



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

ELISEU ROMERO CAMPÊLO CORREIA

**“CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE  
NATURAL DO AQUÍFERO BOA VIAGEM NO  
MUNICÍPIO DO RECIFE – MÉTODO GOD”**

ORIENTADOR: PROF. DR. ALMANY COSTA SANTOS

RECIFE-PE

2006

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

Eliseu Romero Campêlo Correia

**CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE**  
**NATURAL DO AQUÍFERO BOA VIAGEM NO**  
**MUNICÍPIO DO RECIFE – MÉTODO GOD**

Dissertação de Mestrado

2006

ELISEU ROMERO CAMPÊLO CORREIA

Engenheiro de Minas - Universidade Federal de Pernambuco - Recife/PE

**“CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL DO AQUÍFERO BOA  
VIAGEM NO MUNICÍPIO DO RECIFE – MÉTODO GOD”**

Dissertação que apresenta à Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pelo Prof. Dr. Almany Costa Santos, em preenchimento parcial dos requisitos para obter o grau de Mestre em Geociências, área de concentração em Hidrogeologia, defendida com menção “Aprovado” em 31 de Março de 2006.

RECIFE-PE

2006

**C824c**

**Correia, Eliseu Romero Campêlo .**

Caracterização da vulnerabilidade natural do aquífero Boa Viagem no Município do Recife – Método GOD / Eliseu Romero Campelo Correia. - Recife : O Autor, 2006.  
70 folhas : il., fig. e tabelas.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Geociências, 2006.

Inclui bibliografia e anexos.

1. Hidrogeologia - água subterrânea. 2. Aquífero Boa Viagem, Recife(PE) - Vulnerabilidade. 3. Águas subterrâneas – contaminação. 3. Aquífero livre. I. Título.

556 CDD (22.ed.)

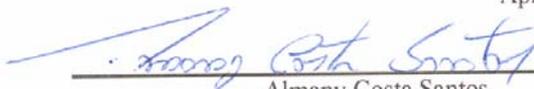
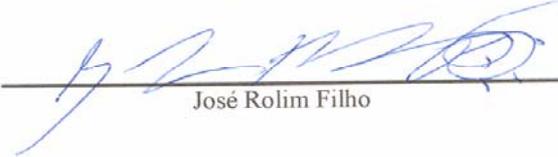
UFPE

**BCTG/2006-029**

Caracterização da Vulnerabilidade Natural do Aquífero Boa Viagem no  
Município do Recife – Método God

ELISEU ROMERO CAMPELO CORREIA

Aprovado

	Almany Costa Santos	31/03/2006
	José Rolim Filho	31/03/2006
	José Braz Diniz Filho	31/03/2006

Aos meus pais Samuel Calumbi Correia e Miriam Campêlo Correia e aos meus irmãos Samuel, Lyndemberg e Rebeca.

“Todas as coisas cooperam para o bem daqueles que amam a Deus. Romanos 8:28”.

## AGRADECIMENTOS

Ao Nosso Deus pela oportunidade de existir e estudar os seus feitos.

Aos meus pais que me trouxeram ao mundo e ensinaram a ciência do bom viver.

Ao Prof. Almany Costa Santos pela orientação, apoio, discussões técnicas fundamental no desenvolvimento da dissertação.

Ao Prof. Waldir Duarte Costa pelos esclarecimentos referente a trabalhos realizados por sua equipe de consultoria.

Ao Prof. José Geilson Demétrio, Edilton Carneiro Feitosa, João Manoel Filho pelas discussões técnicas, esclarecimentos e vivencia em campo, ampliando os conhecimentos em hidrogeologia .

Aos Profs. do departamento de engenharia de minas José Rolim Filho, Júlio César, Áureo, Baltar, Carvalho, Márcio, Evenildo, Paulo, Lucila e Sandra pelo incentivo no mestrado.

Ao meu querido e nobre irmão Lyndemberg Campêlo Correia por termos andado juntos, tanto no curso de graduação em eng. de minas quanto no de pós-graduação em hidrogeologia.

Ao Geólogo e grande amigo Júlio Cezar Barreto por ter-me fornecido inúmeras informações sobre a área estudada.

Aos meus amigos Rivaldo, Willamyns, Josué, Luciano, Francisco, Clélia, Alexandre, Adriane e Maria José pelo companheirismo, e ajuda nos trabalhos.

Aos Geólogos João Alberto Diniz e Leibe Carteador pelo companheirismo durante as aulas.

Ao Labhid pelo apoio logístico, e em especial a Teresa Maciel por sua dedicação e eficiência.

A CAPES pelo apoio financeiro durante os dois anos do mestrado.

## RESUMO

Descrevem-se nesta dissertação conceitos relacionados com a vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas, bem como diversos métodos clássicos e indexados, de avaliação da vulnerabilidade natural de aquífero, disponíveis na literatura mundial.

Objetivando avaliar a vulnerabilidade natural do aquífero poroso Boa Viagem, na Planície do Recife, no litoral do Estado de Pernambuco, foi empregada a metodologia baseada no índice GOD (G – groundwater occurrence, O – overall litology of aquifer e D - depth of water). Considerando a questão da vulnerabilidade do aquífero como um pré-requisito fundamental para a proteção da qualidade e controle da poluição das águas subterrâneas.

Esta dissertação apresenta detalhes importantes e relevantes dos conhecimentos geológicos e hidrogeológicos do sistema aquífero Boa Viagem, como embasamento para determinar o grau de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas, visando o melhor uso e proteção desses recursos hídricos na planície do município do Recife.

Com base no método GOD foi elaborado o mapa de vulnerabilidade natural para a área pesquisada, como uma ferramenta de gestão para a prevenção e controle da poluição dos recursos hídricos subterrâneos. Este mapa mostra a distribuição espacial dos diferentes graus de vulnerabilidade do aquífero Boa Viagem na Planície do Recife-Pe.

A água subterrânea do aquífero estudado é captada através de poços tubulares rasos chegando a uma profundidade máxima de 50m, estando a maioria dos poços até os 20 metros de profundidade. O mapa de vulnerabilidade natural do Aquífero Boa Viagem permitiu classificar a área estudada como de vulnerabilidade elevada à moderada.

O trabalho é apresentado por bairros do município de Recife uma vez que o órgão gestor municipal utiliza esse tipo de zoneamento para sua administração. O estudo indicou como bairros de vulnerabilidade elevada no município do Recife: RPA-1 (Recife e Boa Vista); RPA-2 (Encruzilhada e Rosarinho); RPA-3 (Aflitos e Casa Amarela); RPA-4 (Várzea e Caxangá); RPA-5 (Areias e Jardim São Paulo); RPA-6 (Boa Viagem e Imbiribeira).

Com a elaboração deste trabalho, concluiu-se que o aquífero Boa Viagem é “muito vulnerável a poluição” na planície do Recife, porém mostra-se como uma fonte estratégica

complementar de abastecimento de água potável, que precisa ser protegida contra as diversas fontes potenciais de contaminação que impõem constantes riscos à qualidade dessas águas.

**PALAVRAS CHAVES:** Hidrogeologia - Água subterrânea - Vulnerabilidade - Contaminação.

## ABSTRACT

Concepts related to groundwater vulnerability to pollution as well as several methods of aquifer natural vulnerability evaluation, available in world literature are described in this dissertation.

In order to evaluate the natural vulnerability of the porous Boa Viagem aquifer in the plain of Recife, in the coast of Pernambuco State, the method based in the acronym GOD (G - to Groundwater occurrence, O - Overall litology of aquifer and D - Depth to water) was used. Aquifer vulnerability is assumed to be a fundamental base for the protection of quality and prevention of contamination of groundwater.

This dissertation presents important and significant geologic and hydrogeologic details regarding the Boa Viagem aquifer system, as a basis for evaluating the degree of natural vulnerability of groundwater, for a better use and protection of water resources in the plain of Recife municipality.

The map of natural vulnerability was made for the studied area using the GOD method and is considered as a tool for groundwater management and pollution control of groundwater resources. The map shows the spatial distribution of the different degrees of vulnerability for Boa Viagem aquifer in the plain of Recife –Pe.

Groundwater of the studied aquifer is pumped from shallow deep wells reaching at most 50 m, while the majority of the wells are about 20 m deep. The natural vulnerability map of Boa Viagem aquifer was made using the acronym GOD method. It allowed classifying the studied area as of high to moderate vulnerability.

The work is presented by quarters of the city of Recife following the procedures of the water regulatory agency for licensing and granting the use of water wells. The study indicated as quarters of high vulnerability in the city of Recifes: Rpa-1 (Recife and Boa Vista); Rpa-2 (Encruzilhada and Rosarinho); Rpa-3 (Aflitos and Casa Amarela); Rpa-4 (Várzea and Caxangá); Rpa-5 (Areias and Jardim São Paulo); Rpa-6 (Boa Viagem and Imbiribeira).

It has been concluded that Boa Viagem aquifer in Recife County is highly vulnerable to pollution. However, it must be viewed as a strategic and complementary source for public

water supply which must be protected against the various potential sources of contamination that put under risk water quality.

**KEY WORDS:** Hydrogeology - Groundwater - Vulnerability - Contamination

## SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO .....	1
1.1. APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVA .....	1
1.2. OBJETIVOS .....	1
1.3. METODOLOGIA DE TRABALHO .....	2
1.4. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA .....	2
2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA .....	5
2.1. CRESCIMENTO DEMOGRÁFICO DA REGIÃO ESTUDADA – OCUPAÇÃO URBANA E DEMANDA HIDRICA.....	5
2.2. CARACTERIZAÇÃO FISIOGEOGRÁFICA.....	6
2.2.1. ELEMENTOS CLIMÁTICOS .....	6
2.2.2. SOLO E VEGETAÇÃO.....	8
2.2.2.1. SOLO.....	8
2.2.2.2. VEGETAÇÃO .....	9
2.2.3. HIDROGRAFIA.....	10
2.2.4. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA .....	11
2.2.4.1. LITO-ESTRATIGRAFIA .....	11
2.2.4.1.1. BACIA VULCANO-SEDIMENTAR DO CABO .....	12
2.2.4.1.2. BACIA SEDIMENTAR PERNAMBUCO-PARAÍBA .....	14
2.2.4.1.3. A PLANÍCIE DO RECIFE: SEDIMENTOS RECENTES (QUATERNÁRIO).....	16
2.2.5. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA .....	16
2.2.5.1. DESCRIÇÃO DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS .....	16
2.2.5.1.1. BAIXIOS DE MARÉ .....	18
2.2.5.1.2. TERRAÇO FLÚVIO-LAGUNAR .....	18
2.2.5.1.3. TERRAÇO MARINHO HOLOCÊNICO .....	19
2.2.5.1.4. TERRAÇO MARINHO PLEISTOCÊNICO .....	19
2.2.5.1.5. TERRAÇO INDIFERENCIADO.....	20
2.2.5.1.6. TERRAÇO FLUVIAL .....	20

2.2.6. GEOMORFOLOGIA .....	21
2.2.6.1. MODELADO CRISTALINO .....	21
2.2.6.2. DOMÍNIO COLINOSO .....	22
2.2.6.3. TABULEIROS COSTEIROS .....	22
2.2.6.4. PLANÍCIE COSTEIRA .....	22
2.2.6.4.1. PLANÍCIE FLÚVIO-LAGUNAR .....	23
2.2.6.4.2. BAIXIOS DE MARÉ .....	23
2.2.6.4.3. TERRAÇOS MARINHOS PLEISTOCÊNICOS .....	24
2.2.6.4.4. TERRAÇOS MARINHOS HOLOCÊNICOS .....	24
2.2.6.4.5. DEPÓSITOS DE PRAIA .....	24
2.2.6.4.6. RECIFES DE ARENITO .....	24
3. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO AQÜÍFERO BOA VIAGEM .....	25
3.1. CONHECIMENTOS ANTERIORES .....	25
3.2. CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS E COMPOSICIONAIS .....	26
3.3. CONDIÇÕES DE ALIMENTAÇÃO, CIRCULAÇÃO E EXUTÓRIOS .....	28
4. FUNDAMENTOS, CONCEITOS E APLICAÇÃO DE AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS .....	32
4.1. POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO AQÜÍFERO BOA VIAGEM .....	33
4.2. MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL DO AQÜÍFERO .....	34
4.2.1. MÉTODO GOD .....	35
4.2.2. MÉTODO DRASTIC .....	38
4.2.3. MÉTODO AVI .....	43
4.2.4. MÉTODO EPPNA .....	44
4.3. APLICAÇÃO DO MÉTODO GOD PARA DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQÜÍFERO BOA VIAGEM .....	45
4.3.1. TIPO DE AQÜÍFERO – G .....	45
4.3.2. LITOLOGIA DA CAMADA SUPERIOR – O .....	45
4.3.3. PROFUNDIDADE DO NÍVEL FREÁTICO – D .....	45
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	50

5.1. CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL.....	50
5.2. DIVISÃO DA VULNERABILIDADE NO MUNICÍPIO DO RECIFE .....	51
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	55
7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57
8 – ANEXOS .....	63

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Localização da área de estudo.....	3
Figura 1.2 – Mapa da área de estudo.....	4
Figura 2.1 – Normais Climatológicas do período 1961-90 de precipitação, insolação, evaporação, umidade e temperatura na Estação Meteorológica de Recife-PE. (Fonte dos dados: DNMet, 1992).....	8
Figura 2.2 – Mapa Geológico do município do Recife e adjacência.....	11
Figura 2.3 – Esboço Litoestrutural do município do Recife. Fonte: Costa et al, 1994 modificado.....	12
Figura 2.4 – Carta geotécnica da Planície do Recife .....	17
Figura 3.1 – Mapa de Isópacas do Aquífero Boa Viagem (Costa et al, 2000).....	27
Figura 3.2 – Mapa Potenciométrico do Aquífero Boa Viagem (Costa et al, 2000) .....	30
Figura 3.3 – Mapa de nível estático do aquífero Boa Viagem na região do município do Recife (Costa et al, 2002) .....	31
Figura 4.1 – Fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas identificadas na porção centro-norte da Região Metropolitana do Recife (Costa et al. 1998).....	34
Figura 4.2 – Esquema de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos pelo método GOD (Foster et al. 1988).....	37
Figura 4.3 – Caracterização do Parâmetro G: Tipo de aquífero do índice GOD no aquífero Boa Viagem.....	46
Figura 4.4 – Caracterização do Parâmetro O: Tipo do aquífero do índice GOD no aquífero Boa Viagem.....	47
Figura 4.5 – Caracterização do Parâmetro D: Profundidade do nível freático do índice GOD no aquífero Boa Viagem.....	48
Figura 5.1 – Mapa de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas do aquífero Boa Viagem no município do Recife .....	51
Figura 5.2 – Superposição das RPAs com o mapa de vulnerabilidade das águas subterrâneas do aquífero Boa Viagem no município do Recife.....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Médias mensais de normais climatológicas de 1961 a 1990, na Estação Meteorológica de Recife/PE (DNMet).....	7
Tabela 2.2 – Caracterização dos domínios e formações geológicas da Bacia Cabo e Pernambuco-Paraíba.....	13
Tabela 2.3 – Compartimentação geológica-geomorfológica da área do município do Recife. (Coutinho, et al, 1999).....	21
Tabela 3.1 – Principais Características do Aquífero Boa Viagem .....	28
Tabela 4.1 – Índices GOD e classes de vulnerabilidade.....	37
Tabela 4.2 – Índices DRASTIC parâmetro ponderador .....	38
Tabela 4.3 – Intervalos de profundidade do topo do Aquífero e respectivos índices (Aller <i>et al.</i> , 1987).....	39
Tabela 4.4 – Intervalos de recarga e respectivos índices (Aller <i>et al.</i> , 1987).....	40
Tabela 4.5 – Materiais de aquífero com importância para a atenuação do potencial de poluição (Aller <i>et al.</i> , 1987) .....	40
Tabela 4.6 – Tipos de solos e respectivos índices (Aller <i>et al.</i> , 1987) .....	41
Tabela 4.7 – Classes de declive e respectivo índice (Aller <i>et al.</i> , 1987).....	42
Tabela 4.8 – Materiais da zona vadosa com respectivo índice (Aller <i>et al.</i> , 1987).....	42
Tabela 4.9 – Intervalo de valores de condutividade hidráulica e respectivo índice (Aller <i>et al.</i> , 1987).....	43
Tabela 4.10 – Classes de vulnerabilidade segundo a metodologia AVI .....	44
Tabela 4.11 – Classes de vulnerabilidade segundo critérios litológicos .....	44
Tabela 4.12 – Descrição das classes de vulnerabilidade referente a composição de cada unidade do aquífero Boa Viagem .....	49
Tabela 5.1 – Apresentação das classes de vulnerabilidade (método GOD) do aquífero Boa Viagem para cada bairro do município do Recife subdivididos em suas RPAs.....	53

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 – Tabela contendo as descrições dos poços cadastrado pelo HIDROREC II no aquífero Boa Viagem.....	63
---	----

## LISTA DE SIGLAS

ABMS – Associação Brasileira de Mecânica dos Solos  
COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento  
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais  
CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos  
DNMet – Departamento Nacional de Meteorologia  
ITEP – Instituto de Tecnologia de Pernambuco  
FESP – Faculdade de Engenharia de São Paulo  
FIDEM – Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco  
FPE – Fundo de Participação do Estado  
GIS – Sistema de Informações Geográficas  
HIDROREC – Estudo Hidrogeológico do Recife, Olinda, Jaboatão dos Guararapes e Camaragibe  
RMR – Região Metropolitana do Recife  
RPA – Região Política Administrativa  
SECTMA – Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente  
SINGRE – Sistema de Informações para Gestão Territorial da Região Metropolitana do Recife  
SRH – Secretaria de Recursos Hídricos  
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Os últimos anos têm sido marcados pela crescente preocupação da sociedade com a degradação dos recursos hídricos subterrâneos. Paralelamente, é cada vez mais clara a consciência dos responsáveis pela gestão das águas subterrâneas no que diz respeito a manter, proteger ou remediar aquíferos. Como resultado dessa situação é necessário o conhecimento e aprendizado de novas técnicas de mapeamento de vulnerabilidade à poluição de aquíferos, como uma ferramenta para a sua proteção.

A eminente crise de desabastecimento de água para o consumo humano provocada pela degradação dos recursos hídricos de superfície (aspectos quanti-qualitativos) vem promovendo uma exploração cada vez maior dos recursos hídricos subterrâneos. A redução da disponibilidade de água doce disponível para suprir as necessidades de consumo está relacionada principalmente ao aumento da demanda gerada pela explosão demográfica à nível mundial, e pelo comprometimento da qualidade da água por contaminantes biológicos, químicos e orgânicos ligado ao desenvolvimento econômico.

Só no município do Recife são mais de 8.000 poços perfurados entre tubulares e amazonas no aquífero Boa Viagem. Os poços possuem uma profundidade média de 27m, em sua maioria níveis estáticos entre 1 a 13m e constituído litologicamente por sedimentos recentes que oferecem vulnerabilidade a contaminação das águas subterrânea. A contaminação do aquífero Boa Viagem pode acarretar grandes riscos a saúde daqueles que os usufruem, sendo assim, necessário um estudo de avaliação da vulnerabilidade das águas subterrânea do referido manancial.

### 1.2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é avaliar o grau de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas do aquífero Boa Viagem no município do Recife, apresentando os bairros com suas referidas classes de vulnerabilidade. Como objetivo específico também, apresentar

algumas recomendações ao que se refere a preservar a qualidade das águas subterrânea do aquífero Boa Viagem no município do Recife.

### 1.3. METODOLOGIA DE TRABALHO

Os dados para a avaliação deste trabalho foram os reunidos a partir das informações disponíveis junto aos órgãos federais e estaduais, tais como: UFPE, FIDEM, CPRH, CPRM e SECTMA que já conta com um bom acervo de dados hidrogeológicos sobre o município do Recife.

