

RISCOS POTENCIAIS E REAIS DECORRENTES DA SUPER-EXPLOTAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO RECIFE-PE

Waldir Duarte Costa ¹

Resumo - Em decorrência do precário atendimento do serviço público de abastecimento d'água da cidade do Recife, situação que foi agravada com os dois períodos de estiagem da década de 90, em 92/93 e 98/99, a população da capital pernambucana voltou-se intensamente para a captação das águas subterrâneas. A super-exploração dos aquíferos, que em 1995 já apresentava um déficit entre a recarga e a descarga (natural + artificial) da ordem de 800 l/s, agravou-se sensivelmente com os rebaixamentos da superfície potenciométrica até profundidades superiores a 100m. Em decorrência dessa depleção das reservas permanentes, já vem se configurando um quadro de exaustão em áreas de Boa Viagem e uma expansão das áreas com salinização que já atinge cerca de 20% da área da planície. Potencialmente existe ainda o risco de uma catástrofe futura, com a subsidência de terrenos, como ocorreu em várias partes do mundo, sobretudo no vale de São Joaquim na Califórnia e na cidade do México. Na planície costeira o risco potencial de uma subsidência representa uma catástrofe porque a cidade poderia ser parcial ou totalmente invadida pelas águas do oceano.

Palavras-chave - super-exploração, salinização, subsidência

1. INTRODUÇÃO

1.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

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

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

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

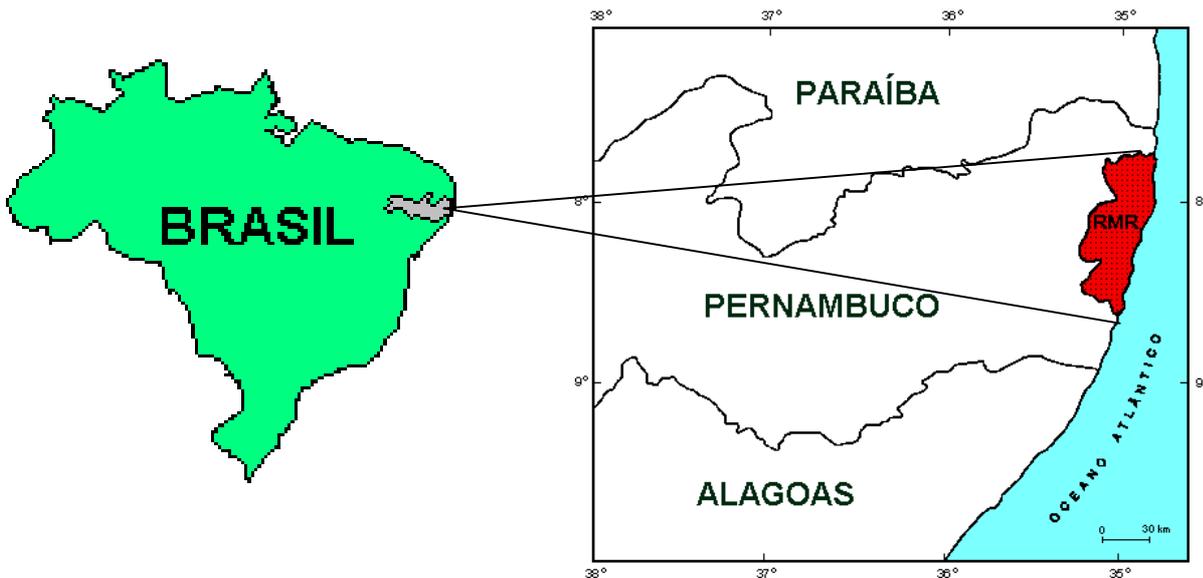


FIGURA 1.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

1.2. HISTÓRICO SOBRE OS ESTUDOS REALIZADOS

Os primeiros estudos hidrogeológicos realizados na RMR datam da década de 60, e vêm se processando até os dias atuais; a seguir estão descritos os mais relevantes trabalhos realizados, em ordem cronológica.

Em 1968 COSTA, W.D. et al, por elaboraram o estudo “Reconhecimento Geológico e Hidrogeológico do Recife e Municípios Adjacentes” como parte integrante do Planejamento do Sistema de Abastecimento d’Água da Área Metropolitana do Recife, para o Departamento de Saneamento do Estado de Pernambuco (DSE/SUDENE), uma primeira avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos e das disponibilidades das reservas do aquífero Beberibe, com base num cadastro pioneiro de 192 poços tubulares, tornando-se um marco na hidrogeologia local.

No final da década de 60, o DSE, através do convênio com o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), realizou uma nova avaliação das disponibilidades hídricas subterrâneas, visando as características hidrodinâmicas do aquífero Beberibe e

suas reservas exploráveis, bem como as melhores áreas para captação de águas subterrâneas. Os resultados desse trabalho foram resumidos e divulgados por Bezerra & Almeida, no trabalho intitulado “O Aquífero Beberibe e as Melhores Áreas para Captação de Águas Subterrâneas” no ano de 1970.

Em dezembro de 1970, a Consultoria Técnica de Geologia e Engenharia Ltda. (CONTEGE), elaborou o estudo hidrogeológico do arenito Beberibe na área de Dois Unidos (Recife), com a finalidade de definir uma bateria de poços para captação de 21.600 m³/dia para a Companhia de Saneamento do Recife (SANER).

