8 \pm 0,4$) e deutério ($+1,0 < \delta^2\text{H} < +4,0 \text{‰}$), mostraram 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, esses focos de contaminação por água salinizada, são ocasionados não pelo avanço da cunha salina mas sim pela própria composição do aquífero (que contém manguezais e paleomangues).

Mesmo pensando em mistura de água do mar com água das chuvas regionais que têm em média $\delta^{18}\text{O} = -3,2 \text{ ‰}$, a mistura não daria os valores encontrados nas águas subterrâneas analisadas. O valor de $-1,0 \text{ ‰}$ por exemplo, seria proveniente de uma mistura com 71% de água do mar e neste caso teria uma condutividade elétrica mais elevada do que os valores encontrados no aquífero.

Baseando-se nos parâmetros disponíveis, como tipo de ocorrência da água subterrânea (ou condição do aquífero), características dos estratos acima da zona saturada, em termos de grau de consolidação e tipo litológico e profundidade do nível da água, o Aquífero Boa Viagem foi classificado quanto à sua vulnerabilidade natural (LEAL, 1994), como **alta**, seguindo o método de conhecimento da vulnerabilidade proposto por FOSTER *et al* (1988). Isto é, trata-se de um aquífero vulnerável a muitos contaminantes exceto àqueles que são muito absorvíveis e/ou facilmente transformáveis, ficando sujeito a contaminação por águas salinizadas e/ou poluídas, embora esse aquífero seja localmente bom armazenador de água subterrânea na Planície do Recife.

Durante o estudo de COSTA *et al* (*op.cit.*), foram levantadas as fontes potenciais de poluição das águas subterrâneas, existentes na Região Metropolitana do Recife, tais como postos de combustível, indústrias (com riscos de contaminação), cemitérios e lixões.

Aparentemente, o maior risco de contaminação dos aquíferos da região, dentre eles o Aquífero Boa Viagem, reside nos postos de combustível, principalmente na área do Recife, onde se concentra a maior parte da população (2/3 da região metropolitana) e ocorre a maior quantidade de postos – 145 – o que representa 81,5% de todos os postos da região metropolitana.

Em todas as grandes áreas urbanas brasileiras onde já foi efetuado estudo do nível de contaminação provocado por vazamentos de tanques de combustíveis, como foram as cidades de São Paulo e Porto Alegre, foi constatado um elevado índice de contaminação desses depósitos enterrados no sub-solo. O fato de não haver qualquer fiscalização sistemática, enseja que a vida útil desses tanques seja constantemente ultrapassada resultando em corrosão e vazamentos do combustível que passa diretamente para o freático muito próximo à superfície.

A segunda fonte provável de contaminação é representada por efluentes de produtos ou resíduos industriais, todavia, levando-se em conta que apenas 40% das mesmas se

situam na área onde ocorre maior concentração populacional, isto é, na cidade do Recife, bem como o controle exercido pelo órgão de controle da poluição – a CPRH – às indústrias no Estado de Pernambuco, admite-se como pouco provável que esteja havendo efetiva contaminação por parte dessas indústrias.

Os lixões, em número de 20 poderiam se constituir em importante fonte de contaminação dos aquíferos no caso de se situarem em áreas de recarga ou na zona livre do aquífero. A sua localização, corresponde à região norte, onde o aquífero se localiza à profundidades superiores a 200m, na condição de confinamento. Excetuam-se os casos dos lixões de Igarassu e Itapissuma que se localizam nas áreas de recarga do aquífero Beberibe, podendo estar carretando a sua contaminação. Estudo específico deve ser desenvolvido nesses lixões a fim de se detectar o nível de contaminação que possam estar provocando aos aquíferos da região.

Por fim, vêm os cemitérios, em número de 14 (quatorze), dos quais 42% se localizam na cidade do Recife. Embora produzam uma carga de chorume bem inferior àquela produzida pelos lixões, os cemitérios devem ser estudados principalmente por sua localização, no centro das áreas urbanas, sobretudo da cidade do Recife.

V – A EXPLOTAÇÃO DO AQUIFERO E SUAS CONSEQÜÊNCIAS

Apesar das condições de exploração do aquífero Boa Viagem serem muito facilitadas pela sua proximidade com a superfície do terreno, o que proporciona condições de captação através de poços rasos, deve-se ter cuidado com a qualidade da água a ser captada.

Por ser um aquífero de pouca profundidade e localizado dentro de uma área urbana onde os focos de poluição são os mais variados, desde as fossas sanitárias residenciais, até os lixões, efluentes e vazamentos de esgotos, cemitérios, vazamentos de combustíveis em postos, efluentes de rejeitos industriais, dentre outros, a sua vulnerabilidade é muito elevada.