O método de trabalho seguido foi o GOD (G – groundwater occurrence, O – overall litology of aquifer e D - depth of water) criado por Foster et al, 1988. Método simples para avaliação e de resultado satisfatório, sendo necessário apenas do mapa de nível estático, litologia e profundidade do aquífero Boa Viagem.

A carta base tomada foi a geotécnica da planície do Recife, sobrepondo a geológica e hidrogeológica, sendo trabalhado neste contorno limitantes do aquífero Boa Viagem no município do Recife na área estudada.

Para a elaboração do mapa de nível estático, foram tomados os dados de 346 poços, cadastrados pelo projeto HIDROREC II, na sua maioria entre (0 a 30 metros).

Se tratando de um aquífero raso e livre, para o estudo da avaliação, foi dado detalhe aos quatro primeiros metros de profundidade, trabalhado com a litologia referida da carta geotécnica da planície do Recife de Alheiros *et al*, 1995.

### 1.4. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A área em estudo situa-se na faixa costeira do estado de Pernambuco, na Planície do Recife, limitante pelo município do Recife e o zoneamento do Aquífero Boa Viagem, entre as coordenadas UTM 283000 a 294000 mE e 9100000 a 9114000 mN (Figura 1.1). A distribuição dos bairros na área estudada é mostrada na figura 1.2, sendo posteriormente neste trabalho, mostrado o zoneamento das classes de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrânea nos bairros do município do Recife mostrado na referida figura.

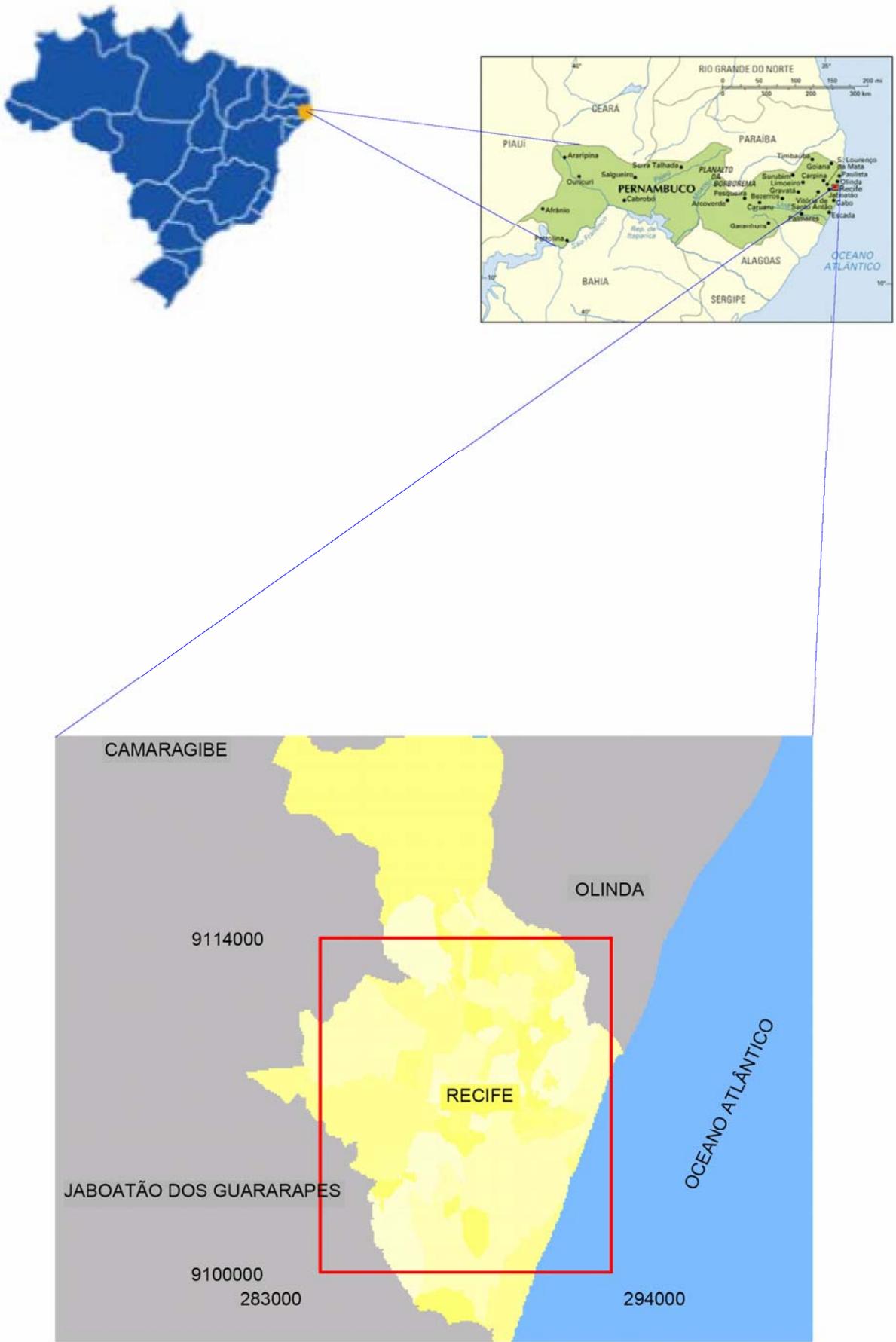


Figura 1.1 - Localização da área de estudo



## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

Este capítulo enfoca os aspectos sociais e de uso da água, fisiogeográfico, abordando de forma sumária, porém, com objetivo de melhor compreensão do trabalho realizado.

### 2.1. CRESCIMENTO DEMOGRÁFICO DA REGIÃO ESTUDADA – OCUPAÇÃO URBANA E DEMANDA HIDRICA

A população considerada totalmente urbana no município do Recife chegou a 1.501.008 habitantes (IBGE, 2005). Segundo Manoel Filho (2004) se for mantida a tendência observada nos últimos 40 anos, o número da atual população deverá dobrar no ano 2050. Isso representa um cenário preocupante que implica em um grande desafio na gestão dos aquíferos e no planejamento da possibilidade de uso dos mesmos, como parte da solução do problema de abastecimento d'água.

Em geral, todas essas áreas urbanizadas são providas de infra-estrutura desenvolvida, deixando um pouco a desejar na questão de distribuição e abastecimento d'água e alguns sistemas sanitários condominiais. Devido a deficiência da oferta de água no município a população se faz de uso dos mananciais hídricos subterrâneo.

A exploração de água subterrânea é feita pela própria população através de poços particulares, sendo a água usada para abastecimento doméstico e industrial. Segundo Manoel Filho, 2004 a demanda hídrica em 2000 no município do Recife chegou a 489.479 m<sup>3</sup>/dia (0,344 m<sup>3</sup>.hab/dia), podendo dobrar este número em 2050 devido o aumento paralelo com o crescimento da população.

Nas zonas urbanas e periféricas com pequenas concentrações habitacionais ocorrem lixões, cemitérios, postos de combustível, oficinas mecânicas, pequenas indústrias e várias outras atividades geradoras de resíduos que podem contaminar as águas subterrâneas, se existirem condições naturais lito-estruturais apropriadas.

## 2.2. CARACTERIZAÇÃO FISIOGEOGRÁFICA

A Região estudada encontra-se situada na zona fisiográfica do Litoral no Estado de Pernambuco. Trata-se de uma região tropical litorânea, quente e úmida com estiagem pouco pronunciada. Segundo a classificação de KÖPPEN (1948) que se baseia nos valores médios da temperatura do ar, da quantidade de precipitação e na distribuição correlacionada destes dois elementos pelos meses do ano, o clima é do tipo Ams, quente, úmido e com taxa de precipitação pluviométrica anual abundante com média de 2.458 mm.

Para a caracterização dos elementos climáticos, foram utilizados os dados climatológicos da Estação Meteorológica de Recife/PE (nº 82.900), referentes à precipitação pluviométrica, evaporação, temperatura, umidade relativa e insolação, numa série de 30 anos (Tabela 2.1), de 1961 a 1990 (DNMet, 1992).

### 2.2.1. Elementos Climáticos

A **precipitação pluviométrica** na área é abundante com média anual 2458 mm. A distribuição temporal das médias mensais (Tabela 2.1) é marcada por dois períodos distintos: i) um chuvoso, que se estende de março a agosto, com precipitações máximas nos meses de junho e julho; ii) um de estiagem, que ocorre entre os meses de setembro a fevereiro, com mínimas nos meses de novembro e dezembro.

A **evaporação** potencial média anual de acordo com os dados da tabela 2.1, é inferior à pluviometria, ou seja, 1.390 mm evaporados contra 2.458 mm, indicando excedente hídrico, ou seja, um balanço hídrico positivo de 1.068 mm, razão porque os recursos de superfície são relativamente abundantes e de boa qualidade físico-química, na região estudada, quando não poluídos pelo homem. A intensidade de evaporação cresce com a radiação solar, a temperatura do ar e a velocidade dos ventos, diminuindo com o aumento da umidade relativa do ar.

O semestre de menor e maior grau de evaporação potencial coincidem com o semestre mais chuvoso (inverno) e mais seco (verão), respectivamente.

A **umidade relativa** do ar que é alta nesta região, atinge um valor médio em torno de 79,8%, com máxima de 85% no período do mês de maio a agosto, e mínimo de 73% em janeiro.

A **insolação** média anual é em torno de 2.464 h com máxima de 266 h no mês de novembro e mínima de 108 h no mês de agosto. A insolação é diretamente proporcional a

temperatura na região estudada, mostrando valores baixos de insolação nos meses chuvosos (inverno) quando ocorre valores menores de temperatura, enquanto no período seco (verão), os valores de insolação e temperatura são elevados.

A elevada taxa de insolação média anual é consequência do posicionamento geográfico a Região Metropolitana do Recife que se encontra relativamente próximo da faixa equatorial. A direção predominante dos ventos é sudeste.

Tabela 2.1 – Médias mensais de normais climatológicas de 1961 a 1990, na Estação Meteorológica de Recife/PE (DNMet)

MESES	DADOS CLIMATOLÓGICOS MÉDIOS MENSAIS					
	Precipitação (mm)	Evaporação (mm)		Temperatura (°C)	Umidade (%)	Insolação (h)
		Potencial	Real			
<b>JAN</b>	103,4	131,9	103,4	26,6	73,0	246,3
<b>FEV</b>	144,2	114,2	114,2	26,6	77,0	210,8
<b>MAR</b>	264,9	97,8	97,8	26,5	80,0	203,9
<b>ABR</b>	326,4	155,2	155,2	25,9	84,0	185,2
<b>MAI</b>	328,9	70,2	70,2	25,2	85,0	186,6
<b>JUN</b>	389,6	76,4	76,4	24,5	85,0	168,3
<b>JUL</b>	385,6	90,9	90,9	24,0	85,0	169,8
<b>AGO</b>	213,5	113,9	113,9	23,9	85,0	108,1
<b>SET</b>	112,5	113,3	113,3	24,6	78,0	216,6
<b>OUT</b>	66,1	138,4	66,1	25,5	76,0	247,3
<b>NOV</b>	47,8	144,1	47,8	25,9	74,0	265,8
<b>DEZ</b>	65,0	143,4	65,0	26,3	75,0	255,2
<b>ANUAL</b>	2.457,9	1.389,7	1.000,3	25,5	79,8	2.463,9

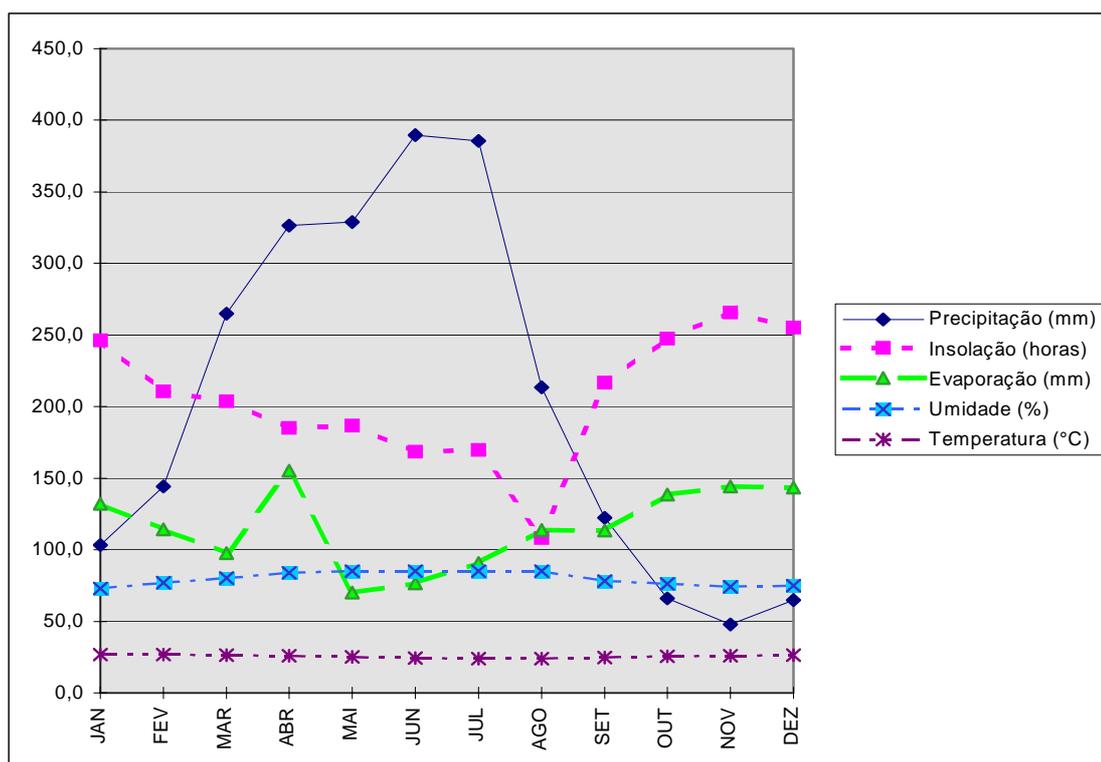


Figura 2.1 - Normais Climatológicas do período 1961-90 de precipitação, insolação, evaporação, umidade e temperatura na Estação Meteorológica de Recife-PE. (Fonte dos dados: DNMet, 1992)

## 2.2.2. Solo e Vegetação

### 2.2.2.1. Solo

Na área estudada segundo Mabsoone, 1991 e Oliveira, 2003, ocorrem solos tipo Gley indiscriminados. Tem-se portanto:

**Solos tipo areias quartzosas** sobre a Formação Barreiras e os Terraços Holocênicos e Pleistocênicos.

**Solos tipo Gley indiscriminados** nas áreas de planície, incluindo: i) solos orgânicos de **mangue**, pouco desenvolvidos, com elevado teor salino, sedimentos finos com matéria orgânica que alimentam a fauna e a flora; ii) solos **aluviais**, pouco desenvolvidos e pouco permeáveis, o que os torna sujeitos a inundações; iii) **areias quartzosas marinhas distróficas**, muito permeáveis e distribuídas pela baixada litorânea nas proximidades da orla marítima.

#### 2.2.2.2. Vegetação

Andrade Lima (1960) retrata que boa parte do município está implantada na zona da mata, sub-zona úmida e parte na zona litorânea, subdividida em sub-zonas: marítima (praias, restingas) e de mangues, cada uma delas com o seu povoamento característico.

##### a) Zona da Mata (úmida)

A vegetação que serviu para denominar a “Zona da Mata” a “Mata Atlântica” já foi quase totalmente removida, sendo substituída por vegetação secundária ou, ainda, e mais amplamente, pelo agroecossistema cana de açúcar.

É a floresta estacional perifolia costeira que vegeta os tabuleiros e os morros esculpidas nos sedimentos da Formação Barreiras e nas rochas do embasamento cristalino, respectivamente, e a parte mais ocidental da planície associada principalmente à influência fluvial. É uma floresta em geral exuberante, composta de três estratos arbóreos de densidade variável, um arbustivo escasso e um herbáceo, presente em áreas com mais penetração de luz.

Na cidade do Recife o remanescente desse tipo de floresta é a “Mata de Dois Irmãos” com cerca de 373 ha. Nessa área se localiza o horto zoológico de mesmo nome e o Açude da Prata, manancial com cerca de 30.000m<sup>2</sup> de área (Nunes, 1980).

Nos tabuleiros da Formação Barreiras, que margeiam a planície, também ocorrem vestígios da antiga Mata Atlântica, onde se destacam árvores de grande porte e copadas.

##### b) Zona Litorânea

1. Marítima – a vegetação dessa sub-zona é constituída pelas algas oceânicas, vulgarmente conhecidas como sargaço que são arrancadas do substrato e que vêm à praia por força das ondas.

2. Praia – é o primeiro nível continental emerso sujeito a inundações diárias pelas marés altas. Pode apresentar-se sem povoamento por vegetais superiores ou conter uma vegetação restrita a algumas halófitas e xerófitas rastejantes ou de pequena altura.

3. Restingas e terraços litorâneos – logo após a praia, onde houve grande influência marinha das transgressões/regressões do quaternário formaram-se restingas fósseis e terraços litorâneos. O povoamento vegetal daí é a floresta tropical estacional perenifolia de restingas e terraços litorâneos e os campos de restingas. A formação florestal não excede a 15 metros de altura. Nos seus dois estratos as árvores crescem relativamente separadas. O agroecossistema coqueiral substituiu, quase totalmente, o primeiro povoamento vegetal das restingas e terraços litorâneos, que atualmente dá lugar a especulação imobiliária.

4. Mangues – na zona litorânea onde a influência marinha co-atua com a influência fluvial dos rios Capibaribe, Beberibe e Jordão, pelas suas embocaduras, ou nas áreas da planície onde se faz sentir as oscilações das marés com seus fluxos e refluxos, pondo em contato água doce e salgada, há a deposição dos sedimentos em suspensão dando origem a solos pantanosos onde floresce a vegetação do tipo mangue (Floresta de Alagados Litorâneos).

Convém ressaltar que esses ambientes marinhos sujeitos às marés já ocuparam extensas áreas da planície do Recife. No entanto os aterros urbanos desde os holandeses vêm, rapidamente, anexando-os à terra firme, cobrindo o seu substrato característico; material argiloso rico em matéria orgânica e sais.

De forma geral, a vegetação presente em áreas isoladas na área, não apresentando grande importância para o estudo à vulnerabilidade.

### 2.2.3. Hidrografia

Segundo Monteiro (2000) a área é drenada pelas bacias hidrográficas dos rios Beberibe, Capibaribe e Tejipió.

O *Rio Capibaribe* nasce no agreste do Estado de Pernambuco, seu curso tem 240 Km de extensão e sua bacia uma área de 7.400 Km<sup>2</sup>. Na região agreste apresenta regime temporário, tornando-se permanente a partir da zona da mata. Na planície do Recife possui drenagem meândrica, leito largo e direção preferencial W-E.

O *Rio Beberibe* com uma bacia hidrográfica de 79 Km<sup>2</sup>, localiza-se a norte da área. Possui drenagem meandrante, direção preferencial NO-SE, tornando-se paralelo à costa próxima à sua desembocadura.

Com uma área de 93 Km<sup>2</sup>, o *Rio Tejipio* de direção SW-E e drenagem meândrica drena a área sul.

Como afluentes do Rio Beberibe podemos citar Rio Morno, do Rio Tejipió os rios Jordão e Jiquiá, e do Rio Capibaribe na Planície do Recife, os riachos do Cavouco e do Donom, córregos do Euclides e do Abacaxi. Todos estes rios apresentam uma drenagem paralela e dendrítica. Formam uma drenagem densa e regular e estão subordinados à drenagem meândrica.