Na seqüência, dando continuidade aos estudos hidrogeológicos na RMR, foi realizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e Companhia Pernambucana de Saneamento e Água (COMPESA) um diagnóstico preliminar das condições de exploração de água subterrânea no aquífero Beberibe, na área de Olinda-Paulista-Itamaracá (França, H. P. M. & Capucci, E. B., 1978); nesta pesquisa foram aprofundados os conhecimentos sobre o aquífero Beberibe na RMR norte, apontando restrições à continuidade da exploração a nível de atendimento da demanda global da região metropolitana norte, mostrando a necessidade de captação suplementar de água superficial, o que motivou à construção da Barragem do rio Botafogo.

Batista, R. P., no ano de 1984, elaborou sua dissertação de mestrado na Universidade Federal de Pernambuco, intitulada “Estudo hidrogeológico da planície do Recife-PE”, concluindo que o aquífero Beberibe na área entre o bairro de Brasília Teimosa e o limite do município de Olinda encontra-se em regime de super-exploração, com riscos de salinização desse manancial hídrico subterrâneo, recomendando que se procedesse um estudo específico da situação da interface marinha.

Também em 1985, o Grupo de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Pernambuco (GRH/UFPE), elaborou dois modelos de simulação numérica do aquífero Beberibe, tendo como objetivo a avaliação do comportamento hidrodinâmico do aquífero na área continental, a análise da posição original da cunha salina e do seu avanço.

Ainda em 1988, Teixeira, J. A. contribuiu para o estudo da interface marinha, com uma tese de doutorado na Universidade de São Paulo-USP sob o título “Modelo conceitual para uso e proteção dos recursos hídricos da faixa costeira Recife-João Pessoa” em que aborda com muita atenção os aspectos preventivos da intrusão de água do mar, bem como a preservação da qualidade da água.

No ano de 1989, Costa, W. D. & Santos, A. C. (1989), 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 convênio com o FINEP.

Na década atual, vários trabalhos foram realizados pela CPRM, destacando-se os seguintes trabalhos: “Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos e Riscos de Contaminação das Águas Subterrâneas da Região Metropolitana do Recife” no ano de 1994, do qual resultaram os mapas de vulnerabilidade das águas subterrâneas, de carga contaminante e de risco de contaminação das águas subterrâneas e “Os Aterros Sanitários e a Poluição das Águas Subterrâneas”; também no ano de 1994, onde foram definidas as áreas de maior ou menor favorabilidade para instalação de aterros sanitários.

No mais recente trabalho executado entre 1995 e 1998, a UFPE em convênio com o IDRC do Canadá , sob a coordenação de COSTA,W.D., foi realizado um estudo hidrogeológico em que foram avaliadas as reservas permanentes e reguladoras bem como as disponibilidades efetivas. A partir de um cadastramento de 2.100 poços, efetuou o balanço entre as entradas e saídas que acusou um déficit de 800 l/s e diagnosticou áreas críticas para a exploração. Foi elaborado pela primeira vez um levantamento dos focos potenciais de poluição. Também apresentou um zoneamento de exploração com limitação de vazões diferenciadas por zonas, trabalho esse efetuado pela primeira vez na América Latina. Os dados coligidos nesse trabalho ensejaram a elaboração de duas dissertações de mestrado, dos geólogos Waldir Duarte Costa Filho e Adson Brito Monteiro e uma tese de doutorado do geólogo e professor da UFPE Almany Costa Santos.

2. GEOLOGIA REGIONAL E LOCAL

A área de interesse ao estudo compreende sobretudo a Planície do Recife, circundada pelos morros e chãs que se estendem para norte, sul e oeste, representados ora pelos sedimentos cenozóicos da Formação Barreiras, ora pelo embasamento cristalino.

Os dois principais domínios geológicos que ocorrem na área são a Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba que se estende para o norte, cuja principal formação geológica de interesse hidrogeológico é a Formação Beberibe e a Bacia Vulcano-Sedimentar do Cabo, com a Formação Cabo desempenhando o principal papel como aquífero.

Recobrando essas formações, no âmbito da planície, ocorrem sedimentos recentes, de natureza variada – delta fluvial, colúvios, mangues, terraços fluvias e sedimentos de praia, que no conjunto receberam a designação de aquífero Boa Viagem.

O mapa geológico simplificado apresentado na figura 2.1 mostra a distribuição dessas unidades litológicas na área e a seguir será apresentado o breve relato de cada unidade lito-estratigráfica.

2.1. A BACIA SEDIMENTAR PERNAMBUCO-PARAÍBA

A Bacia Costeira Pernambuco-Paraíba, situada na porção norte da Região Metropolitana do Recife, é formada por uma seqüência de rochas sedimentares que vão desde o Cretáceo com as formações Beberibe (basal, arenítica) e Gramame (superior, calcária), até o Terciário com a Formação Maria Farinha (calcária).