O acesso a esse aquífero é procedido na maioria dos casos, através de poços perfurados à trado, poços ponteira e poços amazonas, que são obras de baixo custo e fácil acesso à população de média a baixa renda. Um poço tubular profundo é em geral acessível apenas a condomínios residenciais ou prédios públicos.

O problema vem se agravando na cidade do Recife em função das duas últimas secas de 92/93 e 98/99 que afetaram o já precário serviço de abastecimento público de água, forçando a população a recorrer ao manancial hídrico subterrâneo. Com isso, o número de

poços cadastrados em 1995 pelo projeto HIDROREC, que era de 2.100, se acha atualmente duplicado.

A super-exploração das águas subterrâneas vem acarretando uma série de problemas que poderão se tornar irreversíveis, sobretudo a salinização acentuada das águas desse manancial.

Conquanto não tenha ainda sido realizado um estudo sobre o efetivo nível de poluição das águas subterrâneas do aquífero Boa Viagem pode-se supor os riscos que a população vem sendo submetida pela ingestão de águas poluídas tanto sob o ponto de vista orgânico, principalmente bactérias, como químico.

VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Do exposto, pode-se concluir que o aquífero Boa Viagem embora não venha apresentando os problemas de exaustão a que se submete os aquíferos Beberibe e Cabo na cidade do Recife, apresenta todavia, uma elevada vulnerabilidade à poluição e vem, provavelmente, proporcionando problemas de saúde a grande parte da população de média a baixa renda.

As recomendações que se pode apresentar em função do quadro apresentado são as seguintes:

- que se elabore urgentemente estudos visando caracterizar o nível de contaminação que representam os focos potenciais de contaminação já levantados no estudo do HIDROREC
- que se desenvolva uma campanha pública de esclarecimento sobre os riscos a que se submete a população sobre a captação e uso dessas águas sem qualquer tratamento
- que se faça cumprir pelo órgão gestor a legislação existente em Pernambuco sobre o uso e a preservação das águas subterrâneas
- que seja urgentemente ampliado o serviço de abastecimento público de água para que a população não se veja obrigada a captar de forma predatória e com riscos de saúde, o aquífero Boa Viagem.

VII – BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

- ALHEIROS, M.M., FERREIRA, M.da G.de V.X., LIMA FILHO, M.F.de, 1995. Mapa geológico do Recife. Escala 1:25.000, com Sinopse Geológica. Convênio Carta Geotécnica da Cidade do Recife. FINEP/LSI-DEC-UFPE. Recife, PE.
- ALVAREZ, C; CRUZ, W.B.; PEIXOTO, C.A.M., 1980 Modelo Matemático do Aquífero Beberibe. In: I Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Recife, PE.
- BATISTA, R.P., 1984. Estudo Hidrogeológico da Planície do Recife. Dissertação de Mestrado, UFPE, Recife, PE. 91p.
- BEZERRA, M.A.; ALMEIDA, J.C.;SOUZA, P.C., 1970. O Aquífero Beberibe e as Melhores Áreas de Captação de Água Subterrânea. Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Geologia. SBG. Brasília-DF.
- COMPESA/CPRM, 1978. Diagnóstico Preliminar das Condições de Exploração de Água Subterrânea do Aquífero Beberibe. Área Olinda - Paulista - Itamaracá.. Companhia Pernambucana de Saneamento / Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (5 volumes). Recife-PE.
- COMPESA/ACQUA-PLAN - 1982 - Plano Diretor de Recursos Hídricos - Região Metropolitana do Recife, Vol. III - Recursos Hídricos Subterrâneos. Recife-PE.
- COSTA, W.D.; REBOUÇAS,A. DA C. & COUTINHO,P.DA N.- 1968 - Reconhecimento Geológico e Hidrogeológico do Recife e Municípios Adjacentes - Anexo do Planejamento do Sistema de Abastecimento D'água da Área Metropolitana do Recife - DSE/SUDENE, Recife-PE.
- COSTA, W.D. & SANTOS, A.C. – 1990 - Zoneamento para Utilização de Água Subterrânea no Município de Recife. Anais do Seminário de Engenharia Civil do Nordeste. "Civil 90", Recife-PE., pp. 519-530.
- COSTA, W.D., SANTOS, A.C., COSTA FILHO, W.D. – 1991 - A Superexploração e a Salinização da Água Subterrânea na Planície do Recife. In: XIV Simpósio de Geologia do Nordeste. Recife, SBG. 139-142.
- COSTA, W.D., SANTOS, A.C., COSTA FILHO, W.D., 1994. O Controle Estrutural na Formação dos Aquíferos na Planície do Recife. In: 8o Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Recife, ABAS. 38-43.
- COSTA, W. D. & SANTOS, A. C. - 1994 - A Possibilidade de Poluição das Águas Subterrâneas pelo Lixão da Muribeca. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Recife - PE.