## 2.2.4. Caracterização Geológica

### 2.2.4.1. Lito-Estratigrafia

A área estudada é constituída pelas rochas sedimentares sobrepostas (figura 2.2 e 2.3), pertencentes às bacias sedimentares costeira Cabo (sul do Lineamento Pernambuco) e Pernambuco-Paraíba (norte do Lineamento Pernambuco).

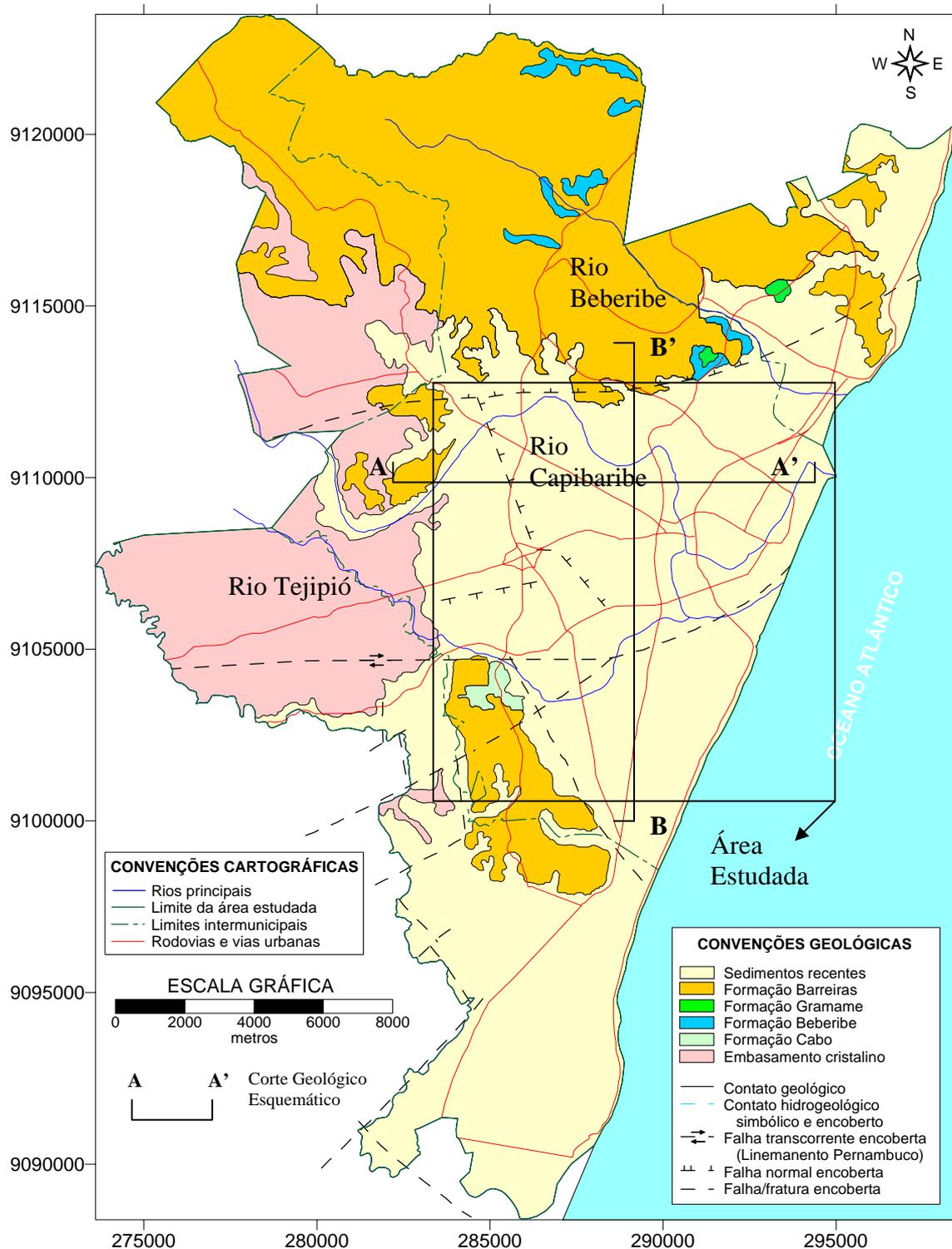


Figura 2.2 – Mapa Geológico do município do Recife e adjacência

Segundo Costa et al (2002) pode ser subdividida em dois domínios principais do ponto de vista geológico.

- Na área Sul: a Bacia Vulcano-Sedimentar do Cabo;
- Na área Norte: a Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba;
- Na área central: o Domínio da Planície do Recife.

O mapa geológico e perfil esquemático apresentado na figura 2.2 e 2.3, teve como base o mapa da CPRM (1994b) adaptado, incluindo as proposições de Costa et al (1994) e Lima Filho (1998).

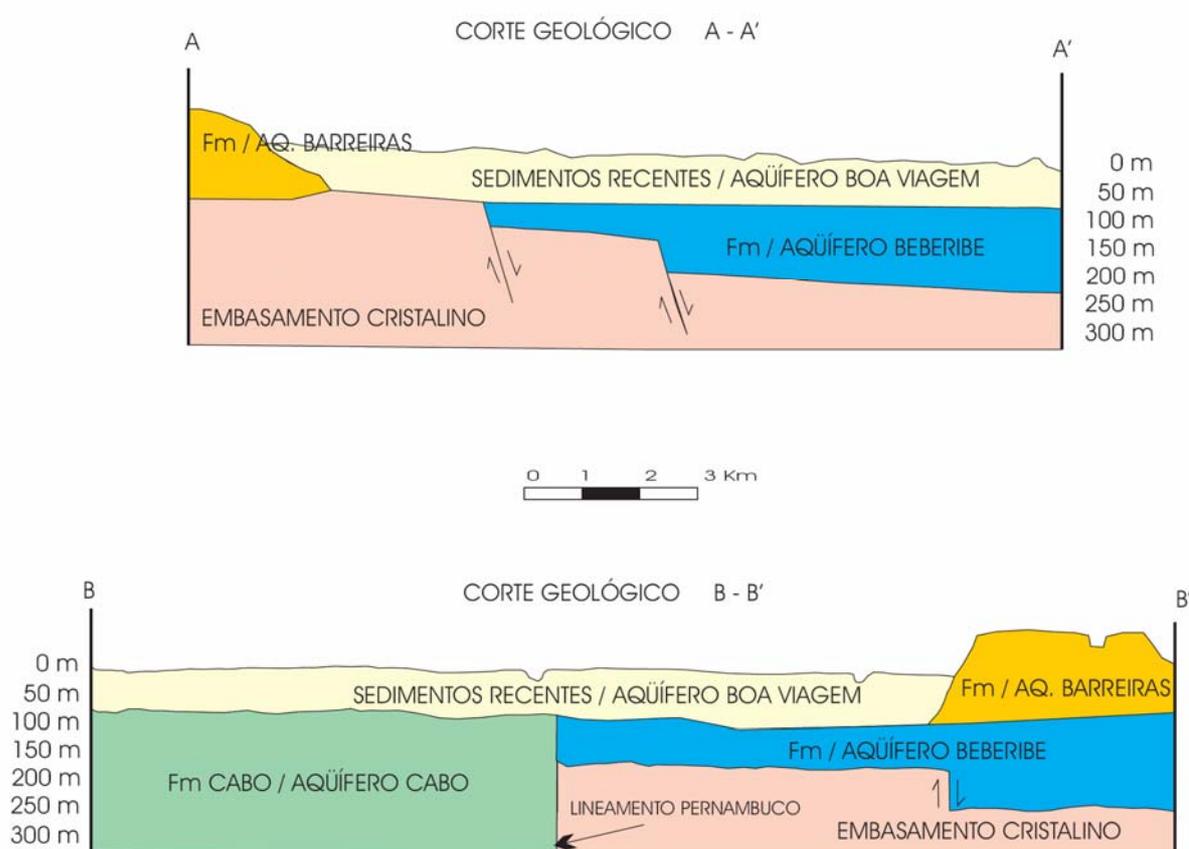


Figura 2.3 – Esboço Litoestrutural do município do Recife. Fonte: Costa et al, 1994 modificado

Segue-se uma caracterização de cada domínio geológico, e depois uma análise sobre as formações geológicas apresentadas na tabela 2.2.

#### 2.2.4.1.1. Bacia Vulcano-Sedimentar do Cabo

A Bacia 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. Trata-se

de uma bacia do tipo rift (Rifte do Cabo) com espesso pacote sedimentar, atingindo mais de 3.000 metros de espessura.

Tabela 2.2 - Caracterização dos domínios e formações geológicas da Bacia Cabo e Pernambuco-Paraíba

IDADES		Bacia Cabo	Bacia PE/PB	Litologia		
		Unidade Estratigráfica				
Q u a t e r n á r i o	Holoceno	Recifes		Arenitos com cimentação carbonática		
		Mangues		Areias finas, siltes e argilas orgânicas		
		Depósitos flúvio-lagunares		Areias, siltes e argilas orgânicas		
		Terraços marinhos holocênicos		Areias de praia com conchas		
		Terraços marinhos pleistocênico-modificado		Areias de praia com intercalações de argilas orgânicas		
		Terraços marinhos pleistocênicos		Areias de praia com cimentação por ácido húmico e Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
T e r c i á r i o	Pleistoceno	Fm. Barreiras		Areias quartzosas a subarcosianas de coloração creme Areias quartzosas a subarcosianas, com cores vivas variando entre o alaranjado, vermelho e roxo em função dos diferentes estágios de oxidação do ferro. Argilas maciças e siltes, de cores variadas. Diamictitos, com densidades de cascalho/seixo, onde a matriz é constituída por material argiloarenoso avermelhado		
		Plioceno				
		Mioceno		???		
		Oligoceno				
		Eoceno				
C r e t á c e o	Paleoceno	???		Fm. Maria Farinha Seção inferior com calcários detriticos, relativamente puros, e uma seção superior com calcários margosos e argilas. Toda a sequência é bastante fossilífera de macrofósseis e microfósseis		
		???		Fm. Gramame Calcários margosos argilosos de cor cinza. Conteúdo de fósseis variado porém com pouco macrofósseis		
		???		Fm. Beberibe Arenitos médio a finos com cimentação carbonática. Calcarenitos quartzosos. Siltitos e argilitos. Arenitos continentais quartzosos, médios a finos, com intercalações de siltitos e folhelhos.		
		Fm. Algodoads		???	Arenitos friáveis, maciços, compostos de fragmentos de fósseis variado porém com pouco macrofósseis	
		Turonian			Suite Ipojuca - Rocha vulcanicas de composição variável, desde básica - basalto, andesitos e traquitos, até acidaríolitos, apresentando-se como derrames, sills e diques	
		Cenomaniano			Fm. Estiva Suite Ipojuca	Fm. Estivas - Arcósios carbonáticos na base, crescendo verticalmente a participação até caracterizar, no topo, marga e calcários dolomíticos fossilíferos.
		Albiano				Fm. Cabo - Conglomerados polimíticos de matriz arcóseos, siltitos, argilitos e arenitos arcoseanos.
		Aptiano			Fm. Cabo	
Pré-Cambriano		Embasamento Cristalino		Granitos, granodioritos, gnaisses e migmatitos		

Fonte: (Monteiro, 2000)

#### a) Formação Cabo (Cretáceo Inferior)

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. Este lineamento é tido hoje como o limite das Bacias sedimentares

norte (Bacia Pernambuco-Paraíba) e sul (Bacia do Cabo). Sua litologia é constituída por conglomerados polimíticos de matriz arcoseana, arcósios, siltitos, argilitos e arenitos.

b) Formação Estiva (Cretáceo Médio - Cenomaniano)

Como a anterior, sua ocorrência restringe-se à região sul da área estudada, trata de uma unidade não aflorante. 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.

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.

Sua presença pode ser constatada na Planície do Recife, em subsuperfície, sob a forma de derrame sobre o embasamento, como por exemplo no bairro do Ipsep, como intercalada em forma de sills dentro da Formação Cabo ou na Formação Estiva, e ainda na região sul da área estudada, onde o poço perfurado até os 1.100m de profundidade atravessou uma seqüência alternada de vulcanitos e sedimentos.

d) Formação Algoduais ( Coniaciano)

É composta por uma seqüência de arenitos friáveis, composto de fragmentos angulosos de quartzo e feldspato em matriz mais fina areno-argilosa, de coloração avermelhada.

A Formação Algoduais foi designada por LIMA FILHO et al (1993,1994), e nela foram identificadas três fácies:

- a fácies de leque aluvial pós-vulcânico;
- leque aluvial mediano pós-vulcânico e
- leque aluvial distal.

Esses autores posicionaram esta formação no Coniaciano, sobreposta ao vulcanismo Ipojuca.

2.2.4.1.2. Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba

A Bacia Costeira Pernambuco-Paraíba, situada na porção norte da Região estudada, é formada por uma seqüência de rochas sedimentares cretácicas que mergulham suavemente

para leste. Está estratigraficamente subdivididas, por vários autores, como: Formação Beberibe (basal, arenítica), Formação Gramame (superior, calcária) e Cenozóica, desde o Paleoceno com a Formação Maria Farinha (calcária) aos sedimentos continentais plio-pleistocênicos da Formação Barreiras (sedimentos areno-argilosos).

a) Formação Beberibe (Cretáceo Superior)

Ocorre extensivamente na Bacia PE-PB (norte da área estudada), assentada diretamente sobre o embasamento cristalino. Sua espessura média regional é da ordem de 180 metros, alcançando valores médios entorno de 90 metros. As espessuras aumentam de oeste para leste (ausência nos Bairros da Várzea, Cidade Universitária, Curado e Engenho do Meio a 180 metros no bairro do Recife Antigo) havendo entretanto uma tendência de redução no sentido norte-sul.

A porção inferior da formação é caracterizada por arenitos continentais quartzosos de granulação fina a grossa, 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 estudos hidrogeológicos (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). Segundo SANTOS (2000) as características litológicas deste aquífero proporcionam uma estratificação química das suas águas, com águas cloretadas e mais agressivas na porção inferior e águas carbonatadas com dureza elevadas na porção superior.

b) Formação Gramame (Cretáceo Superior)

Ocorre restritamente ao longo de uma faixa norte-sul estreita e descontínua na porção leste da bacia sedimentar, da cidade de Olinda para norte, recobrindo os arenitos calcíferos da Formação Beberibe em contato com calcários dolomíticos e margosos muito fossilíferos. Sua espessura máxima, detectada em poços, não ultrapassa 100 metros.

c) Formação Barreiras (Terciário – Quaternário)

Ocorre principalmente na porção ocidental da faixa sedimentar da zona norte, ocupando mais de 50% da área da Região Metropolitana do Recife Norte, recobrindo discordante 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 desta Formação no litoral sul não são significantes, 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.

#### 2.2.4.1.3. A Planície do Recife: Sedimentos Recentes (Quaternário)

Os Sedimentos Recentes são constituídos por areias variadas, argilas, limos e vasas, de origem continental e/ou marinha, ocorrendo nos vales dos rios, ao longo das praias e em zonas de mangues. Esses sedimentos ocorrem também ao longo da região adjacente da área estudada, porém são particularmente desenvolvidos na Planície do Recife, onde receberam em superfície a designação de Sedimentos Indiferenciados, ao passo que em subsuperfície foram denominados por Costa et al (1994) de Aquífero Boa Viagem. Estes sedimentos sobrepõem-se aos sedimentos Cretáceos e Terciários das duas Bacias sedimentares ocorrentes na área pesquisada e possuem uma espessura média em torno 50 metros.

#### 2.2.5. Caracterização Geotécnica

##### 2.2.5.1. Descrição das Unidades Geotécnicas

Por se tratar de estudo de vulnerabilidade em um aquífero freático, de unidade litológica heterogênea, a apresentação da geotecnia foi necessária, devido à importância em melhor classificar os primeiros quatro metros de profundidade, onde a geologia apresenta a formação como um todo.

A geotecnia da cidade do Recife desenvolveu-se, em sua maior parte sobre uma extensa planície de origem deltaica, resultante do acúmulo de sedimentos trazidos principalmente pelos rios Capibaribe e Beberibe, misturados com material de origem marinha (Pfaltzgraff, 2004).

Alheiros et al, (1995) apresentaram a carta geotécnica do Recife em meio digital (AutoCAD) e detalhou cada unidade geotécnica no município do Recife. Para nosso trabalho se deteve apenas nas unidades que inserem o aquífero Boa Viagem (Figura 2.4), sendo representada cada uma delas a seguir:

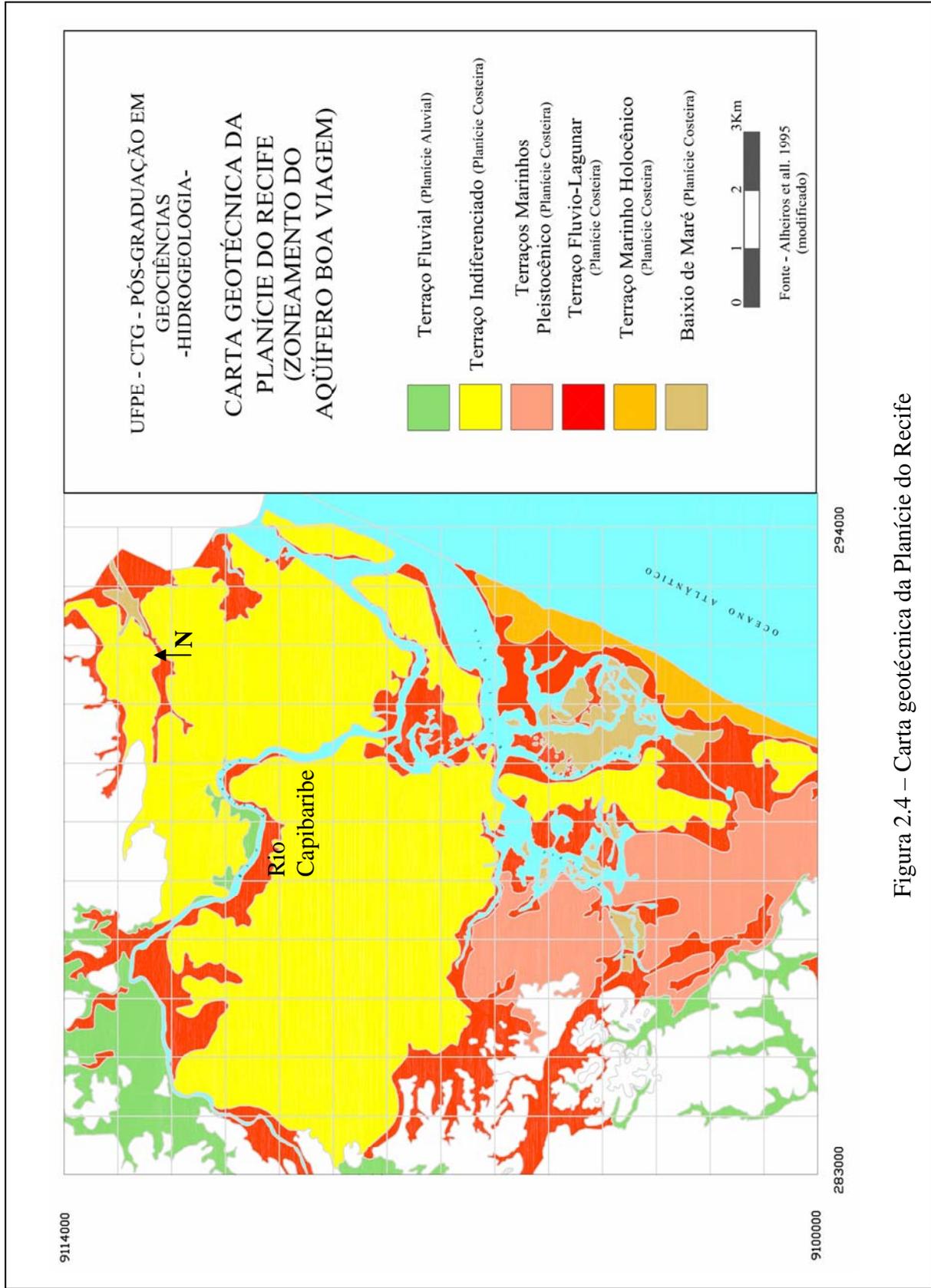


Figura 2.4 – Carta geotécnica da Planície do Recife

#### 2.2.5.1.1. Baixios de maré

##### a) Localização

Esta unidade compreende terrenos de mangues que ocupam áreas costeiras restritas associadas à zona estuarina dos principais rios que drenam o município, situando-se na porção centro leste da área pesquisada.