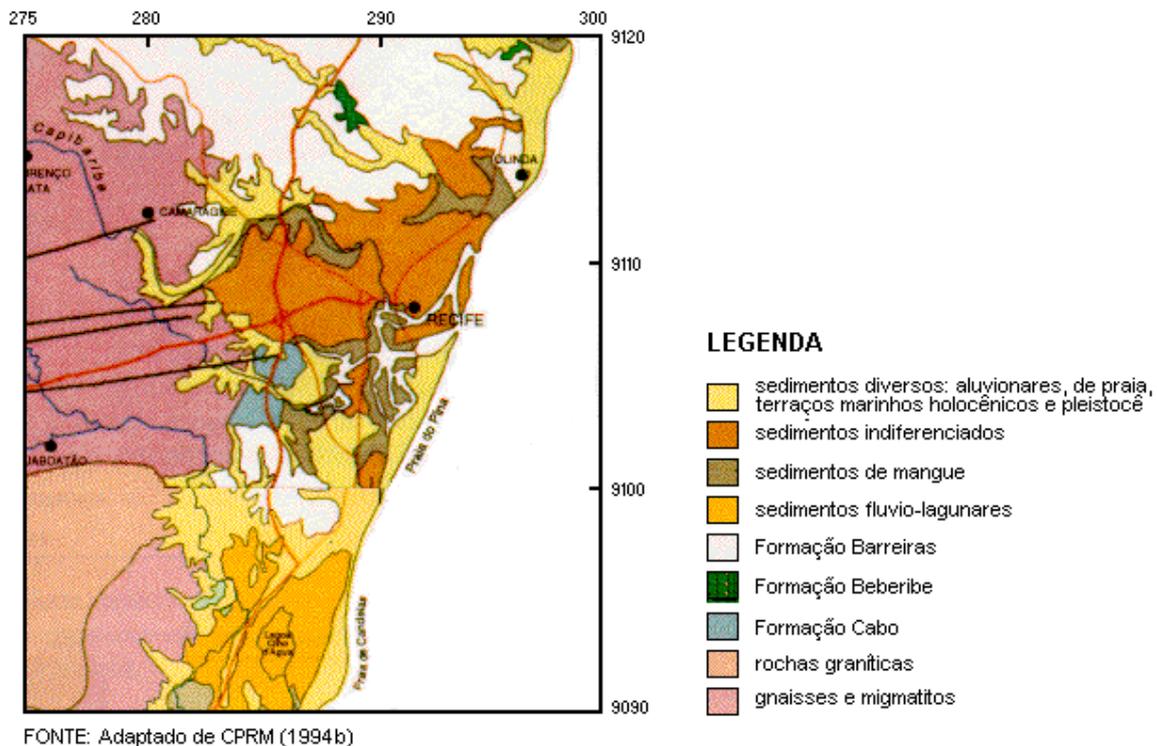


FIGURA 2.1. MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO DO RECIFE

Recobrimo as diversas formações da bacia, ocorrem os sedimentos continentais plio-pleistocênicos da Formação Barreiras (sedimentos areno-argilosos) e, ainda, sedimentos diversos do Quaternário como sedimentos aluviais, de praia, terraços marinhos holocênicos e pleistocênicos, de mangue, flúvio-lagunares e, ainda, outros sedimentos indiferenciados que recobrem praticamente toda a planície do Recife.

a) Formação Beberibe (Cretáceo Superior)

Ocorre extensivamente na Bacia Pernambuco-Paraíba (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 ainda 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 (Costa et al, 1968) 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).

Regionalmente a seqüência sedimentar da Formação Beberibe, constitui um sistema hidráulico único. Na sua maior parte ocorre como um aquífero semi-confinado drenante, com forte anisotropia e permeabilidade vertical menor em relação à horizontal. Em áreas restritas, esse nível siltico-argiloso funciona como aquitardo, separando os dois sub-níveis, e condicionando um comportamento de semi-confinado para o sub-nível inferior.

As características litológicas desse aquífero proporcionam uma estratificação química das suas águas, com águas cloretadas e mais agressivas na porção inferior e águas carbonatadas com dureza elevada na porção superior.

b) Formação Gramame (Cretáceo Superior -Maestrichtiano)

Ocorre restritamente ao longo de uma faixa norte-sul estreita e descontínua na porção leste da bacia sedimentar, da cidade de Olinda para norte, recobrando os arenitos calcíferos da Formação Beberibe em contato concordante e gradacional.

É caracterizada por sedimentos carbonatados, iniciados por arenitos calcíferos que gradam para calcários arenosos, culminando no topo com calcários dolomíticos e margosos muito fossilíferos.

Sua espessura máxima, detectada em poços, na Planície do Recife, não ultrapassa 70 metros, conquanto, para norte, sua espessura possa atingir mais de 100m. As características dessa formação, acima descritas, não lhe conferem importância como reservatório de água subterrânea.

c) Formação Maria Farinha (Terciário -Paleoceno a Eoceno)

Essa formação, embora constituindo uma unidade estratigráfica individualizada em termos de conteúdo faunístico, tem características litológicas e modo de ocorrência idênticos aos da Formação Gramame, que lhe é subjacente concordantemente. Consequentemente, sua importância é também irrelevante para água subterrânea.

2.2. A BACIA VULCANO-SEDIMENTAR DO CABO

A Bacia sedimentar do Cabo ocupa toda a faixa costeira sul do Estado de Pernambuco e possui uma forma alongada na direção N40E, e uma largura média de 10 Km na porção emersa. Está reunida por Amaral & Menor (1979) no Grupo Pernambuco. O limite desta bacia, a sul, é feito pelo Alto de Maragogi (limite dos estados de Pernambuco e Alagoas), a norte, pelo Lineamento Pernambuco com direção aproximada E-W (na planície do Recife), e a oeste através de falhas normais com o Maciço Pernambuco-Alagoas. Trata-se de uma bacia do tipo rift (Rift do Cabo) com espesso pacote sedimentar, atingindo mais de 3.000 metros de espessura.