- COSTA, W. D.; MANOEL FILHO, J.; SANTOS, A. C.; COSTA FILHO, W. D.; MONTEIRO, A. de B.. Estudo Hidrogeológico da Região Metropolitana do Recife. Projeto HIDROREC, Recife. Convênio FADE/UFPE – IDRC Canadá, 1997. 228p. il.
- COSTA FILHO, W. D. Estudo Hidroquímico nos Aqüíferos da Planície do Recife. Recife, 1997. 225p. il. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco, 1997.
- COSTA, W.D.; MANOEL FILHO, J.; SANTOS, A.C.; COSTA FILHO, W.D.; MONTEIRO, A.B.; E SOUZA, F.J.A. – 1998 - “Gestão Dos Recursos Hídricos Subterrâneos Na Cidade Do Recife/Pe-Brasil”, Anais Do Congresso Sul-Americano De Águas Subgterrâneas , da ALSHUD– Montivideu – Uruguai. Esse trabalho se constituiu numa síntese do relatório hidrogeológico do projeto HIDROREC elaborado pelo convênio UFPE/IDRC em 1998.
- CPRM/FIDEM, 1994a. Sistema de Informações para Gestão Territorial da Região Metropolitana do Recife - Projeto SINGRE, Levantamento Gravimétrico da Área Sedimentar da Região Metropolitana do Recife. CPRM/ FIDEM. Recife-PE. 38p. (Série Cartografia Temática, 2).
- CPRM/FIDEM, 1994b. Sistema de Informações para Gestão Territorial da Região Metropolitana do Recife - Projeto SINGRE, Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas da Região Metropolitana do Recife. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/ Fundação de desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife. Recife-PE. 27p. (Série Recursos Hídricos, 2).
- CRUZ, W. B.; SILVA, A. B.; JARDIM, F. G.; PEIXOTO, C. A. M., 1978. Modelamento de Simulação Analítica de Exploração do Aqüífero Beberibe na Área de Olinda-Igarassu-PE. Rervista Brasileira de Geociências, Vol. 8, p 32-54.
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R., 1977. Estudo Sobre as Possibilidades de Intrusão Marinha no Aqüífero Beberibe, Região Costeira de Olinda-Goiana (PE). Rev. Bras. Geoc., São Paulo, vol.8, p 239-255.
- CUSTÓDIO, E.; CRUZ, W. B.; SILVA, A. B.; JARDIM, F. G.; PEIXOTO, C. A. M., 1978. Idade das Águas Subterrâneas no Aqüífero Beberibe na Região Costeira de Olinda – Goiana, Estado de Pernambuco. Rev. Bras. Geoc., São Paulo, vol. 8, p 103-112.
- FRANÇA, H.P.M.de, VASCONCELOS NETO, B.G.M., ANDRÉ, H.O., CIRILO, J.A., CABRAL, J.J.S.P., 1988. Análise Preliminar do Comportamento Hidrodinâmico e da Intrusão Marinha no Aqüífero Beberibe na Região Metropolitana Norte do Recife. In: 1o Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste. Recife, ABAS. 59-72.

- LEAL, Onofre. Sistema de Informações para Gestão Territorial da Região Metropolitana do Recife – Projeto SINGRE; Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas da Região Metropolitana do Recife. Recife: CPRM/FIDEM, 1994. 27p.il. (Série Recursos Hídricos, 2).
- MANSO, W. A. V.; PEDROSA, F. J. A.; SANTOS, A. C. ; MEDEIROS, A. B. ; MARTINS, M. H. A.; AMARAL, A. R., 1993. Aquífero Beberibe : Áreas de Recarga e Sua Conservação Ambiental. Anais do V Congresso Nordestino de Ecologia; Natal-RN.
- RAND, H. M. & MANSO, V. A. V., 1990. Mapas Gravimétricos e Magnetométricos da Faixa Costeira do Nordeste do Brasil. In CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, XXXVI, SBG, Natal-RN. Anais. SBG; 1990. Vol. 5, p. 2431-2438.
- REBOUÇAS, A. C., 1966. Faixa Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba-Rio Grande do Norte. Aspectos Hidrogeológicos, Anais do II Simpósio de Geologia do Nordeste.
- ROLIM FILHO, J.L., 1987. Uma Análise Estatística da Hidroquímica do Aquífero da Região do Recife. Dissertação de Mestrado. Recife, UFPE. Vol.I e II.
- SANER/CONTEGE, 1970 - Estudo Hidrogeológico do Arenito Beberibe na área de Dois Unidos. Recife, Saneamento do Recife/Consultoria Técnica de Geologia e Engenharia Ltda.
- TEIXEIRA, J. A., 1988. Modelo Conceitual Para Uso e Proteção dos Recursos Hídricos da Faixa Costeira Recife-João Pessoa. Tese de doutoramento, USP, São Paulo-SP. 271p.