##### b) Características Geotécnicas

São solos com resistência extremamente baixa, podendo ocorrer nos primeiros 4 metros de profundidade, lentes de turfa e argilas orgânicas, intercaladas a sedimentos arenosos de variada granulometria; a partir dessa profundidade, podem ocorrer sedimentos arenosos com pouca argila.

Esta unidade apresenta grande suscetibilidade para alagamentos e instabilidades. Exerce um importante papel na redução dos efeitos da erosão costeira e da poluição das águas estuarinas, daí a importância de sua preservação juntamente com outras terras úmidas.

#### 2.2.5.1.2. Terraço flúvio-lagunar

##### a) Localização

Essa Unidade é composta por áreas planas e rebaixadas da planície costeira, ocupadas por terraços de origem mista, fluvial e lagunar, com cotas entre 0 e 4 metros e ocorrem próximo às margens dos principais eixos fluviais da cidade como os rios: Capibaribe, Tejipió e Jordão.

##### b) Características Geotécnicas

Em virtude da origem múltipla, são solos com intercalação de camadas arenosas e siltosas resultantes da ação predominantemente fluvial, e argilosas, com trechos ricos em argilas moles, onde podem ocorrer lentes de turfa, oriundas de paleocanais de marés, nas fases de mar baixo.

São áreas suscetíveis a inundações e com grande vulnerabilidade quanto à contaminação das águas subterrâneas.

#### 2.2.5.1.3. Terraço marinho holocênico

##### a) Localização

Esta Unidade ocorre ao longo da zona litorânea, de Brasília Teimosa a Boa Viagem, segundo uma faixa de largura variável entre 100 e 800 metros, e comprimento de 9 quilômetros.

##### b) Características Geotécnicas

São freqüentemente encontradas em sondagens, recifes ou cordões de arenitos de praia, também conhecidos como *beach rocks*, paralelos à linha de costa atual, com até 3 metros de espessura, intercalados aos sedimentos de praia, algumas vezes recobrimdo camadas de turfa ou de conchas não cimentadas.

Podem ocorrer nesta unidade geotécnica, lentes de argilas moles, tendo em vista a presença de antigos canais de marés posteriormente assoreados e capeados por areias de praia.

Problemas de erosão costeira são verificados em alguns pontos da linha de costa, em decorrência do déficit dos sedimentos disponíveis para o transporte litorâneo e da ampliação do calçadão da Av. Boa Viagem, que avançou mais ainda sobre a pós-praia.

É comum a salinização das águas subterrâneas de aquíferos superiores, por superexploração e até do aquífero profundo.

É baixo o risco de inundações, embora sujeito a alagamentos temporários em virtude da alta taxa de impermeabilização dos terrenos, como resultado da urbanização.

#### 2.2.5.1.4. Terraço marinho pleistocênico

##### a) Localização

Essa unidade ocorre na parte sul do município, abrangendo a área do Aeroporto dos Guararapes e grande parte dos bairros de Areias, Estância, Jardim São Paulo e Setúbal (Armando Moura).

##### b) Características Geotécnicas

Essas areias são freqüentemente usadas como material de construção, deixando grandes cicatrizes na planície, como no bairro de Areias.

Embora sejam áreas arenosas estáveis, podem capear sedimentos argilosos com matéria orgânica, de antigas lagunas ou canais de marés, formados em fases pretéritas de mar baixo.

São as áreas de menor risco geológico na planície, quanto a inundações. Sua alta permeabilidade entretanto as tornam vulneráveis à contaminação ou salinização.

#### 2.2.5.1.5. Terraço indiferenciado

##### a) Localização

Esta é, em área, a unidade mais representativa da planície, ocupando a parte central do município e estendendo-se para sul ao longo do Rio Jordão.

##### b) Características Geotécnicas

Vale para esta unidade as observações feitas com relação à processos erosivos desses terraços arenosos, com a ressalva da presença de lentes de sedimentos argilosos com matéria orgânica, de antigas lagunas ou canais de marés, formados em fases pretéritas de mar baixo, capeadas pelas areias marinhas ou fluviais, nesse caso.

Durante as grandes cheias que atingiram a Planície do Recife, a área ocupada por esta unidade foi fortemente atingida. A alta taxa de impermeabilização resultante da urbanização e os aterros indiscriminados de calhas fluviais foram os principais responsáveis por essas inundações.

#### 2.2.5.1.6. Terraço fluvial

##### a) Localização

Essa unidade ocorre principalmente na parte norte, oeste e sudoeste da área, ao longo dos vales fluviais dos rios Capibaribe e Tejipió, onde é pequena a nula, a influência das marés atuais.

##### b) Características Geotécnicas

Esta unidade caracteriza-se como um material inconsolidado de alta permeabilidade, com intercalações de cascalho, comumente explorado como jazida de areia.

São áreas sujeitas a inundações periódicas nos períodos de inverno mais rigoroso. O lançamento de efluentes domésticos e até industriais, sem tratamento, diretamente no sistema de drenagem, resulta em altos índices de poluição dos solos e das águas superficiais e subterrâneas.

### 2.2.6. Geomorfologia

O município do Recife está inserido numa vasta Planície Costeira, a qual forma um grande anfiteatro, circundada por morros, que podem se apresentar isolados ou sob a forma de tabuleiros. A compartimentação geológica-geomorfológica da área compreende as unidades abaixo relacionadas.

Tabela 2.3 – Compartimentação geológica-geomorfológica da área do município do Recife. (Coutinho, et al, 1999).

MODELADO CRISTALINO	Morros	Embasamento Cristalino
DOMÍNIO COLINOSO		Formação Cabo
TABULEIROS COSTEIROS		Formações Beberibe e Barreiras
PLANÍCIE COSTEIRA	Planície Flúvio-Lagunar	terraços indiferenciados (planície não alagável)
		terraços fluvio-lagunares
		planície alagável
		planície alagada
	Baixios de maré (mangues)	
	Terraços marinhos pleistocenicicos	
	Terraços marinhos holocenicicos	
Depósitos de praia		
Recifes de arenito		

#### 2.2.6.1 - Modelado Cristalino

Esta unidade ocorre em pequenos trechos restritos ao extremo oeste da área, correspondendo do ponto de vista geológico, ao embasamento cristalino, que é representado por rochas graníticas, gnáissicas e migmatitos, de idade pré-cambriana. O relevo predominante é de morros e chãs, com morfologia irregular, apresentando cotas que podem atingir mais de 100 m. Os vales fluviais encontrados nesta unidade são de fundo chato, quando colmatados por material arenoso, ou em forma de V. Este relevo foi provavelmente formado sob condições paleoclimáticas úmidas, exibindo uma extensa e espessa capa de regolito. O relevo plano está correlacionado muitas vezes com o regolito profundo (>5m) e

com encostas suavizadas, geralmente, convexas ou retilíneas, produzindo feições conhecidas como chãs.

#### 2.2.6.2 - Domínio Colinoso

Este compartimento geomorfológico é encontrado onde ocorrem as formações cretáceas existentes na área, apresentando cotas situadas entre 10 a 40 m. A morfologia desta unidade é caracterizada pela presença de colinas suaves e mais ou menos arredondadas conhecidas como "meias-laranjas" ou "mares de morros", geralmente de pequena extensão. Os vales tem geralmente a forma em U, sendo as encostas geralmente convexas. Este relevo ocorre entre os tabuleiros costeiros e os vales dos principais rios, ou pode se apresentar de forma isolada e saliente no terreno, destacando-se da morfologia local.

#### 2.2.6.3 - Tabuleiros Costeiros

São feições geomorfológicas cuja denominação, extraída da nomenclatura popular regional, foi mantida tendo em vista que representa de maneira satisfatória a sua morfologia, constituídos por sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras. Os tabuleiros representam um vasto glaciais detrítico, de altitudes geralmente situadas entre 40 - 100 m, sulcados pela drenagem, com interflúvios de topos aplainados, sendo estas características marcantes na unidade. Este compartimento ocorre de forma mais expressiva na porção norte da cidade do Recife, onde a morfologia mais regular, com extensas superfícies aplainadas, determina declividades mais constantes. Os vales de fundo chato são predominantes, ocorrendo, ainda, importantes cabeceiras de drenagem, principalmente na porção N/NW do Recife. Vale salientar que os retrabalhamentos dos Tabuleiros Costeiros produzem feições conhecidas como rampas de colúvio, aumentando a possibilidade mais imediata de evacuação de seus sedimentos, uma vez que se trata de material já mobilizado e em posição de declive, favorecendo a ação da gravidade.

#### 2.2.6.4 - Planície Costeira

As planícies costeiras, elaboradas durante o Quaternário, constituem uma unidade geológico-geomorfológica de grande complexidade, tendo em vista representarem um ambiente de transição entre os fenômenos continentais e marinhos. No município do Recife foram distintos os seguintes sub-compartimentos geomorfológicos na Planície Costeira:

#### 2.2.6.4.1 - Planície Flúvio-Lagunar

Esta planície flúvio-lagunar foi dividida em quatro sub-unidades: a) Terraços indiferenciados ou Planície não alagável, relacionada com os depósitos fluviais b) Terraços Flúvio-Lagunares; c) Planície Alagável e d) Planície Alagada.

a) Terraços Indiferenciados: esta unidade representa a porção mais abrangente da planície costeira. Forma uma expressiva área plana relacionada com as planícies fluviais dos principais rios da região, a qual se mantém seca e pouco susceptível a problemas de inundação. Os depósitos fluviais são constituídos por sedimentos aluvionares areno-argilosos, depositados ao longo dos principais vales, preenchendo a porção mais interna da planície costeira, e dentro dos vales esculpido pelos principais rios e riachos.

b) Terraços Flúvio-Lagunares: representam as porções limitadas na planície costeira entre os terraços fluviais e/ou os terraços marinhos, apresentando-se com cotas mais altas que os Baixios de Maré. Os depósitos flúvio-lagunares formaram-se devido ao afogamento da região durante a última transgressão, tendo sido, na regressão subsequente, abandonados em depressões já existentes, e, posteriormente, submetidos aos efeitos da ação fluvial. Estes sedimentos são constituídos por areias finas a grossas até siltes argilosos, com diferentes graus de compactação, podendo ocorrer como terraços mais ou menos contínuos.

c) Planície Alagável: representada por áreas mais rebaixadas situadas entre os terraços marinhos e alguns depósitos flúvio-lagunares que podem ser inundados intermitentemente.

d) Planície Alagada: associada às zonas úmidas inundadas permanentemente, representadas pelas lagoas, brejos e alagados.

#### 2.2.6.4.2 - Baixios de Maré

Este sub-compartimento é encontrado nas áreas onde o gradiente de declividade é quase nulo, estando, portanto, sujeito a ação das marés. Devido à topografia, estas áreas são ambientes favoráveis aos processos de sedimentação flúvio-marinha. Os solos com alto teor de salinidade, as águas mornas e salobras, e o constante fluxo das marés permitem o surgimento de uma vegetação típica: o mangue.

Contudo, a ação antrópica, representada pelos aterros indiscriminados vem descaracterizando continuamente as áreas de manguezais, gerando sérios problemas ambientais.

#### 2.2.6.4.3 - Terraços Marinheiros Pleistocênicos

Os Terraços Pleistocênicos apresentam-se, em geral, descontínuos, mais ou menos alongados e paralelos à linha de costa ou no sopé das formações geológicas mais antigas. Em toda a área estes terraços alcançam altitudes até 6 m, tendo sido bastante modificados pela ação fluvial e antrópica.

#### 2.2.6.4.4 - Terraços Marinheiros Holocênicos

Este subcompartimento apresenta uma geometria mais regular com relação aquela observada no terraço anterior, sendo em geral, alongados, paralelos à linha de costa, com altitude média de 1-3 metros.

#### 2.2.6.4.5 - Depósitos de Praia

Estes depósitos ocorrem diretamente na linha de praia, apresentando-se como faixa estreita, o que, por vezes, dificulta sua representação cartográfica. São constituídos de areias quartzosas bem selecionadas, inconsolidadas, sofrendo contínuo retrabalhamento do mar. Foram observados alguns trechos onde ocorrem pequenas acumulações eólicas (dunas frontais), principalmente na praia do Pina.

#### 2.2.6.4.6 - Recifes de Arenito

Apresentam-se com topos aplainados, podendo ser recobertos por corpos coralinos e algálicos, sendo interrompidos nas vizinhanças das desembocaduras dos rios e barras arenosas.

Os recifes desempenham um importante papel na morfologia atual da costa, pois funcionam como um anteparo natural às investidas das ondas, protegendo, desta forma, as praias de processos erosivos marinhos.

### 3. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO AQÜÍFERO BOA VIAGEM

#### 3.1. CONHECIMENTOS ANTERIORES

A região da Grande Recife tem sido objeto de estudos hidrogeológicos desde a década de 1960 (Manoel Filho, 2004).

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.

Na década de 1970 esses estudos foram intensificados com a exploração de água subterrânea do aquífero Beberibe na região de Olinda (França & Capucci, 1978).

Nos anos 1980-1982 foram feitos estudos pela COMPESA-CPRM para implantação de sistemas de abastecimento d'água de conjuntos habitacionais nos morros da zona norte do Recife. Em 1984 – 1985 merecem destaque os estudos feitos pela UFPE na Planície do Recife (Batista 1984), e em Olinda (França et al, 1988) e os estudos conduzidos no âmbito do Plano Diretor de Abastecimento d'Água da RMR (Região Metropolitana do Recife), pela COMPESA-CPRM e COMPESA-Acqua Plan.

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.

Nos anos 1990 os principais estudos são ainda da UFPE (Montenegro et al, 1991, 1992; Santos & Costa Filho, 1994; Costa et al, 1998).

Em 1994, tratando de vulnerabilidade natural de aquífero destaca-se o PROJETO SINGRE de Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas da Região Metropolitana do Recife, este deu um enfoque ao aquífero Beberibe com utilização do método GOD.

Em 1998 o HIDROREC I através do Estudo Hidrogeológico da Região Metropolitana. Em anos mais recentes, tratando da exploração de água mineral destaca-se o estudo de Mente 44 & Cruz, 2001, e no âmbito do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco, os estudos da CPRH (2001) e SRH (2001) e finalmente o estudo de Costa et al. 2002 através do HIDROREC II (2002) – Estudo Hidrogeológico de Recife, Olinda, Camaragibe e Jaboatão.

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 subterrânea livre, que ocorriam na área estudada, estendendo-se ainda pela Planície do Recife.

Baseados em trabalhos realizados na área estudada (Batista, 1984; Costa, 2002; Manoel Filho, 2004 e Santos, 2000) apresenta uma caracterização hidrogeológica da área estudada. As águas subterrâneas vêm sendo exploradas há mais de 50 anos no município do Recife, porém, nas últimas décadas com o aumento significativo das perfurações de poços neste município devido ao déficit dos recursos hídricos superficiais.

### 3.2. 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 recobrindo os sedimentos do aquífero Beberibe e Cabo e ora sobre o embasamento cristalino na região mais a oeste. Na região oeste da área estudada 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 nos bairros de Boa Viagem, Cidade Universitária, Espinheiro e Santo Amaro (Costa et al, 2000).

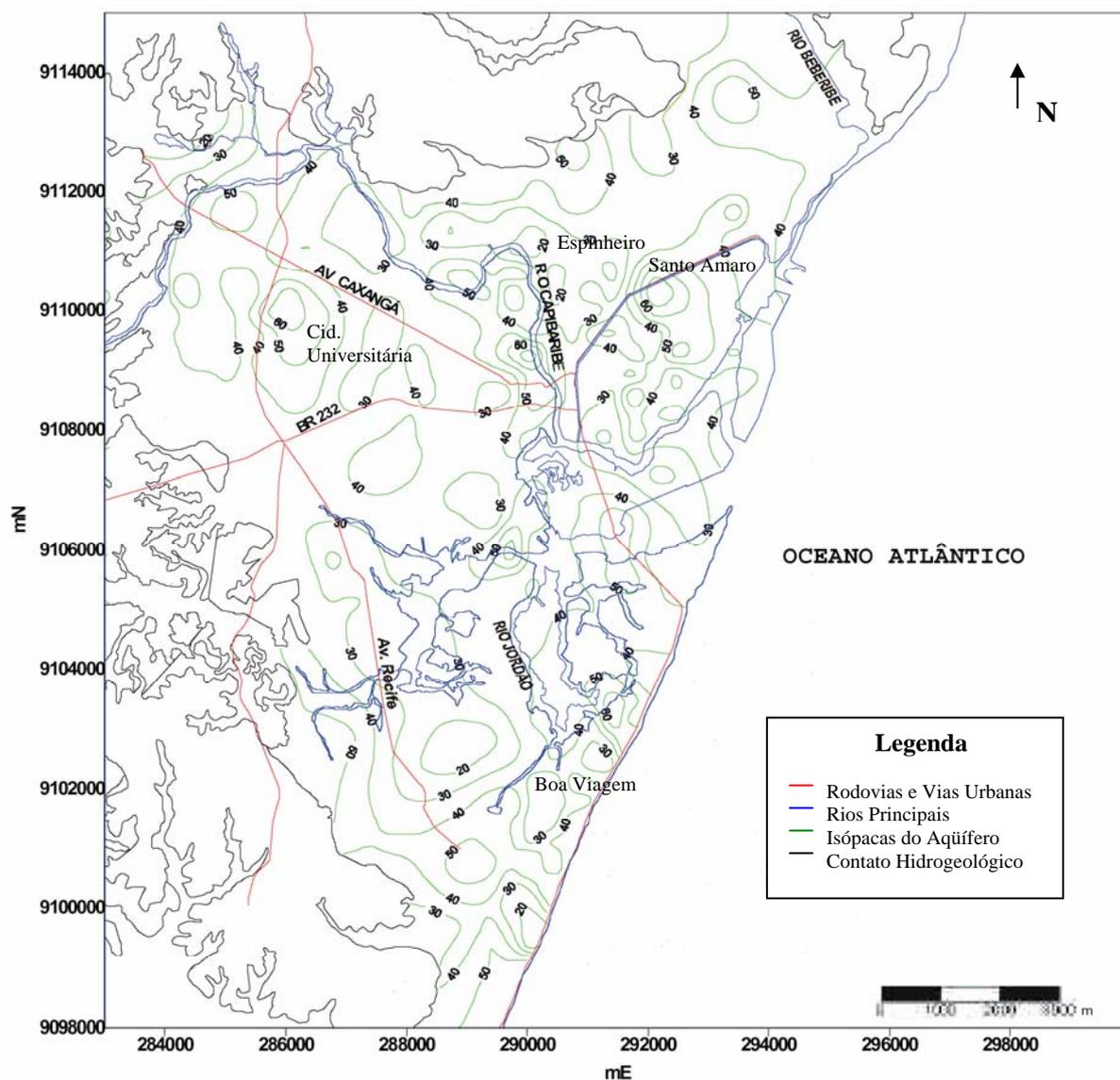


Figura 3.1 – Mapa de Isópacas do Aquífero Boa Viagem (Costa et al, 2000)

Os poços perfurados neste aquífero são pouco profundos (<40m), devido principalmente a espessura reduzida deste pacote aquífero, onde se constata vários poços feitos a trado e manualmente a pá e picareta. Os poços rasos perfurados a trado chegam a atingir até 20m de profundidade, enquanto os poços rasos perfurados manualmente (cacimbões e poços amazonas), podem atingir até 10 metros de profundidade.