Essa bacia se diferencia em estrutura, estratigrafia e hidrogeologia da Bacia Pernambuco-Paraíba: estruturalmente devido ao seu aspecto não homoclinal (um padrão graben-horst), na qual o Lineamento Pernambuco funcionou como uma barreira à evolução do rift; do ponto de vista estratigráfico diferencia-se por possuir as unidades líticas mais antigas de toda a Faixa Sedimentar PE-PB e do ponto de vista hidrogeológico pelo menor potencial quantitativo das águas subterrâneas.

a) Formação Cabo (Cretáceo Inferior -Aptiano)

Ocorre exclusivamente na bacia de mesmo nome, e seus afloramentos mais setentrionais conhecidos ocorrem na periferia da cidade do Recife, imediatamente ao sul do Lineamento Pernambuco, ocorrendo ainda, recoberta por sedimentos recentes em toda a região de Boa Viagem-Piedade-Imbiribeira. Esse lineamento é tido hoje como o limite das bacias sedimentares do norte (Bacia Pernambuco-Paraíba) e do sul (Bacia Vulcano-Sedimentar 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 2.900 metros, conforme os perfis revelados pelos poços: **2-CPE-1-PE** (PETROBRÁS), perfurado na praia do Cupe e **9-JG-1-PE** (GOVERNO 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 Pernambuco, atestam essa baixa vocação.

b) Formação Estiva (Cretáceo Médio - Cenomaniano)

Como a anterior, sua ocorrência restringe-se à região sul da RMR, tornando-se inexistente nos domínios da Planície do Recife. Constitui-se por uma seqüência clástico-carbonática depositada discordantemente sobre a Formação Cabo. Nessa formação predominam, na base, arcósios carbonáticos, crescendo verticalmente a participação carbonática até caracterizar, no topo, margas e calcários dolomíticos fossilíferos.

Sua maneira de ocorrência (manchas isoladas) bem como sua natureza litológica, não lhe conferem uma vocação aquífera.

c) Formação Ipojuca (Cretáceo Inferior a Superior- Aptiano/Turoniano)

Trata-se de um conjunto de rochas vulcânicas de composição extremamente variável, desde básica - basaltos, andesitos e traquitos - até ácidas - riolitos, apresentando-se como derrames, sills, plugs e diques, nos municípios do Cabo e Ipojuca.

Sua presença pode ser constatada na Planície do Recife, em poços perfurados, tanto sob a forma de derrame sobre o embasamento, como por exemplo na região do Ipsep, como intercalada em forma de sills dentro da Formação Cabo ou na Formação Estiva, e ainda na região de Piedade/Candeias, onde o poço perfurado até os 1.100m de profundidade atravessou uma seqüência alternada de vulcanitos e sedimentos.

Além de não oferecerem interesse como aquífero, podem ainda agravar as condições de porosidade e permeabilidade das rochas da Formação Cabo e Estiva que funcionam como encaixantes, em virtude da cimentação que acarreta nessas formações os flúidos em elevadas temperaturas emanados das intrusões ígneas.

2.3. OS SEDIMENTOS DE COBERTURA

Os sedimentos cenozóicos ocorrem ora em cobertura das bacia sedimentares em forma destacada no relevo, formando morros, chãs e tabuleiros, ora em depressões e planícies costeiras.

a) Formação Barreiras (Plio-Pleistocênio)

Ocorre principalmente na porção ocidental da faixa sedimentar da zona norte, ocupando mais de 50% da área da Região Metropolitana do Recife Norte, recobrando discordantemente e indistintamente o cristalino e as formações cretáceas e terciárias da Bacia PE-PB. Corresponde à zona de tabuleiros dissecados por vales estreitos e profundos. As exposições dessa formação no litoral sul não são significativas, ocorrendo na forma de pequenos morros isolados.

A litologia caracteriza-se por areias argilosas e argilas variegadas, de origem continental, exibindo localmente níveis arenosos mais grosseiros. A Formação Barreiras constitui um sistema aquífero que pode, localmente, ser merecedor de atenção na zona norte, caracterizado por uma seqüência aquífera freática, com níveis confinados em profundidade.

b) Sedimentos Recentes (Quaternário)

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, ao passo que em sub-superfície foram denominados por Costa et al (1994) de Aquífero Boa Viagem. Esses sedimentos se sobrepõem aos sedimentos cretácicos e terciários das duas bacias sedimentares ocorrentes na área e possuem uma espessura média na região norte da RMR, em torno 50 metros e máxima em torno de 80 metros.

Embora possam constituir localmente bons armazenadores de água subterrânea, a importância como aquífero é comprometida na Planície do Recife, em razão da sua vulnerabilidade à contaminação por águas salinizadas e/ou poluídas.

3. HIDROGEOLOGIA DOS AQUÍFEROS EXPLOTADOS

Os principais aquíferos explorados na região são:

IDADE	AQUÍFERO	ESPESSURA MÉDIA (m)	CONSTITUIÇÃO LITOLÓGICA
Quaternário	Boa Viagem	40	Areias, siltes e argilas
Cretáceo Superior	Beberibe	100	Arenitos
Cretáceo Inferior	Cabo	60	Conglomerados arcóseos, arenitos, siltitos e argilitos.

3.1. CARACTERÍSTICAS DOS AQUÍFEROS

• Aquífero Boa Viagem

O aquífero Boa Viagem é formado por sedimentos de aluviões, dunas, sedimentos de praia e mangues, aflorando em toda a superfície da Planície do Recife, ora recobrindo 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; com espessuras médias em torno de 50m; os poços perfurados a trado chegam a atingir até 20m de profundidade, enquanto os poços perfurados manualmente (cacimbões e poços amazonas), podem atingir até 8 metros de profundidade.

Esse aquífero desempenha um papel importante na alimentação das águas subterrâneas dos aquíferos Cabo e Beberibe pois ao longo de toda a sua superfície não urbanizada e pavimentada, recebe recarga através das chuvas e, secundariamente, através dos trechos influentes da rede hidrográfica da área deste domínio hidrogeológico, além ainda, das perdas significativas por vazamentos da rede de abastecimento e saneamento público.

• Aquífero Beberibe

Esse é o aquífero mais importante desse domínio hidrogeológico, com maior potencialidade e boas condições hidrodinâmicas e hidroquímicas, que vem sendo explorado por particulares (condomínios, clubes, hotéis, hospitais, colégios, comércios, indústrias, etc.), órgãos e repartições públicas municipais, estaduais e federais, bem como pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) para abastecimento público.

O aquífero Beberibe encontra-se limitado a sul pelo lineamento Pernambuco e a oeste pelo embasamento cristalino; possui uma espessura média de 60 metros,

aumentando no sentido de oeste para leste em direção ao Oceano Atlântico, atingindo uma espessura de 200 metros na zona costeira.

- **Aqüífero Cabo**

O aqüífero Cabo ocorre nesse domínio hidrogeológico na porção sul da planície do Recife, limitado ao norte pelo Lineamento Pernambuco e a oeste pelo embasamento cristalino. A particularidade que permite individualizar esta área de ocorrência da Formação cabo, reside na baixa permeabilidade desses sedimentos, pela presença marcante de material siltico-argiloso.

Há ocorrência nesse domínio de áreas com super-exploração do aqüífero Cabo, mostrando curvas potenciométricas fechadas com inversões das cargas potenciométricas, que acarreta drenança vertical descendente de águas salinizadas do aqüífero Boa Viagem, contaminando o aqüífero Cabo.

O valor médio obtido para a permeabilidade dessa formação aqüífera é baixo, refletindo o elevado teor de finos principalmente argilas e uma compacidade elevada e/ou diminuição da sua permeabilidade por influência do derrame basáltico da Formação Ipojuca, que configurar o embasamento impermeável desta camada aqüífera.

3.2. PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS

A partir de ensaios de bombeamento realizados nos diversos tipos de aqüíferos, foi efetuada a média para cada coeficiente, no que resultou no quadro apresentado a seguir.

Coeficientes Hidrodinâmicos	Aqüíferos		
	Beberibe	Cabo	Boa Viagem
Transmissividade	$2,2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$8,6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$7,0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
Condutividade Hidráulica	$2,2 \times 10^{-5} \text{ m/s}$	$1,0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$	$1,7 \times 10^{-4} \text{ m/s}$
Porosidade Eficaz	$1,0 \times 10^{-1}$	$7,0 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-1}$
Coef.de Armazenamento	$2,0 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-4}$	-

Considerando que o contato entre o aqüífero Boa Viagem com o aqüífero Beberibe (ao norte do Lineamento Pernambuco) e com o aqüífero Cabo (ao sul do mesmo lineamento) não se caracteriza por uma camada impermeável contínua e sim por lentes descontínuas areno-argilosas ou siltico-argilosas; considerando ainda que a recarga dos dois aqüíferos sotopostos se verifica essencialmente através de filtração vertical

procedente do aquífero sobreposto; será considerado para efeito da avaliação das reservas, potencialidades e disponibilidades, dois sistemas aquíferos denominados de:

- Sistema aquífero Beberibe/Boa Viagem
- Sistema aquífero Cabo/Boa Viagem

3.3. CIRCULAÇÃO E EXUTÓRIOS

O estudo da variação das curvas potenciométricas ao longo de 50 anos constatou uma variação máxima de cotas nas regiões norte (Casa Amarela/Casa Forte), centro (Afogados/B.Vista/S.José) e sul (Boa Viagem), da ordem de 50m. Em alguns locais em Boa Viagem, chegou até 70m de rebaixamento.

A evolução na disposição das curvas potenciométricas revela que a tendência original de fluxo das águas subterrâneas segundo a direção de oeste para leste, vem sendo gradativamente modificada, criando vários centros de convergência, com fluxo radial centrípeto na maioria dos casos.

O fluxo convergente nas proximidades da costa com rebaixamentos acentuados, sobretudo em Boa Viagem e região central da planície podem induzir uma recarga de água salinizada em decorrência de desequilíbrios provocados na interface água doce/água salgada; mesmo que não tenha ainda sido constatada pelo recente estudo de isótopos realizado, uma intrusão salina no aquífero explorado nessas áreas de superfície potenciométrica deprimida, deve ser procedido um contínuo monitoramento da interface da região costeira.

Os gradientes de escoamento variam muito de uma região para outra, pois, enquanto na região da Cidade Universitária, onde ocorre apenas o aquífero Boa Viagem, o gradiente ficava em torno de 2,5 m/km, no restante da planície, a exceção das áreas deprimidas de Casa Amarela-Casa Forte e de Boa Viagem, era em torno de 10 m/km; nas duas áreas de acentuado fluxo radial convergente descritas, o gradiente foi de 20m/km.

Os exutórios naturais dos sistemas aquíferos da planície 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.