A profundidade média dos poços existentes neste aquífero é de 27 metros, com a grande maioria situada entre 20 e 40m.

As principais características do aquífero Boa viagem estão referenciadas na tabela

3.1.

Tabela 3.1 - Principais Características do Aquífero Boa Viagem

<b>PARÂMETROS</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
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
Condutividade hidráulica ou permeabilidade	$1,7 \times 10^{-4} \text{ m/s}$
Transmissividade	$7,0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
Coefficiente de armazenamento ou porosidade eficaz (aquífero livre).	$1,0 \times 10^{-1}$
Vazões	Baixa a elevada com média em torno $17 \text{ m}^3/\text{h}$ .
Vazões Específicas	Elevadas ( $4,5 \text{ m}^3/\text{h/m}$ em média).

Além da exploração por poços profundos (superiores a 20m), esse aquífero é intensamente captado por poços rasos, possuindo, somente no Recife, mais de 8.000 poços, entre poços tubulares e poços amazonas (Costa et al, 2002).

### 3.3. CONDIÇÕES DE ALIMENTAÇÃO, CIRCULAÇÃO E EXUTÓRIOS

Segundo Costa et al (2000) a alimentação ou recarga dos aquíferos verifica-se na região 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 aquífero para outro a ele sotoposto;
- por drenança vertical ascendente de aquíferos inferiores (estratigraficamente), com maior carga potenciométrica;

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”.

Segundo Costa et al (2000) considerando a área de 112,5 km<sup>2</sup> 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  $R = A \times D_s \times m$  em que A = área do aquífero (em m<sup>2</sup>), D<sub>s</sub> = variação de altura da superfície potenciométrica, no ano (em m) e m = porosidade eficaz do sistema aquífero (adimensional) acusou o seguinte valor:

$$R = 112,5.106 \times 2,5 \times 0,1 = 28,12 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A circulação das águas subterrânea no 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 (Costa et al, 2000).

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.

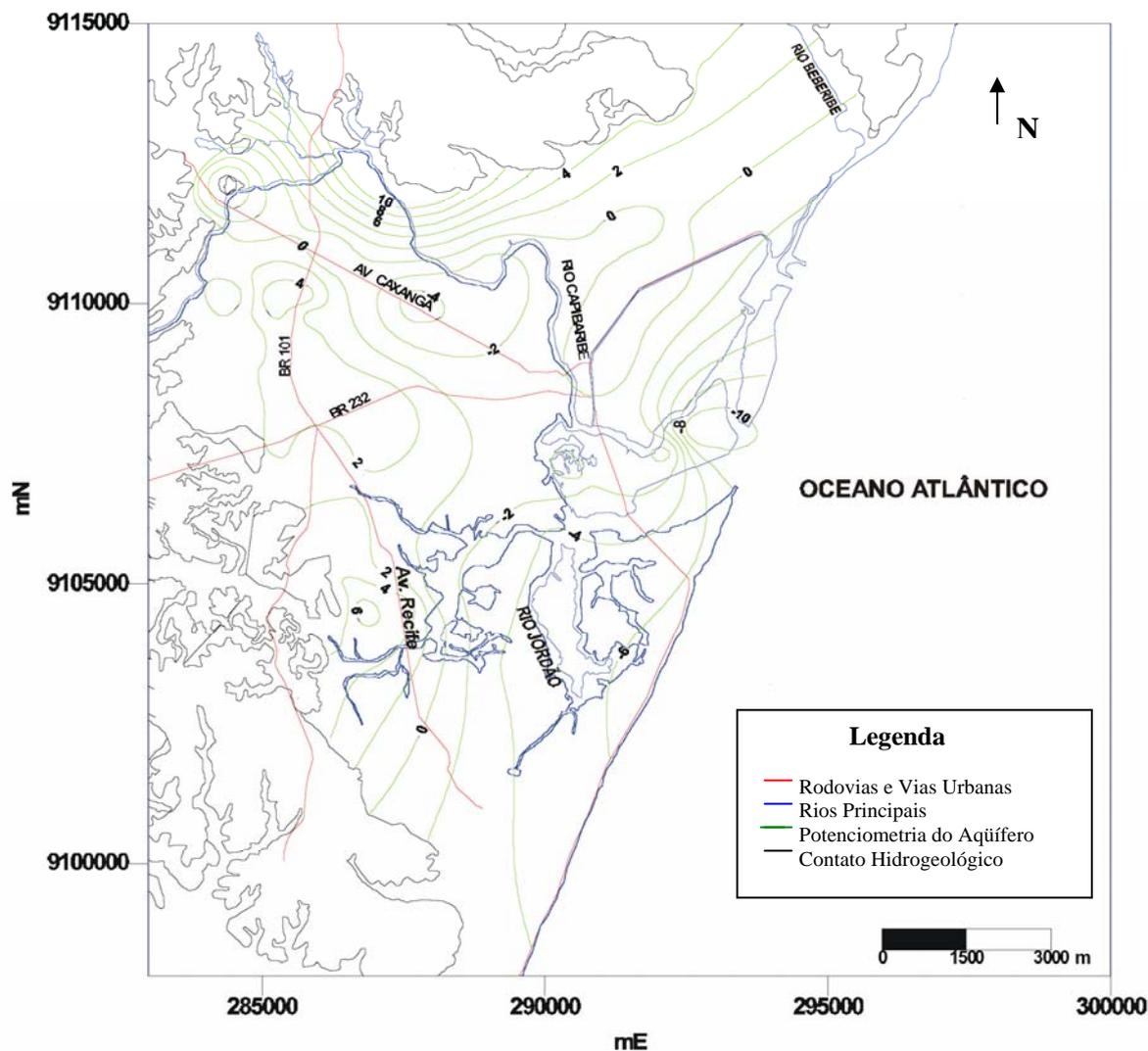


Figura 3.2 – Mapa Potenciométrico do Aquífero Boa Viagem (Costa et al, 2000)

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.

No estudo realizado pelo projeto HIDROREC II (2002) foi encontrado um valor para a vazão de escoamento natural da ordem de 35 milhões de metros cúbicos ao ano, ou  $1,12 \text{ m}^3/\text{s}$ . Sendo o exutório natural:  $0,369 \text{ m}^3/\text{s}$  e exutório artificial:  $0,37 \text{ m}^3/\text{s}$ , gerando um excedente no balanço hídrico de  $0,381 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Os níveis estáticos são mostrados no mapa (Figura 3.3) onde apresenta na maior parte níveis entre 1 a 5 m, e nos bairros da Caxangá, Cidade Universitária e Várzea a níveis entre 7 a 13 m.

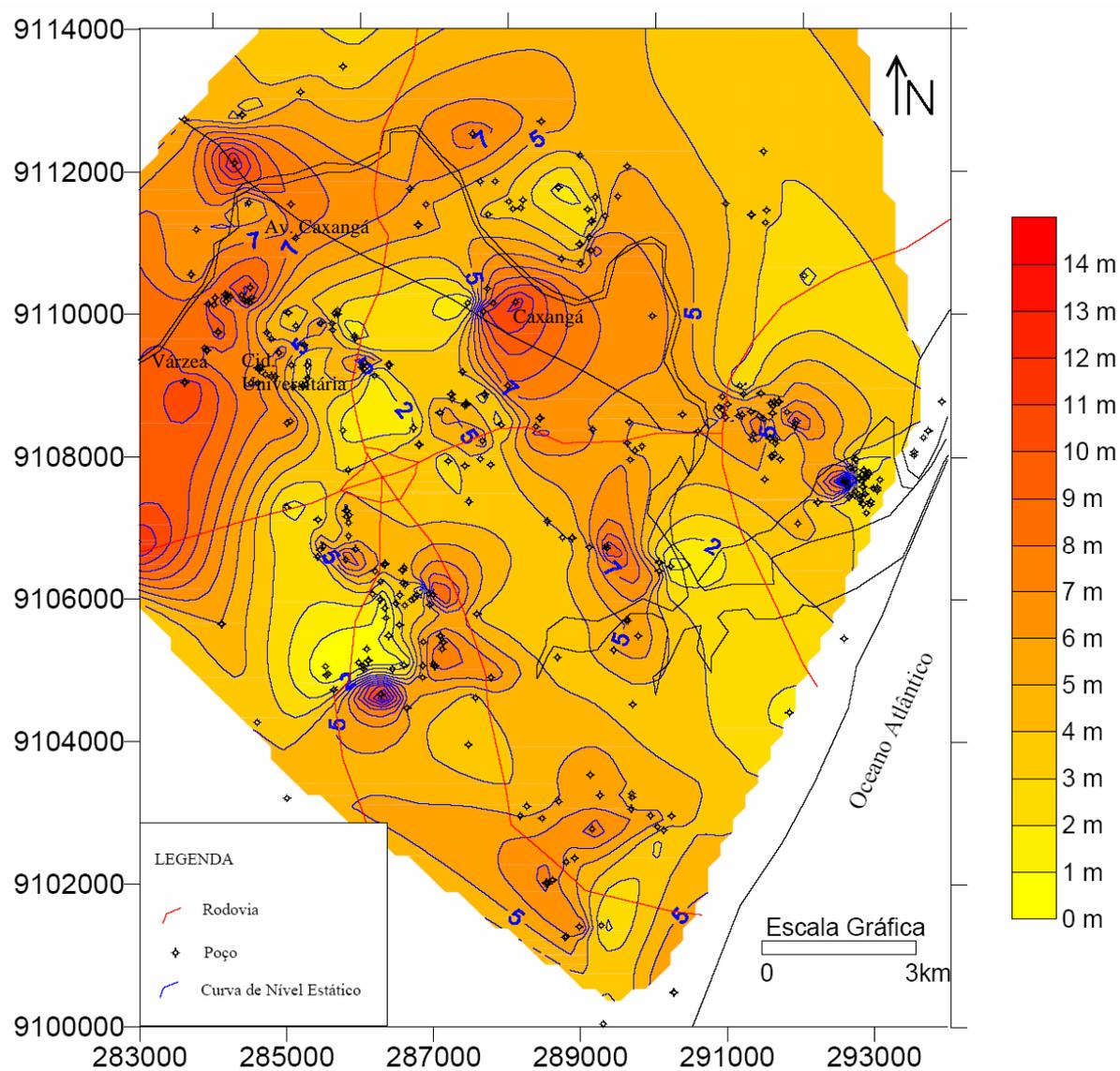


Figura 3.3 – Mapa de nível estático do aquífero Boa Viagem na região do município do Recife (Costa et al, 2002)

#### 4. FUNDAMENTOS, CONCEITOS E APLICAÇÃO DE AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Segundo Lobo Ferreira e Cabral (1991) o conceito de vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas foi definido na conferência internacional sobre “Vulnerability of Soil and Grondwater to Pollutants”, realizada em 1987, na Holanda (Duijvenbooden e Waegeningh (Ed.), 1987) como:

*a sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente, função apenas das características intrínsecas do aquífero.*

O conceito de vulnerabilidade das águas subterrâneas é assim distinto da definição de risco de poluição, que depende não só da vulnerabilidade, mas também da existência de carga poluente que possam poluir o meio subterrâneo.

Deste modo, é importante conhecer a diferença entre o conceito de vulnerabilidade e risco de poluição. O risco é causado não apenas pelas características intrínsecas do aquífero, geralmente estáveis, mas também pela existência de atividades poluentes que podem, em princípio, ser controladas.

Os episódios graves de poluição das águas subterrâneas e as suas conseqüências na qualidade do ambiente ou no grau de perturbação do abastecimento público, não são, deliberadamente, consideradas na definição de vulnerabilidade. A gravidade deste impacto dependerá não só da vulnerabilidade do aquífero à poluição, mas também da magnitude do episódio e da importância do recurso hídrico subterrâneo afetado.

Outro aspecto a ter em consideração na análise da vulnerabilidade à poluição deve-se à variabilidade de um aquífero consoante o tipo de poluente presente. Por exemplo, a qualidade da água de um aquífero pode ser muito vulnerável a uma carga poluente de nitratos à superfície resultante de más práticas agrícolas e pouco vulnerável a uma carga poluente de microrganismos patogênicos, resultante de uma descarga efluente não tratada.

Tendo em atenção esta realidade, parece ser mais sensato avaliar a vulnerabilidade à poluição de um aquífero em relação a um grupo específico de poluentes, nutrientes, compostos orgânicos, metais pesados, microrganismos patogênicos, etc., criando deste modo um conceito de vulnerabilidade específica.

#### 4.1. POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO AQUÍFERO BOA VIAGEM

As captações de água subterrânea com maior vulnerabilidade e risco de contaminação são dos poços com profundidade inferior a 50 m, que é o caso dos poços no aquífero Boa Viagem, onde a maioria não ultrapassa a essa profundidade.

Levantamentos realizados na porção centro-norte da RMR (Costa et al.1998 op. cit.) indicaram como fontes potenciais de poluição nada menos que 145 postos de combustível, 20 lixões e 14 cemitérios, dentre os quais aproximadamente a metade (42%), na cidade do Recife (figura 4.1). Não se sabe, todavia, até que ponto essas fontes efetivamente poluem as águas do aquífero freático por falta de um programa de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas do aquífero freático, capaz de mostrar a distribuição espacial das eventuais plumas de contaminação existentes.

Admite-se que a contaminação mais provável seja por esgotos domésticos (basicamente nitratos oriundo de fossas) e também por hidrocarbonetos monoaromáticos (basicamente produtos da indústria de petróleo) oriundos dos postos de combustível e de lubrificantes. As preocupações relacionadas ao potencial de contaminação de águas subterrâneas, por derramamento de combustível, vêm crescendo em diversas cidades brasileiras. Em Joinville, a Prefeitura realizou um estudo com 65 postos de gasolina da cidade, em que foi constatado que somente um deles não possuía qualquer tipo de vazamento (Corseuil & Marins, 1997).

Nas zonas urbanas os maiores problemas de contaminação são atribuídos aos hidrocarbonetos monoaromáticos, considerados como sendo os constituintes de maior solubilidade e mobilidade. São conhecidos como BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos).

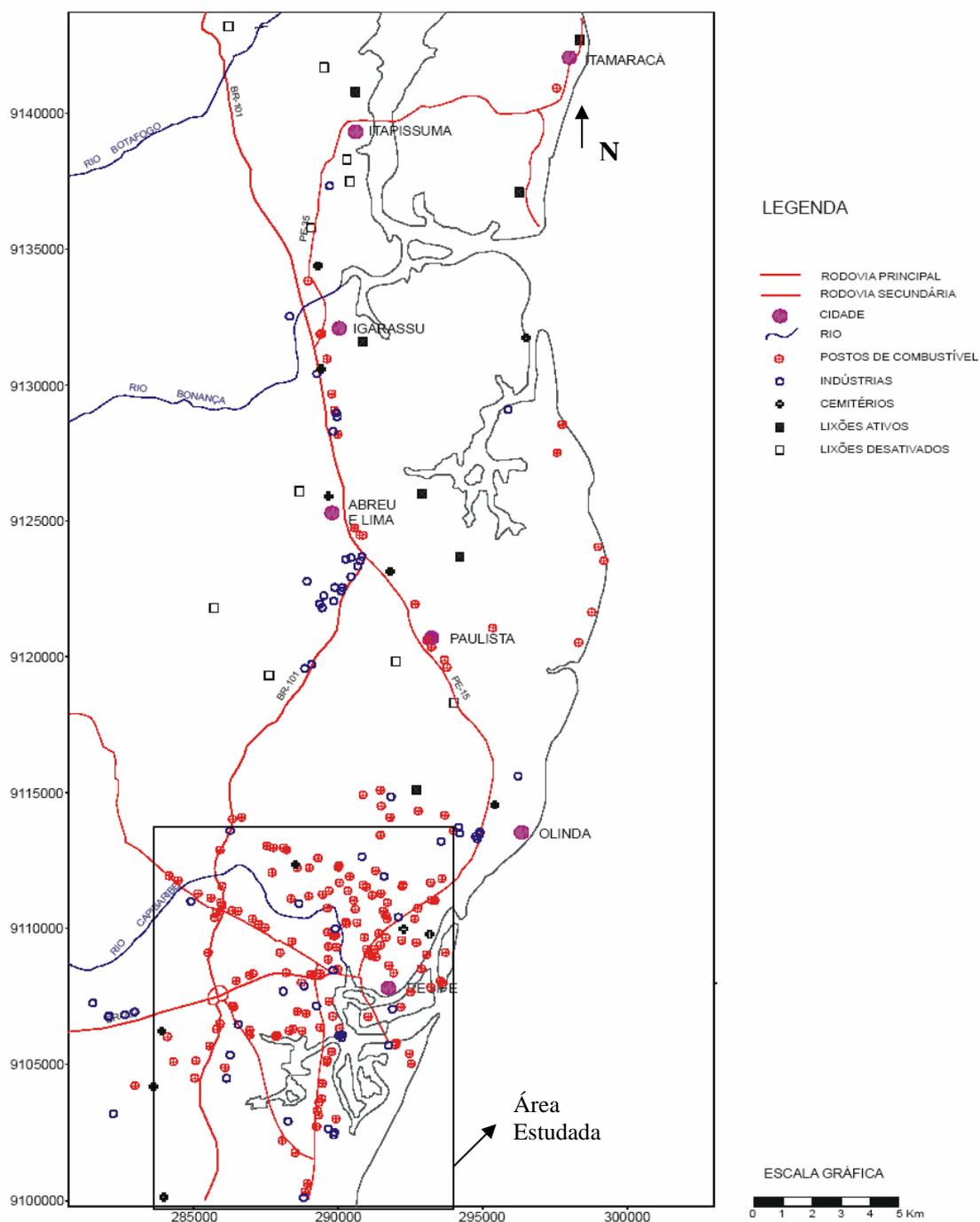


Figura 4.1 - Fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas identificadas na porção centro-norte da Região Metropolitana do Recife (Costa et al. 1998).

#### 4.2. MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL DO AQUÍFERO

Existe hoje um grande número de métodos para avaliar a vulnerabilidade natural do aquífero. Esses métodos variam de simples a mais trabalhoso, nos quais irão também

dependem dos dados disponíveis. O método mais adequado de mapeamento da vulnerabilidade das águas subterrâneas deve fazer uso de técnicas simples, baseados em um número de dados restritos, mais confiáveis. A utilização de metodologias complexas, que emprega interações de muitos parâmetros, para áreas extensas, apresenta dificuldades para sua utilização e tem pouca relação com a realidade local, devido, principalmente, à distribuição espacial irregular e/ou falta de dados técnicos, faz com que estas metodologias não sejam aplicáveis na área da planície do Recife.

Segundo Manoel Filho (2004) a caracterização da vulnerabilidade deve ser adaptada ao uso pretendido e até mesmo adaptada a condições locais. No planejamento ambiental, na gestão da água subterrânea, na identificação de atividades existentes potencialmente geradoras de contaminação e na implantação de novas atividades extrativas de água, é útil considerar diferentes tipos de avaliação de vulnerabilidade.

Pelo acima proposto, conclui que pela metodologia utilizada para a cartografia da avaliação da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas (método GOD) do aquífero boa viagem, no município do Recife, apresenta-se bastante adequada como ferramenta para o ordenamento e disciplinamento da perfuração de poços e das atividades que manuseiam substâncias potencialmente contaminantes.