Sejam os valores de $T = 2,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, $l = 0,01$ e $L = 17.000 \text{ m}$, respectivamente:

$$VEN = 0,0025 \times 0,01 \times 17.000 = 1,125 \text{ m}^3/\text{s} = 13,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

3.4. AVALIAÇÃO DAS RESERVAS

Os elementos para cálculo das reservas permanentes por aquífero bem como o respectivo valor da reserva, são expostos no quadro que se segue:

Sistemas Aquíferos	Área $\times 10^6$ (m^2)	Espessura Saturada (m)	Porosidade Eficaz	Reserva Permanente $\times 10^6$ (m^3)
Beberibe/Boa Viagem	56	120	0,10	672,0
Cabo/Boa Viagem	35	110	0,07	269,5
Boa Viagem	21	40	0,10	84,0

As reservas permanentes de todos os aquíferos intersticiais da área será o somatório de todas as parcelas acima calculadas, ou seja:

$$R_p = R_{p1} + R_{p2} + R_{p3} = (672 + 269,5 + 84) \times 10^6 \text{ m}^3 = 1.025,5 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{ou } R_p \cong 1,03 \times 10^9 \text{ m}^3.$$

As reservas reguladoras foram calculadas em função dos valores de Δs , igual a 2,5m e de μ igual a 10%, encontrados para o sistema aquífero, nas áreas da Planície do Recife:

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

Além da recarga natural proporcionada pelas precipitações pluviométricas, deve-se ainda levar em conta a recarga propiciada pelos vazamentos das tubulações da rede de distribuição de água, principalmente na cidade do Recife, tendo sido avaliada em torno de $20,18 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ (cerca de 80% da que ocorre em toda a RMR).

Somando-se todas as parcelas de recarga dos sistemas aquíferos Beberibe/Boa Viagem e Cabo/Boa Viagem na Planície, obtêm-se o seguinte valor para a recarga dos aquíferos intersticiais:

$$R_r = (28,12 + 20,18) \times 10^6 = 48,30 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Para a avaliação da disponibilidade efetiva, como não se dispõe de dados precisos sobre as vazões realmente exploradas por todos os poços particulares, nem tão pouco o seu regime de exploração, ter-se-á que adotar parâmetros estatísticos médios, resultantes do processo de amostragem procedido no cadastramento dos poços.

Convêm, a priori, separar, na RMR norte, os poços que estão sendo operados pela COMPESA, dos quais se dispõe de valores medidos, dos demais, utilizados por particulares; serão estabelecidos os seguintes parâmetros:

- a) para os poços da COMPESA em número de 111: vazão média de 52 m³/h e regime de exploração de 24/24h;
- b) para os poços particulares, onde domina o uso industrial, na RMR norte: vazão explorada de 70% daquela encontrada no teste e regime de exploração de 12/24h;
- c) para os demais poços na Planície do Recife: vazão de exploração de 70% da vazão de teste e regime de bombeamento de 8/24h

Assim, tem-se os seguintes valores de disponibilidade efetiva, por região:

- a) na RMR norte (Olinda a Itamaracá):

No aquífero Beberibe:

- i) poços da COMPESA: 111 poços x 52,00 m³/h = 50,56 x 10⁶ m³/ano (1,60 m³/s)
- ii) poços particulares: 60 poços x 40,78 m³/h = 10,72 x 10⁶ m³/ano (0,34 m³/s)

No aquífero Barreiras: 26 poços x 8,24 m³/h = 0,62 x 10⁶ m³/ano (0,02 m³/s)

No aquífero de Coberturas 73 poços x 12,64 m³/h = 2,66 x 10⁶ m³/ano (0,08 m³/s)

Sub-total: 270 poços 64,56 x 10⁶ m³/ano (2,04

m³/s)

- b) Na Planície do Recife

No aquífero Beberibe: 437 poços x 9,23 m³/h = 16,49 x 10⁶ m³/ano (0,52 m³/s)

No aquífero Cabo: 465 poços x 3,91 m³/h = 7,43 x 10⁶ m³/ano (0,24 m³/s)

No aquífero Boa Viagem: 451 poços x 8,50 m³/h = 15,67 x 10⁶ m³/ano (0,49 m³/s)

Sub-total 1.353 poços 39,59 x 10⁶ m³/ano (1,25 m³/s)

Total na RMR: 1.623 poços → 104,15 x 10⁶ m³/ano (3,29

m³/s)

Considerando os poços públicos e privados, ter-se-ia:

Poços públicos (COMPESA): 111 poços = 50,56 x 10⁶ m³/ano (1,60 m³/s)

Poços particulares: 1512 poços = 53,59 x 10⁶ m³/ano (1,69 m³/s)

Levando ainda em conta que cerca de 20% dos poços particulares existentes não foram computados por ausência de dados de vazão, a disponibilidade efetiva atual desses poços privados seria de $64,30 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, ou $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dessa forma, a disponibilidade efetiva atual em toda a RMR, pode ser considerada com um bom nível de aproximação como sendo de:

$$D_e = 114,86 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} \quad (3,64 \text{ m}^3/\text{s})$$

3.5. BALANÇO DAS ENTRADAS E SAÍDAS DE ÁGUA NOS SISTEMAS AQUÍFEROS DA RMR

O balanço ora apresentado é apenas uma comparação entre as recargas naturais, e os exutórios tanto naturais como artificiais (poços).

Foi visto no capítulo da alimentação dos sistemas aquíferos que o valor da recarga, também denominada de reserva reguladora, era da ordem de :

$$R_r = (28,12 + 52,5 + 19,2 + 25,23) \times 10^6 = 125 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

As três primeiras parcelas correspondem à recarga nas áreas da Planície do Recife, Região norte da RMR e nos tabuleiros de Barreiras, respectivamente, enquanto a última parcela corresponde aos vazamentos na rede de distribuição dos serviços de água na RMR.

Por outro lado os exutórios naturais avaliados pela vazão de escoamento natural, alcançaram o valor de $1,125 \text{ m}^3/\text{s}$ ou $35,48 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Deduzindo os exutórios naturais das recargas, chega-se a aproximadamente $90 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Como o valor obtido para os exutórios naturais - poços - foi da ordem de $115 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, constata-se que está havendo um déficit anual da ordem de $25 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ ($0,79 \text{ m}^3/\text{s}$, isso com os dados cadastrados até 1995).

4. OS RISCOS DA SUPER-EXPLORAÇÃO

4.1. O QUADRO ATUAL DE EXPLOTAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Em função da seca que ocorreu nos anos de 1998 e 1999, os mananciais hídricos superficiais ficaram quase esgotados, passando a concessionária dos serviços de abastecimento d'água de Pernambuco, a COMPEA, a oferecer água na cidade do Recife, em apenas 5 dias por mês.

Essa situação provocou uma "corrida ao poço" com uma multiplicação de número de empresas e de perfuratrizes a perfurarem poços e mais de 100 empresas de

comercialização da água em carro-pipa, sendo a água obtida também em poços perfurados.

Considerando um número de 25 empresas de perfuração de poços, com uma média de 3 perfuratrizes (algumas possuem mais de 10) e cada perfuratriz perfurando um poço a cada 20 dias, conclui-se facilmente que a média de poços perfurados por ano chega a algo em torno dos 1.350, ou seja, aproximadamente 2.700 poços nos dois anos de seca. Levando em conta que o estudo do HIDROREC foi efetuado com 2.100 poços cadastrados até 1995, é bem provável que esse número esteja atualmente em torno dos 4.000 poços.

Nesses dois últimos anos a precipitação pluviométrica na RMR foi de apenas 1/3 da média normal o que representa uma considerável diminuição da recarga dos sistemas aquíferos explorados nessa região.

Se o déficit acusado no balanço hídrico do HIDROREC já era de 0,8 m³/s com os dados computados até 1995, a situação atual com um aumento estimado em 100% no número de poços e uma diminuição de 2/3 da recarga natural, deve ser mais do que o dobro, ou algo em torno dos 2 m³/s.

4.2. A DEPLEÇÃO DOS NÍVEIS D'ÁGUA COM TENDÊNCIA A EXAUSTÃO

O primeiro risco potencial dessa super-exploração dos aquíferos na região do Recife, já pode ser considerado como um risco real, pois a depleção da reserva permanente já se revelou em quase toda a área da cidade, com ênfase para três zonas críticas: Boa Viagem, Bairros centrais do Recife (Santo Antonio, São José e Recife) e zona oeste (Casa Forte/Casa Amarela).

Na primeira dessas zonas críticas, em Boa Viagem, os níveis potenciométricos do sistema aquífero já se situam a profundidades superiores a 100m, quando, há três décadas atrás a mesma superfície estava a uma profundidade em torno dos 10m. Considerando que o topo da camada aquífera semi-confinada se situa em torno dos 60m, verifica-se que os rebaixamentos indicam uma tendência ao esgotamento do aquífero dentro de poucos anos.

4.3. A SALINIZAÇÃO DOS AQUÍFEROS

A salinização generalizada dos aquíferos em exploração também deixou de ser um risco potencial para se transformar em risco real, desde que o problema já foi iniciado há vários anos e tende a crescer na medida que aumenta a super-exploração.

A existência de zonas salinizadas do aquífero Beberibe na planície do Recife, decorre de transferências de águas salinizadas do aquífero Boa Viagem por processos de filtração vertical (drenança) nas zonas mais permeáveis, induzidos pela diminuição das cargas potenciométricas do aquífero Beberibe, em decorrência dos super-bombeamentos localizados ocorridos.

Por outro lado, os poços mal construídos e/ou abandonados também vêm contribuindo para salinização e a contaminação do aquífero sotoposto, face a ausência ou má construção da cimentação do espaço anelar entre o revestimento e o poço acima da zona aquífera inferior.

A hipótese de salinização por intrusão marinha, não vem sendo adotada ainda pelo fato de estudos com isótopos naturais haverem concluído que essas águas não são de origem marinha. Todavia, a continuar a super-exploração, será inevitável o desequilíbrio da interfície água doce/água salgada com uma intrusão marinha no aquífero que se tornará totalmente salinizado

4.4. A CONTAMINAÇÃO QUÍMICA E ORGÂNICA DOS AQUÍFEROS

A cidade do Recife possui a maior parte da sua área desprovida de saneamento básico, sendo os dejetos sanitários lançados em fossas na maioria sem qualquer proteção para o aquífero freático, que se situa à profundidades de 2 a 3m.

Como resultado dessa situação, o aquífero freático é, na maior parte da cidade, totalmente contaminado por agentes orgânicos oriundos de fossas, esgotos, lixo, xorume de cemitérios, etc, e químicos devido a infiltração de produtos tóxicos que sempre ocorre nos meios urbanos tais como vazamentos de tanques de combustíveis enterrados, efluentes de indústrias com produtos químicos, etc.