Na sequência são mostrados os diferentes tipos de métodos para avaliação da vulnerabilidade natural de aquífero.

#### 4.2.1. Método GOD

No método GOD, desenvolvido por Foster (1987) são considerados 3 parâmetros:

- **G (Groundwater occurrence)** - forma de apresentar-se a água subterrânea (aquífero livre, semi-confinado, confinado ou não há aquífero)
- **O (Lithology of the Overlying layers)** - caracterização global do aquífero quanto ao grau de consolidação e natureza litológica das camadas superiores (zona não saturada)
- **D (Depth of Groundwater)** - profundidade até o nível freático ou topo do aquífero confinado

O cálculo do seu valor resulta de um conjunto de operações sequenciais definidas em Foster (1987). O método empírico engloba sucessivamente três fatores a serem determinados em fases distintas. A primeira fase consiste na identificação do tipo de ocorrência da água subterrânea, num intervalo de 0 - 1. A segunda fase trata da especificação dos tipos litológicos acima da zona saturada do aquífero, com a discriminação do grau de consolidação (presença e ausência de permeabilidades secundárias) e das características da granulometria e litologia; este fator é representado numa escala de 0,3 a 1,0. A terceira fase é a estimativa da profundidade do nível da água (ou do teto do aquífero confinado), numa escala de 0,4 a 1,0. O produto destes três parâmetros é o índice de vulnerabilidade, expresso numa escala de 0 a 1, em termos relativos.

Os resultados são expressos em termos qualitativos, em índices de vulnerabilidade extremo, alto, médio, baixo e nulo, conforme visto na Figura 4.2.

A tradução destes índices para a realidade se torna clara, quando o seu significado físico é expresso da seguinte forma: uma vulnerabilidade **nula** indica que não existe aquífero, quer pela ausência de água em quantidades aproveitáveis, quer pela baixa qualidade natural. O índice **baixo** significa que o aquífero é vulnerável a apenas compostos extremamente móveis e persistentes, como sais, nitratos e alguns solventes organo-sintéticos. Um aquífero de índice **médio** é susceptível a contaminantes moderadamente móveis e persistentes, como hidrocarbonetos halogenados ou não e alguns metais pesados. Sais menos solúveis são também incluídos nesse grupo. O índice **alto** indica aquífero vulnerável a muitos contaminantes exceto aqueles que são muito absorvíveis e/ou facilmente transformáveis e finalmente o índice **extremo** é aplicável ao aquífero que possui sensibilidade para contaminantes degradáveis, como bactérias e vírus, sendo vulnerável a maioria dos contaminantes da água com um impacto relativamente rápido em muitos cenários de poluição.

Primeiramente seleciona-se o parâmetro G (tipo de aquífero), multiplicando-se em seguida pelo valor atribuído ao parâmetro O (litologia). O resultado desta operação será multiplicado finalmente pelo valor atribuído a D (Distância à água). Esses valores serão divididos em 5 classes a que correspondem graus de vulnerabilidade diferentes (Tabela 4.1).

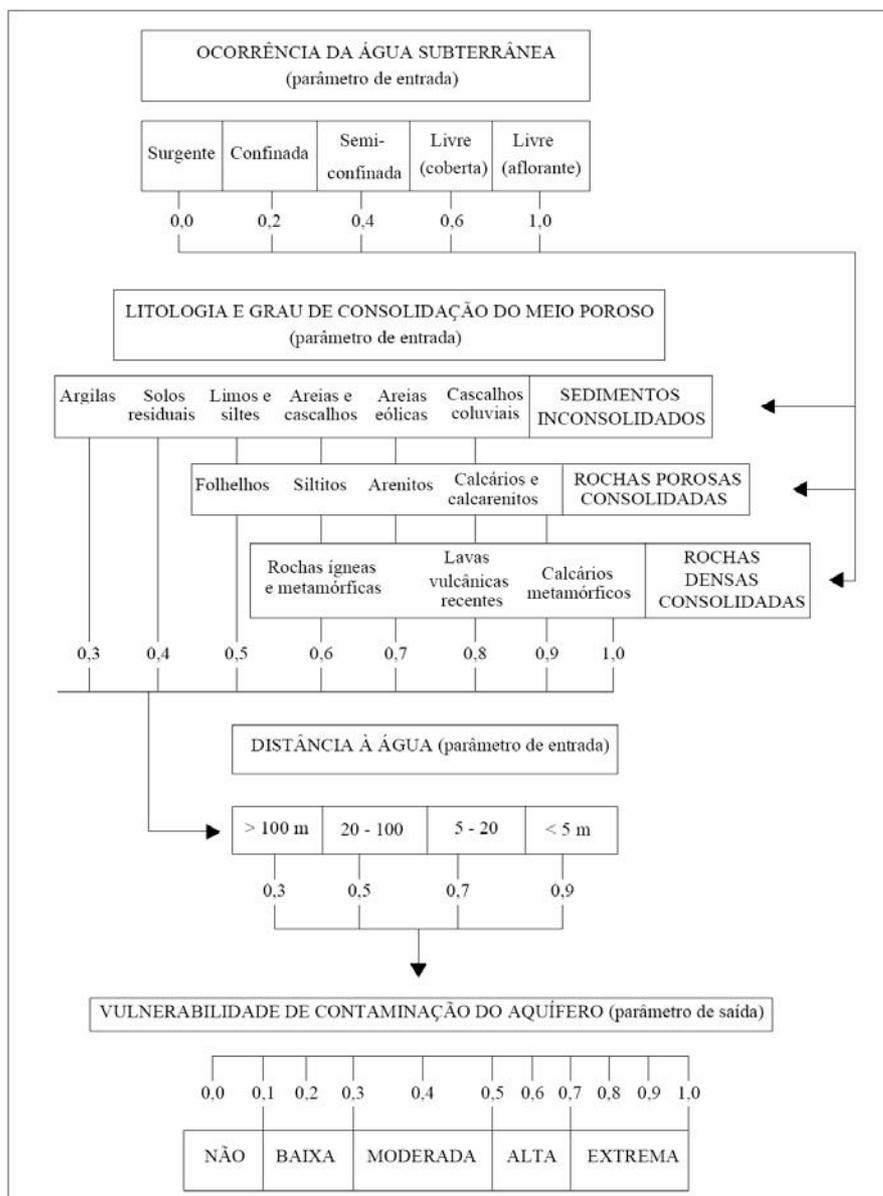


Figura 4.2 – Esquema de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos pelo método GOD (Foster et al. 1988).

Tabela 4.1 – Índices GOD e classes de vulnerabilidade

Índice GOD	Grau de vulnerabilidade
0,7 – 1,0	Extrema
0,5 – 0,7	Alta
0,3 – 0,5	Moderada
0,1 – 0,3	Baixa
0,0 – 0,1	Desprezável

#### 4.2.2. Método DRASTIC

O método DRASTIC de avaliação e mapeamento da vulnerabilidade foi proposto por Aller *et al.*, (1987). Exemplos de aplicação do método DRASTIC a casos particulares de estudo em áreas afetadas pela poluição agrícola no Alentejo, Ribatejo e Algarve estão descritos em Paralta & Francés (2000), Paralta *et al.*, (2001) e Stigter *et al.*, (2005), respectivamente.

Tabela 4.2 – Índices DRASTIC parâmetro ponderador

Parâmetro (Ponderador)
D - Profundidade do topo do aquífero (5)
R - Recarga (4)
A - Material do aquífero (3)
S - Tipo de solo (2)
T - Topografia (1)
I - Impacto da zona não saturada (5)
C - Condutividade hidráulica (3)

O índice DRASTIC corresponde ao somatório ponderado de sete valores correspondentes aos seguintes sete parâmetros ou indicadores hidrogeológicos (cf. ALLER *et al.*, 1987):

**D** - Profundidade do Topo do Aquífero (*Depth to water*)

**R** - Recarga do Aquífero (*Net Recharge*)

**A** - Material do Aquífero (*Aquifer media*)

**S** - Tipo de Solo (*Soil media*)

**T** – Topografia (*Topography*)

**I** - Influência da Zona não saturada (*Impact of the unsaturated media*)

**C** - Condutividade Hidráulica do Aquífero (*Hdraulic Conductivity of the Aquifer*).

Cada um dos sete parâmetros DRASTIC foi dividido quer em escalas quer em tipos de meios significativos que condicionam o potencial de poluição. A cada uma das divisões atribui-se um índice que varia entre 1 e 10 e cujo valor se relaciona diretamente com o potencial de poluição. O índice de vulnerabilidade DRASTIC obtém-se multiplicando o índice de cada parâmetro por um peso que reflete a importância relativa desse parâmetro. Há

dois conjuntos de pesos: um para a vulnerabilidade geral e outro para a vulnerabilidade específica a pesticidas.

a) Descrição dos Parâmetros DRASTIC

**Parâmetro D – Profundidade do Topo do Aquífero**

A profundidade do topo do aquífero condiciona a espessura de material que um poluente tem que atravessar para atingir o aquífero. Num aquífero livre, a profundidade é à distância ao nível freático. No caso de aquífero confinado a profundidade é à distância ao topo do Aquífero. No caso de aquífero semi confinado deve-se optar entre a distância ao nível freático ou ao topo do aquífero. Na tabela 4.3 são indicados os índices para cada profundidade.

Tabela 4.3 - Intervalos de profundidade do topo do Aquífero e respectivos índices (Aller *et al.*, 1987).

<b>D - Profundidade do Topo do Aquífero (m)</b> (Peso: 5)	<b>Índice</b>
<1,5	10
1,5 - 4,6	9
4,6 - 9,1	7
9,1 - 15,2	5
15,2 - 22,9	3
22,9 - 30,5	2
>30,5	1

**Parâmetro R – Recarga do Aquífero**

A recarga do aquífero condiciona o transporte de um poluente na zona não saturada e a disponibilidade de água para processos de dispersão e diluição tanto na zona vadosa como na zona saturada. De uma maneira geral, quanto maior a recarga, maior será o potencial de poluição de águas subterrâneas. No entanto, um grande volume de recarga favorece a diminuição do potencial de poluição, pois possibilita a diluição das substâncias poluentes. Na tabela 4.4 mostra os índices relativos a cada intervalos de recarga.

Tabela 4.4 - Intervalos de recarga e respectivos índices (Aller *et al.*, 1987).

<b>R - Recarga do Aquífero (mm / ano)</b> (Peso - normal: 4; - pesticidas: 4)	<b>Índice</b>
<51	1
51 - 102	3
102 - 178	6
178 - 254	8
>254	9

### **Parâmetro A – Material do Aquífero**

O parâmetro A – Material do Aquífero, refere-se à capacidade do aquífero para atenuar os efeitos dos poluentes. Para além deste efeito principal, o material do aquífero condiciona o fluxo de água subterrânea, que a par da condutividade e do gradiente hidráulico, determinam o tempo disponível para a ocorrência dos processos de atenuação. A tabela 4.5 mostra os índices para cada tipo de material do aquífero.

Tabela 4.5 - Materiais de aquífero com importância para a atenuação do potencial de poluição (Aller *et al.*, 1987).

<b>A - Material do Aquífero</b> (Peso - normal: 3; - pesticidas: 3)	<b>Índice</b>
Xisto argiloso, argilito	1-3 (2)
Rocha metamórfica / ígnea	2-5 (3)
Rocha metamórfica / ígnea alterada	3-5 (4)
Arenito, calcário e argilito estratificados	5-9 (6)
Arenito maciço	4-9 (6)
Calcário maciço	4-9 (6)
Areia	4-9 (8)
Basalto	2-10 (9)
Calcário carsificado	9-10 (10)

Cada material tem um intervalo de valores, apresentando-se entre parêntesis o índice típico a atribuir. A escolha do índice a atribuir deve basear-se em informação específica sobre o material do aquífero. Se esta informação não existir, deve-se utilizar o índice típico.

### Parâmetro S – Tipo de Solo

O parâmetro S – Tipo de Solo, refere-se ao material da zona alterada da superfície terrestre, com uma espessura normalmente inferior a 2 m. O tipo de solo tem um significado importante na qualidade de recarga, mas é sobretudo pelo seu potencial atenuador da poluição que é considerado no índice DRASTIC. A tabela 4.6 mostra os índices referentes a cada tipo de solo.

São as seguintes propriedades de um solo que condiciona o potencial de poluição:

- espessura do solo;
- textura do solo;
- expansibilidade / contractibilidade do solo;
- teor em matéria orgânica do solo.

Tabela 4.6 - Tipos de solos e respectivos índices (Aller *et al.*, 1987).

<b>S - Tipo de Solo</b> (Peso - normal: 2; - pesticidas: 5)	<b>Índice</b>
Fino ou ausente	10
Balastro	10
Areia	9
Turfa	8
Argila agregada e/ou expansível	7
Franco arenoso	6
Franco	5
Franco siltoso	4
Franco argiloso	3
"Nuck"	2
Argila não agregada e não expansível	1

### Parâmetro T – Topografia

A topografia refere-se ao declive do terreno. Este parâmetro condiciona a probabilidade de um poluente escoar superficialmente ou de permanecer à superfície durante o tempo suficiente para se infiltrar. Influencia ainda o desenvolvimento de solos condicionando, desta forma, o efeito de atenuação do contaminante. A tabela 4.7 mostra os índices para cada declividade em %.

Tabela 4.7 - Classes de declive e respectivo índice (Aller *et al.*, 1987).

<b>T - Topografia (declive em %)</b> (Peso - normal: 1; - pesticidas: 3)	<b>Índice</b>
< 2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
> 18	1

### **Parâmetro I – Influência da Zona Vadosa**

O tipo de material da zona vadosa condiciona o tempo de contato com o poluente, permitindo a ocorrência de diversos processos: biodegradação, neutralização, filtração mecânica, reação química, volatilização e dispersão. A fratura nesta zona é particularmente importante pois facilita a percolação vertical do poluente até ao aquífero. A tabela 4.8 mostra os índices para cada material da zona vadosa.

Tabela 4.8- Materiais da zona vadosa com respectivo índice (Aller *et al.*, 1987).

<b>I - Influência da Zona Vadosa</b> (Peso - normal: 5; - pesticidas: 4)	<b>Índice</b>
Camada confinante	1
Argila / Silte	2-6 (3)
Xisto argiloso, argilito	2-5(3)
Calcário	2-7 (6)
Arenito	4-8 (6)
Arenito, calcário e argilito estratificados	4-8 (6)
Areia e balastro com percentagem significativa de silte e argila	4-8 (6)
Rocha metamórfica / Ígnea	2-8 (4)
Areia e balastro	6-9 (8)
Basalto	2-10 (9)
Calcário carsificado	8-10 (10)

Cada material tem um intervalo de valores, apresentando-se entre parênteses o índice típico a atribuir. A escolha do índice a atribuir deve basear-se em informação específica sobre o material da zona vadosa. Se esta informação não existir, deve-se utilizar o índice típico.

### Parâmetro C – Condutividade Hidráulica do Aquífero

Este parâmetro refere-se à capacidade do aquífero, que, conjuntamente com o gradiente hidráulico, controla o fluxo de água subterrânea. A condutividade hidráulica depende da quantidade e conexão dos espaços vazios dentro do aquífero, que podem ser poros, fratura, cavidades ou planos de estratificação. Os índices para cada condutividade hidráulica são mostrados na tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Intervalo de valores de condutividade hidráulica e respectivo índice (Aller *et al.*, 1987).

C - Condutividade Hidráulica do Aquífero (m/d) (Peso - normal: 3; - pesticidas: 2)	Índice
< 4,1	1
4,1 - 12,2	2
12,2 - 28,5	4
28,5 - 40,7	6
40,7 - 81,5	8
> 81,5	10

#### 4.2.3. Método AVI

O índice de vulnerabilidade de aquífero (Aquifer Vulnerability Index) foi proposto por Van Stempvoort *et al.*, (1993), e baseia-se unicamente em dois parâmetros:

- a) **espessura** de cada camada  $j$  acima do aquífero superior ( $E_j$ ),
- b) **condutividade hidráulica** estimada em cada camada ( $K_j$ )

O fator teórico é definido por:

$$c = E_j / K_j, \text{ para as camadas } 1 \text{ a } j \text{ (1)}$$

que representa a resistência de um aquífero ao fluxo vertical, em unidades [ T ] e significa o tempo aproximado da passagem de um poluente por advecção através das diferentes camadas aquíferas.

O valor  $c$  ou o seu logaritmo é utilizado para produzir cartas de iso-resistência definindo classes de magnitude de vulnerabilidade (Tabela 4.10).

Este índice está vocacionado para sistemas multicamada, compostos por sucessivos aquíferos, mas pode, por simplificação, ser aplicado a um sistema freático, admitindo apenas 1 camada (espessura da zona vadosa).

Tabela 4.10 - Classes de vulnerabilidade segundo a metodologia AVI

c (anos)	Log c	Vulnerabilidade
0 a 10	< 1	Extremamente alta
10 a 100	1 a 2	Alta
100 a 1000	2 a 3	Moderada
1000 a 10000	3 a 4	Baixa
>10000	>4	Extremamente baixa

#### 4.2.4. Método EPPNA

A avaliação da vulnerabilidade de um aquífero à poluição pode também ser realizada a partir de metodologias qualitativas, baseadas nas características litológicas dos aquíferos ou das formações hidrogeológicas.

A cartografia da vulnerabilidade à poluição segundo critérios litológicos foi realizada segundo o método apresentado no documento "Informação Cartográfica dos Planos de Bacia. Sistematização das Figuras e Cartas a Imprimir em Papel" da autoria da Equipe do Projeto do Plano Nacional da Água, versão de Outubro de 1998. Este método considera oito classes de vulnerabilidade que se descrevem na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 - Classes de vulnerabilidade segundo critérios litológicos

Classe	Tipo de aquífero	Risco
V1	Aquíferos em rochas carbonatadas de elevada carsificação	Alto
V2	Aquíferos em rochas carbonatadas de carsificação média a alta	Médio a Alto
V3	Aquíferos em sedimentos não consolidados com ligação hidráulica com a água superficial	Alto
V4	Aquíferos em sedimentos não consolidados sem ligação hidráulica com a água superficial	Médio
V5	Aquíferos em rochas carbonatadas	Médio a baixo
V6	Aquíferos em rochas fissuradas	Baixo a variável
V7	Aquíferos em sedimentos consolidados	Baixo
V8	Inexistência de aquíferos	Muito baixo

### 4.3. APLICAÇÃO DO MÉTODO GOD PARA DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO BOA VIAGEM

Dentre os métodos conhecidos um dos mais empregados, devido à facilidade de uso, são GOD (Foster et al. 1988) e DRASTIC (Aller et al. 1987), recomendados principalmente para caracterizações regionais, mas também usados como ferramenta de planejamento de estudos mais detalhados.

A partir do método GOD descrito no capítulo anterior, foram definidas as classes de vulnerabilidade do aquífero Boa Viagem para a área objeto de estudo nesta dissertação. A seguir são apresentados os procedimentos utilizados para a caracterização de cada um dos parâmetros do método GOD.

#### 4.3.1. Tipo de Aquífero – G

O parâmetro G foi definido para a área de abrangência do aquífero Boa Viagem, recebendo como índice 1,0 para toda sua extensão. Esse índice está associado ao tipo do aquífero (livre) como já descrito no capítulo quinto. A figura 4.3 mostra a caracterização do parâmetro G no aquífero Boa Viagem.

#### 4.3.2. Litologia da Camada Superior – O

O índice “O” foi obtido associando-se dados geotécnicos descritos no capítulo sexto, concernente a planície costeira e aluvial a que se referem as unidades, onde em sua maioria estão caracterizadas nos primeiros quatro metros de profundidade (Tabela 4.12). O índice 0,6 e 0,7 foram atribuídos à maior parte da área de estudo (Figura 4.4).

#### 4.3.3. Profundidade do Nível Freático – D

A profundidade do nível estático como descrito e apresentado em mapa no quinto capítulo, foi aqui separado, recebendo um índice 0,9 para a região de níveis entre 0 a 5 m e índice 0,7 para níveis entre 5 a 20 m (Figura 4.5).

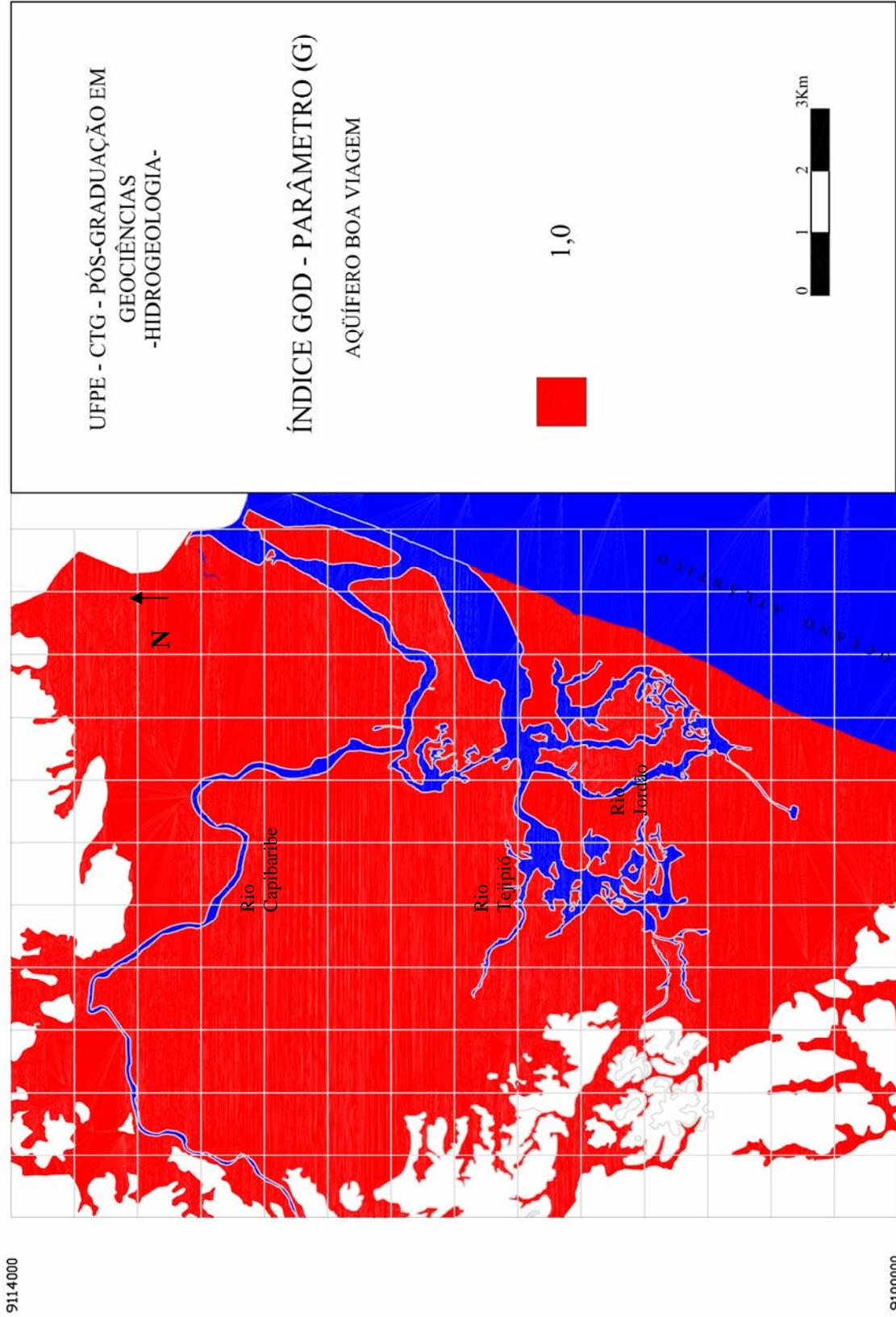


Figura 4.3 – Caracterização do Parâmetro G: Tipo de aquífero do índice GOD no aquífero Boa Viagem

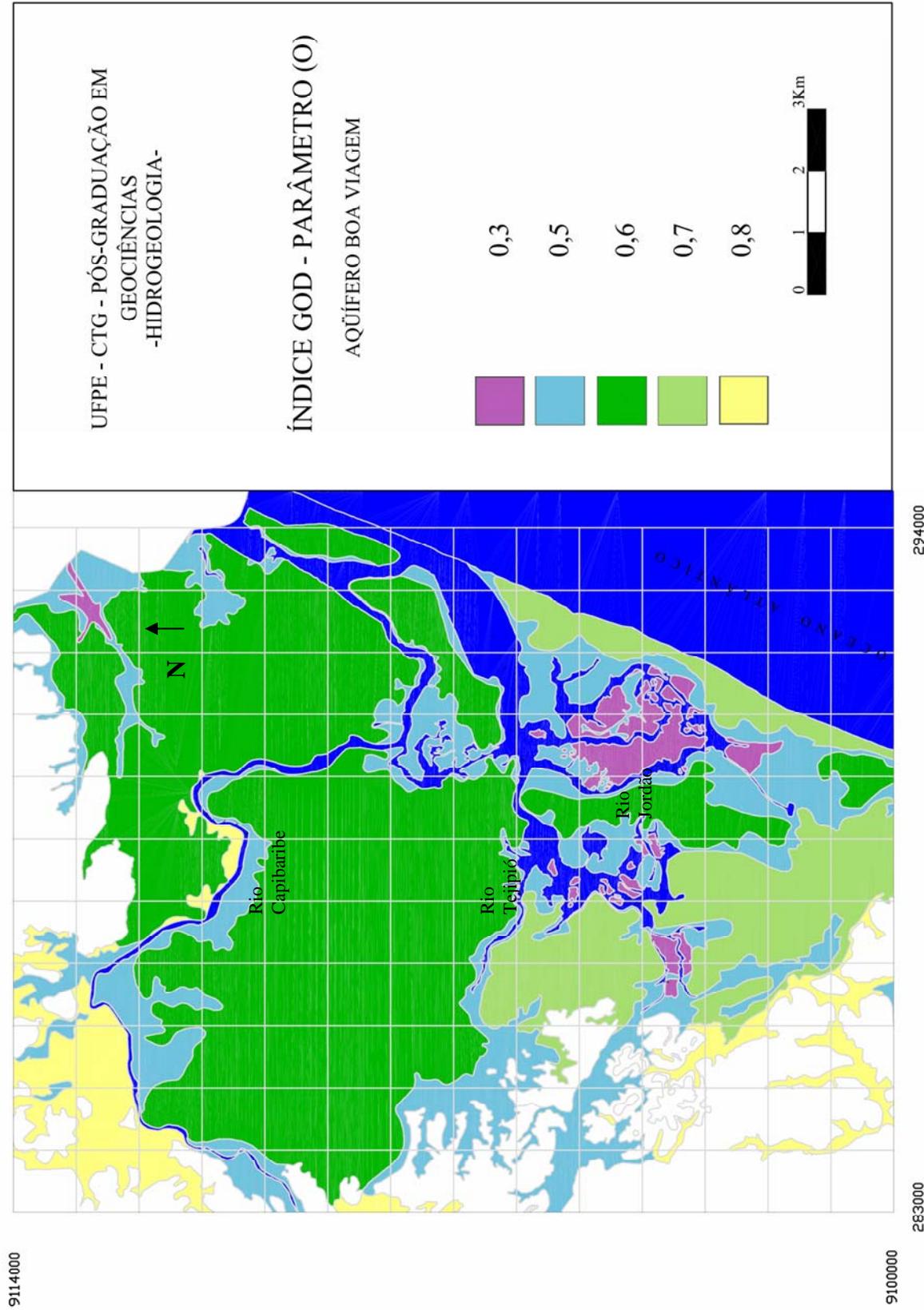


Figura 4.4 – Caracterização do Parâmetro O: Tipo do aquífero do índice GOD no aquífero Boa Viagem

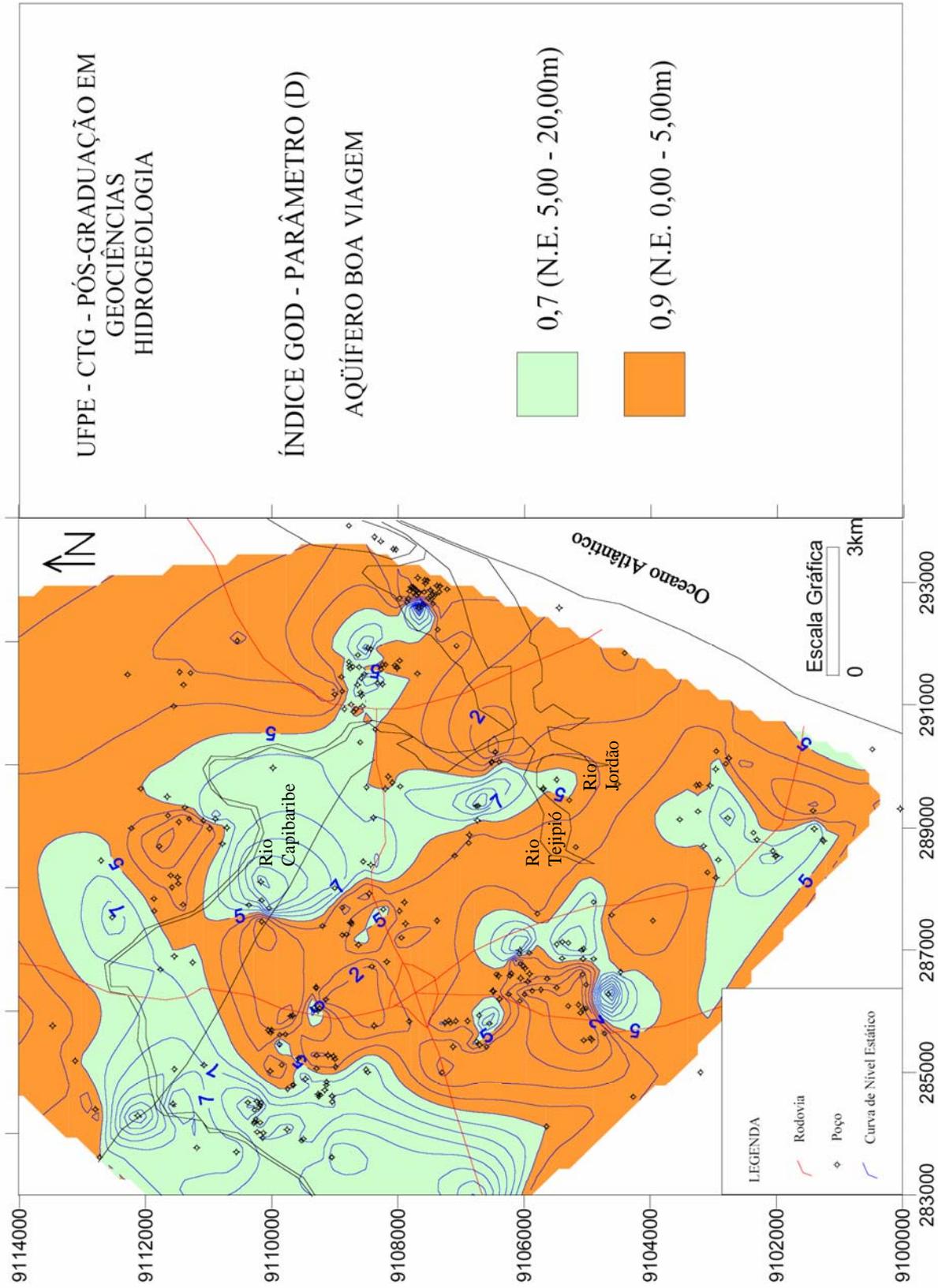


Figura 4.5 – Caracterização do Parâmetro D: Profundidade do nível freático do índice GOD no aquífero Boa Viagem

Tabela 4.12 – Descrição das classes de vulnerabilidade referente a composição de cada unidade do aquífero Boa Viagem.

<b>Unidade</b>	<b>Composição</b>	<b>Classe</b>
Baixio de Maré	Argilas orgânicas (siltico-argiloso)	0,3
Terraço Flúvio-Lagunar	Siltico-argiloso intercalados de areias finas a média, camada arenosa e siltosa.	0,5
Terraço Marinho Holocênico	Areia quartzosas com quantidades de fragmentos de conchas	0,7
Terraço Marinho Pleistocênico	Sedimentos arenosos	0,7
Terraço Indiferenciado	Areias capeadas por sedimentos fluviais mais recentes	0,6
Terraço Fluvial	Areia de quartzo de variedade granulométrica, intercaladas a níveis siltosos	0,8

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL

O cruzamento dos três parâmetros supracitados no capítulo oito permitiu definir o índice relativo de vulnerabilidade do aquífero, propriedade intrínseca deste, consistindo no grau de resistência natural do mesmo à penetração de contaminantes (Figura 5.1):

#### **Vulnerabilidade Extrema**

Corresponde aquelas áreas onde ocorre água subterrânea explotável a uma profundidade inferior a 5 metros, subjacente a material de depósito fluvial com alta permeabilidade, sem nenhuma barreira argilosa que retarde ou impeça a infiltração de elementos poluentes dispostos na superfície ou subsuperfície do terreno. Esta classe situa-se na região noroeste e sudoeste do aquífero Boa Viagem no município do Recife, representando cerca de 5% da área total.

#### **Vulnerabilidade Elevada**

Corresponde aquelas áreas onde ocorre água subterrânea explotável a uma profundidade inferior a 5 metros, subjacente a qualquer material da Planície Aluvial ou Costeira exceto Baixio de maré. Essa região além de apresentar o nível estático bem próximo a superfície compõe-se por sedimentos arenosos e siltosos que não evitam ou retardam a infiltração de elementos poluentes dispostos na superfície ou subsuperfície do terreno. Esta classe representa cerca de 45% no aquífero Boa Viagem no município do Recife.

#### **Vulnerabilidade Moderada**

Corresponde as áreas onde ocorre água subterrânea explotável a uma profundidade entre 5 a 20 metros, subjacente a material fluvial recente composto no terraço indiferenciado e

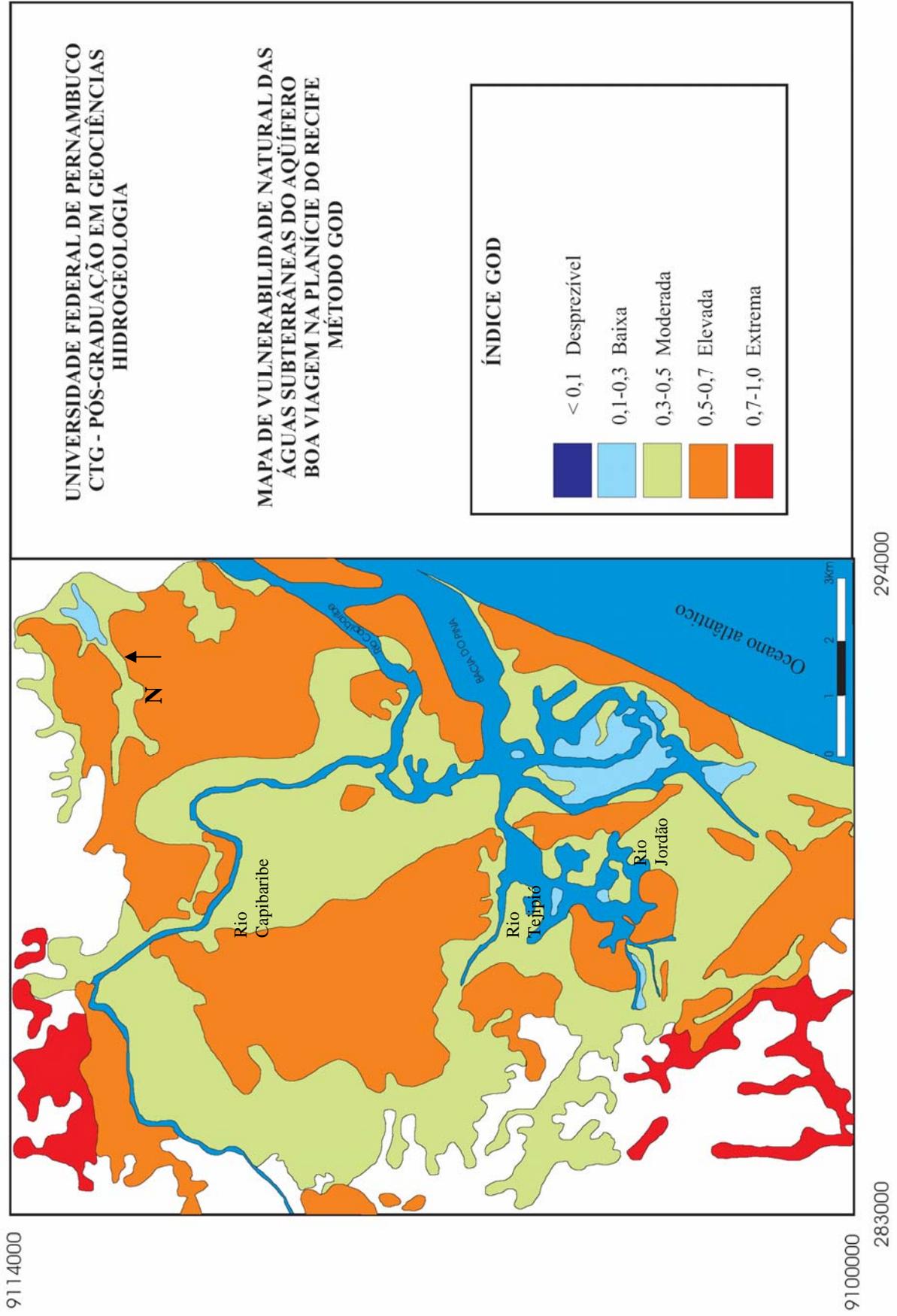


Figura 5.1 – Mapa de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas do aquífero Boa Viagem no município do Recife

fluvio-lagunar da Planície Costeira. Essa classe chega a cerca de 45% de toda área do aquífero Boa Viagem no município do Recife.

### **Vulnerabilidade Baixa**

Corresponde as áreas desfavoráveis à captação de água subterrânea, devido sua ausência ou da qualidade química. São as áreas litologicamente de argilas orgânicas e sedimentos siltico-argiloso pertencente a região de baixio de maré. A área ocupada dessa classe chega a cerca de 5%.

## **5.2. DIVISÃO DA VULNERABILIDADE NO MUNICÍPIO DO RECIFE**

Atualmente a cidade do Recife está dividida em seis Regiões Político-Administrativas (RPAs) (Figura 5.2, parte superior direita), e neste trabalho para melhor gestão administrativa, foram divididas as classes de vulnerabilidade nos bairros de cada RPAs (Figura 5.2).

Após a superposição do mapa de vulnerabilidade do município do Recife com as RPAs, pode-se dividir as classes de vulnerabilidade para cada bairro em suas RPAs (Tabela 5.1 ).

As áreas do município do Recife (região noroeste (RPA-3) e sul (RPA-6)) onde se tem a classe de extrema vulnerabilidade, significando que as águas subterrâneas são susceptíveis a todos os tipos de contaminantes, incluindo, principalmente, derivados do petróleo, bactérias e vírus. tal característica deve-se, principalmente ao fato do aquífero ser livre, associado à pequenas profundidades dos níveis estáticos e as características litológicas de alta permeabilidade da zona não saturada, constituída por material variando de silte arenoso até areia grossa e cascalho.