Deve ser levado em conta que grande parte da população residente em casas residenciais (não em edifícios, que constróem poço profundo) estão perfurando poços rasos, mais baratos, com profundidades de 5 a 20m, a partir de métodos manuais. Essa água consumida é, em geral, contaminada e não existe qualquer controle sanitário sobre o uso desse manancial contaminado.

Pelo mesmo processo de salinização em que as águas do aquífero superior – freático – são transferidas para o aquífero profundo, as águas contaminadas também o são, o que implica em mais um grave problema de qualidade, pois, já se criou um “tabu” de que as águas do aquífero profundo são sempre isentas de contaminação e não se

costuma realizar exames bacteriológicos e químicos (contaminantes) nas águas captadas à maiores profundidades.

4.5. A SUBSIDÊNCIA DOS TERRENOS E A INVASÃO OCEÂNICA

Embora se constitua ainda num risco potencial, não se deve descartar a possibilidade de uma subsidência decorrente da compactação dos sedimentos, uma vez que a recarga é muito mais lenta do que a retirada por bombeamento excessivo e os rebaixamentos acentuados da superfície potenciométrica revela estar aumentando sensivelmente a zona de aeração (não saturada do aquífero).

A zona mais próxima ao mar poderia ser compensada com a ingressão da cunha salina entretanto essa ingressão não se propagaria para o interior na mesma proporção da exaustão de água doce e compactação dos sedimentos pelo seu próprio peso.

Além do mais, ocorrem camadas de argila de considerável espessura as quais sofrerão mais intensamente a sub-pressão provocada pela retirada da água nas camadas subjacentes. Se essas camadas fossem contínuas e de mesma espessura, a compactação dar-se-ia de maneira homogênea, com afundamento de toda a superfície do terreno na mesma proporção, como ocorreu na cidade do México na década de 20, em que a super-exploração das águas subterrâneas provocou uma subsidência de 7m em toda a área. Naquela cidade não houve nenhum desabamento predial.

Em terrenos de camadas de composição variável e descontínua como ocorreu no Vale de São Joaquim na Califórnia, a subsidência foi diferenciada, como mostra o mapa da figura 4.1, chegando a alcançar, no ponto máximo de subsidência, a profundidade de 10m. Essa subsidência foi decorrente de uma exploração intensa das águas subterrâneas naquele vale, para irrigação, durante quatro décadas consecutivas (40-70). Não houve danos maiores por haver ocorrido o fenômeno numa área rural, onde somente existiam plantações irrigadas, sem prédios como numa cidade.



FIGURA 4.1. MAPA DE SUBSIDÊNCIA NO “CENTRAL VALLEY”-CALIFÓRNIA

Na cidade do Recife, os riscos potenciais de uma subsidência , devem ser considerados em função das seguintes condições naturais:

- a planície do Recife situa-se à cotas de 0 a 5m acima do nível do mar e uma subsidência de apenas 2m já acarretará a inundação pelo mar de pelo menos 50% da área da cidade;
- as camadas de argila são descontínuas e de distintas espessuras o que poderá acarretar recalques diferenciais com desabamentos de prédios, pontes, viadutos, e outras obras civis.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Pelo acima exposto, conclui-se que a cidade de Recife, capital de Pernambuco vem sendo submetido a um processo de super-exploração do seu manancial subterrâneo em decorrência da ausência de providência governamentais para suprir o abastecimento hídrico da população a partir dos mananciais de superfície.

Em períodos normais, antes da seca de 98/99 o manancial subterrâneo participava com cerca de 20% da oferta de água para a capital pernambucana e, no momento atual vem participando com aproximadamente 60% dessa oferta, sendo a maior parte da oferta a partir de poços perfurados por particulares.

O manancial subterrâneo não suportará a continuidade dessa exploração degradante que vem comprometendo a quantidade e a qualidade das suas reservas permanentes e colocando em risco a população da cidade para efeitos catastróficos que poderão advir dessa irresponsável exploração.

Como sugestões para minimizar, atenuar e mesmo retardar efeitos catastróficos para o aquífero e para a população, sugere-se que:

1. seja imediatamente efetuado um estudo de atualização do HIDROREC, a partir do cadastramento dos novos poços perfurados desde 1995, com avaliação do déficit atual e dos valores quantitativos estabelecidos como restrição no mapa de zoneamento explotável elaborado pelo HIDROREC;
2. seja efetuada uma rigorosa fiscalização na exploração dos poços atuais, com instalação de hidrômetros e medições mensais, com penalidades para que descumprir os limites impostos para cada área de restrição;
3. seja proibida a perfuração de novos poços nas áreas críticas já definidas no mapa de exploração do HIDROREC;
4. seja efetuada uma campanha de monitoramento dos níveis das superfícies potenciométricas dos aquíferos livre e confinado (ou semi-confinado) na RMR com acompanhamento diário dos níveis através de sensores guiados por satélite, instalados em poços monitores.

6. BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

BATISTA, R.P., 1984. Estudo Hidrogeológico da Planície do Recife. Dissertação de Mestrado, UFPE, Recife, PE. 91p.

- 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., 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 FILHO, W. D., 1997. Estudo Hidroquímico nos aquíferos da Planície do Recife. Dissertação de Mestrado. Recife-PE, UFPE. 225p.
- 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. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/ Fundação de desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife. 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).