Tabela 5.1 – Apresentação das classes de vulnerabilidade (método GOD) do aquífero Boa Viagem para cada bairro do município do Recife subdivididos em suas RPAs.

RPA	BAIRRO	VULNERABILIDADE	RPA	BAIRRO	VULNERABILIDADE
1 Centro	Boa Vista	Elevada	4 Oeste	Caxangá	Elevada
	Cabanga	Elevada		Cidade Universitária	Moderada
	Coelhos	Elevada		Cordeiro	Elevada
	Ilha do Leite	Moderada		Engenho do Meio	Elevada
	Joana Bezerra	Moderada		Ilha do Retiro	Elevada
	Paissandu	Moderada		Iputinga	Elevada
	Recife	Elevada		Madalena	Moderada
	Santo Amaro	Elevada		Prado	Moderada
	Santo Antônio	Elevada		Torre	Moderada
	São José	Elevada		Torrões	Elevada
	Soledade	Elevada		Várzea	Elevada
	2 Norte	Água Fria		Elevada	Zumbi
Alto Sta. Terezinha		Moderada	5 Sudoeste	Afogados	Moderada
Arruda		Moderada		Areias	Elevada
Bomba do Hemetério		Moderada		Barro	Moderada
Cajueiro		Moderada		Bongi	Moderada
Campina do Barreto		Moderada		Caçote	Elevada
Campo Grande		Moderada		Curado	Moderada
Encruzilhada		Elevada		Estância	Elevada
Fundão		Moderada		Jardim São Paulo	Elevada
Hipódromo		Elevada		Jiquiá	Moderada
Peixinhos		Moderada		Mangueira	Moderada
Ponto de Parada		Elevada		Mustardinha	Moderada
Rosarinho		Elevada		San Martin	Elevada
Torreão		Moderada		Tejipiô	Moderada
3 Noroeste	Aflitos	Elevada		6 Sul	Boa Viagem
	Alto José do Pinho	Elevada	Brasília Teimosa		Elevada
	Apipucos	Extrema	Cohab		Extrema
	Casa Amarela	Elevada	Ibura		Elevada
	Casa Forte	Elevada	Imbiribeira		Elevada
	Derby	Moderada	Ipsep		Moderada
	Dois Irmãos	Extrema	Jordão		Extrema
	Graças	Moderada	Pina		Baixa
	Jaqueira	Moderada			
	Macaxeira	Extrema			
	Mangabeira	Elevada			
	Monteiro	Moderada			
	Parnamirim	Elevada			
	Poço	Elevada			
	Santana	Elevada			
	Sítio dos Pintos	Extrema			
	Tamarineira	Elevada			

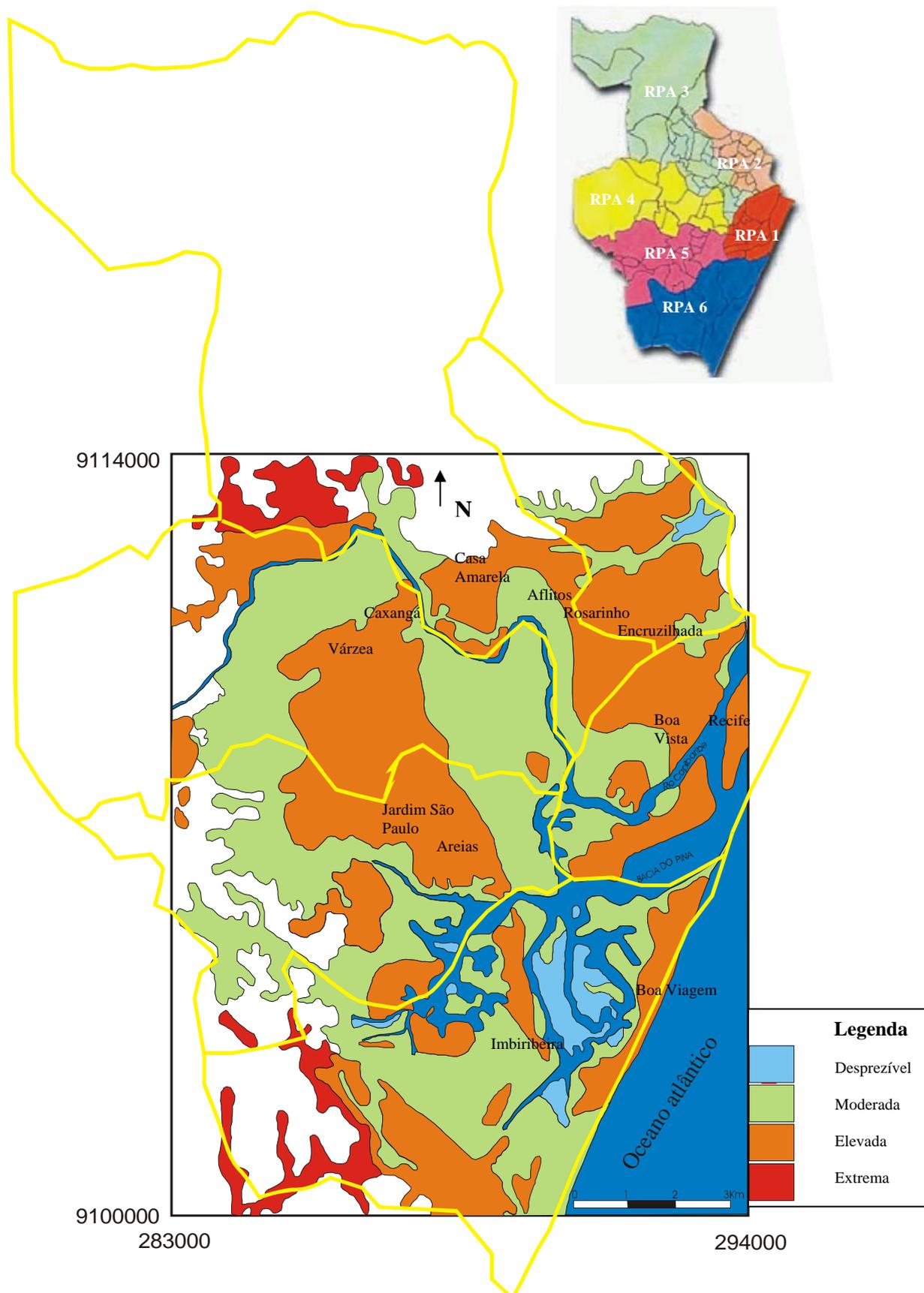


Figura 5.2 – Superposição das RPAs com o mapa de vulnerabilidade das águas subterrâneas do aquífero Boa Viagem no município do Recife.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia utilizada permitiu definir a vulnerabilidade natural das águas subterrânea do aquífero Boa Viagem na área estudada no município do Recife.

Foi possível concluir mediante os resultados obtidos, que o aquífero Boa Viagem encontra-se com vulnerabilidade de elevada a moderada à contaminação de suas águas em função das características do aquífero.

Os maiores índices de vulnerabilidade (elevada) ocupam cerca de 45% da área estudada no município do Recife. Alguns dos bairros em cada RPA com vulnerabilidade elevada são: RPA-1 (Recife e Boa Vista); RPA-2 (Encruzilhada e Rosarinho); RPA-3 (Aflitos e Casa Amarela); RPA-4 (Várzea e Caxangá); RPA-5 (Areias e Jardim São Paulo); RPA-6 (Boa Viagem e Imbiribeira).

O avançado desenvolvimento de modelos numéricos e as vantagens que oferece os sistemas como o GIS, que permitem armazenar uma grande quantidade de informações e processá-las rapidamente, para obter produtos atualizados em tempo real, preve uma progressiva tendência de formulações de metodologias quantitativas, mais eficazes, de vulnerabilidade de águas subterrâneas para o futuro, com a aplicação do GIS.

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

- Nas áreas classificadas de extrema, elevada e de moderada vulnerabilidade à contaminação, devem ser tomadas várias precauções, para evitar que haja infiltração de efluentes de fossas sépticas, chorume proveniente de depósitos de lixo a céu aberto e aterros sanitários, vazamento de tanques de postos de gasolina e outros.
- Estudos da evolução de poluição pelo uso errôneo de fossas, esgotos sanitários e agentes químicos.
- Devem ser instalados sistemas de tratamento adequado de efluentes domésticos e deposição de resíduos sólidos.

- Como a maioria do setor está inserida em área de elevada a moderada vulnerabilidade e de grandes infiltrações nos períodos de chuvas intensas, outro perigo eminente é a contaminação do aquífero por vazamento de tanques com derivados de hidrocarbonetos em postos de gasolina ou por óleo de lubrificação usado despojado sem qualquer cuidado.
- Que se desenvolva uma campanha pública de esclarecimento em cada RPA sobre os riscos a que se submetem 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 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;
- Que seja efetuada uma campanha por órgãos fiscalizadores no sentido de exigir a licença de operação dos poços no aquífero Boa Viagem com análise físico-química e bacteriológica, para que seja evitada a ingestão de águas contaminadas.
- Recomenda-se também que o órgão ambiental de Pernambuco (CPRH) estabeleça um programa de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, do aquífero Boa Viagem.
- Constatado a contaminação da água subterrânea o órgão ambiental deve tomar as devidas medidas para identificar os responsáveis pela contaminação e exigir estudos técnicos visando definir as dimensões da área contaminada, bem como, a direção e a velocidade da pluma de contaminação, as conseqüências dessa contaminação para os usuários da água subterrânea e a remediação da área contaminada.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J.P.T., 1970. Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste – Fl. 16 – Recife, PE.
- ALBUQUERQUE, J.P.T., 1972. Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste - Fl. 21 - Recife, PE.
- ALHEIROS, M. M., 1998. Riscos de escorregamentos na Região Metropolitana do Recife. Tese de Doutorado, UFBA, 135p.
- ALHEIROS, M.M., FERREIRA, M.da G.de V.X., LIMA FILHO, M.F., 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.
- ALLER, L., BENNET, J.H., LEHR, J.H., PETTY, R.J. e HACKETT, G., 1987. DRASTIC: a Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Ada, Oklahoma, EPA/600/2-87/035.
- BATISTA, R. P., 1984. Estudo hidrogeológico da planície do Recife-PE. Dissertação de mestrado, UFPE, Recife, PE. 91p.
- CARTA GEOTÉCNICA DA CIDADE DO RECIFE – Área de Hidrogeologia – 1987., Projeto financiado pelo convênio FINEP – UFPE de responsabilidade dos pesquisadores Waldir Duarte Costa e Almany Costa Santos; inéditos, nos arquivos do CTG-UFPE.
- COMPESA/ACQUA-PLAN, 1982. Plano Diretor de Recursos Hídricos – Região Metropolitana do Recife, Vol. III – Recursos Hídricos Subterrâneos. Recife-PE.

- COSTA FILHO, W. D., 1997. Estudo Hidroquímico nos aquíferos da Planície do Recife. Dissertação de Mestrado. Recife-PE, UFPE. 225p.
- 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., 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. et al., 1998. Estudo Hidrogeológico da Região Metropolitana do Recife. Projeto HIDROREC –Convênio IDRC-UFPE/FADE. Recife. 2V.
- COSTA, W.D.; COSTA FILHO, W.D.; SANTOS, A. C.; MONTEIRO, A.B., 2000. Condicionamento Hidrogeológico de Exploração do Aquífero Costeiro Boa Viagem. ABAS, Fortaleza.
- COSTA, W.D. et al., 2002. Estudo Hidrogeológico de Recife – Olinda – Camaragibe – Jaboatão dos Guararapes. Projeto HIDROREC II. Recife. 2V.
- 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.
- COUTINHO, R.Q. et al, 1999. Carta Geotécnica do Recife, FINEP/FADE-UFPE. Recife-PE.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2003. Sistema de Informação Geoambientais da Região Metropolitana do Recife. Coordenador: Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff. Recife. 119p.

- 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).
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R., 1976. Hidrologia Subterrânea. Barcelona: Ediciones Omega.
- DNM, 1992. Normais climatológicas (1961-1990). Departamento Nacional De Meteorologia. Brasília-DF.
- FRANÇA, H.P.M.; DUARTE, R.X.; ARAÚJO, J.M.M., 1999. Captação de Água Subterrânea pela COMPESA na Região Metropolitana do Recife. Recife.
- 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 Aquífero Beberibe na Região Metropolitana Norte do Recife. In: 1o Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste. Recife, ABAS. 59-72.
- FERRAR, R.; GRAY, W.; PINDER, G., 1984. Groundwater Contamination from Hazardous Wastes. New Jersey: Prentice-Hall. Inc.
- FOSTER, S.; HIRATA, R., 1988. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. Lima: CEPIS. Technical Report. 81 pp.

- FOSTER, S.; HIRATA, G.A.; ROCHA, G.A., 1988. Riscos de Poluição das águas subterrâneas: uma proposta metodológica de avaliação regional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 5°. São Paulo, ABAS. P.175-185.
- FOSTER, S.S.D. e HIRATA, R.C.A., 1993. Determinação do Risco de Contaminação das Águas Subterrâneas: Um Método Baseado em Dados Existentes. São Paulo – Instituto Geológico, P. il., tabs. 23 cm (Boletim, 10).
- HIRATA, R., 1996. Vulnerabilidade e Risco de Contaminação dos Recursos Hídricos Subterrâneos. In: SIMPÓSIO SOBRE IMPACTOS AMBIENTAIS E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL. Rio de Janeiro.
- KÖPPEN, W., 1948. The Climates of North America. R. Handbuch der Klimatologie, Berlim.
- LEAL, Onofre, 1994. 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. 27p.il. (Série Recursos Hídricos, 2).
- LE GRAND, H., 1983. A standardized system for evaluating waster disposal sistes. NWT (Worthington, Ohio, USA): 49 p.
- LIMA FILHO, M.F., 1998. Análise Estratigráfica e Estrutural da Bacia Pernambuco. São Paulo: IG/USP. 168p. Tese de Doutorado.
- LOBO FERREIRA, J.P.C.; CABRAL, F, 1991. Proposal for na Operation Definition of Vulnerability for the European Community's Atlas of Groundwater Resources. In: MEETING OF THE EUROPE INSTITUTE FOR WATER, GROUNDWATER GROUP BRUSSELS.

- MABSOONE, J. M. & SILVA, J. C. 1991. Aspectos geomorfológicos. IN: Estudos geológicos. UFPE – DEPTO. GEOLOGIA. Série B - Estudos e Pesquisas. v. 10. pp.117-132.
- MANOEL FILHO, J., 1997. Contaminação das Águas Subterrâneas. In: FEITOSA, F.; MANOEL FILHO, J. (Coord.). Hidrogeologia, Conceitos e Aplicações. Recife; CPRM.
- MANOEL FILHO, J., 2004. Exploração de Água Mineral em Zona Urbana, Características Gerais e Diagnóstico para Planejamento e Controle. Caso da Grande Recife. Convênio SMM/CNPq. Recife, PE.
- MEDINA, I.A.; LUMBRERAS, J.F.; BONFIM, L.F.C.; ARMESTO, R.G., 1995. Diretrizes Gerais para Execução do Mapa de Formações Superficiais como Produto do PLGB. 1º Encontro sobre Formações Superficiais. CPRM. Rio de Janeiro, 9p.
- MENTE, A.; LEAL, O.; FORTUNATO, J.L. Sistema de Informações para a Gestão Territorial da Região Metropolitana do Recife – Projeto SINGRE, Os Aterros Sanitários e a Poluição das Águas Subterrâneas na Região Metropolitana do Recife. Recife: CPRM/FIDEM. 23p. (Série de Recursos Hídricos, 1).
- MONTEIRO, A.B, 2000. Modelagem do Fluxo Subterrâneo nos Aquíferos da Planície do Recife e seus Encaixes. Dissertação de Mestrado CTG/UFPE, Recife, PE. 91p.
- PFALTZGRAFF, P.A.S.; FERREIRA, R.V., 2004. Cartografia das Formações Superficiais na Região Metropolitana do Recife. Recife, PE. CPRM.
- 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.
- SANTOS, A. C., 2000. Estratégias de uso e proteção das águas subterrâneas na região metropolitana do Recife-PE. Tese de Doutorado. São Paulo, USP 2000. 185p.

- SANTOS, A. C., 1997. Noções de Hidroquímica. In: Feitosa, F. A. C. & Manuel Filho, J., 1997. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. CPRM, LABHID-UFPE. Cap. 5. P. 81 – 108.
- SANTOS, A. C.; OLIVEIRA, F. M. C.; COSTA, W. D.; COSTA FILHO, W. D.; ACCIOLY, A. C. A., 1994. Concentrações Anômalas de Sais nas Águas Subterrâneas da Planície do Recife. Anais do XXXVIII Congresso Brasileiro de Geologia. Balneário Camboriú - SC.
- SELLER, L. & CANTER, L., 1980. Summary of selected groundwater quality impact assessment methods. NCGW. Report 80-3 (Norman, Oklahoma, USA): 142 pp.
- PERNAMBUCO DE A-Z. Regiões Político-Administrativas (RPA). <http://www.pe-az.com.br/recife/recife.htm>. Acessada em agosto de 2005.
- PREFEITURA DO RECIFE. Orçamento Participativo e as RPAs. <http://www.recife.pe.gov.br/op/>. Acessada em Agosto de 2005.
- 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.

## ANEXOS

Anexo 1 – Tabela contendo as descrições dos poços cadastrado pelo HIDROREC II no aquífero Boa Viagem.

Nº de Ordem	Data Perforação	Localização		Características do Poço			Nº do Cadastro Original (HIDROREC II)
		Coordenadas - UTM		Prof.	N.E.	Cota	
		Leste	Norte	(m)	(m)	(m)	
1	01/02/84	286536	9105635	36,00	3	7,10	10
2	01/09/79	287477	9103959	40,00	3	7,10	17
3		285628	9109784	41,00	4,5	6,90	60
4	01/12/73	286065	9109326	56,00	7,7	6,50	61
5	01/11/57	284505	9110380	49,70	10	8,50	63
6	01/06/78	284527	9110236	50,00	10	8,60	64
7		284425	9110202	53,00	10	8,60	65
8	01/02/73	284469	9110189	51,00	9	8,60	66
9	01/07/78	284503	9110169	48,00	6,7	8,50	67
10	01/05/79	286051	9109240	51,00	2,6	6,70	69
11	01/04/79	284236	9110254	51,50	5,2	8,50	71
12	01/01/87	284012	9110132	35,00	7,8	8,70	72
13	01/06/74	283913	9109499	32,00	7,5	8,60	84
14		285023	9110023	42,00	3,2	8,50	97
15	01/01/91	284386	9110274	60,00	15	8,50	111
16		292921	9107757	5,00	2	3,00	169
17	01/05/73	284895	9109465	52,00	7,5	8,60	179
18	09/02/00	291172	9109001	40,00	1,36	3,10	200
19	01/01/75	287094	9105484	37,60	7,15	7,90	206
20	01/08/76	287133	9105395	30,50	7,5	9,10	207
21	01/02/78	287114	9105299	31,70	8	9,50	208
22	01/05/81	290080	9106509	6,30	1,5	2,00	209
23	01/11/75	285006	9108481	50,00	7	6,60	255
24	01/11/73	284791	9109657	48,00	4,7	8,70	283
25	01/08/72	285222	9108998	40,10	3	7,00	323
26	01/05/82	285266	9109020	37,00	3,2	7,00	326
27	01/11/75	287201	9107946	35,00	2,2	6,50	328
28	01/01/73	282124	9106562	25,00	11	9,80	331
29	01/04/85	284844	9109131	50,00	6,44	8,40	333
30	01/08/90	285057	9111543	50,00	8	6,50	334
31	01/08/72	285695	9110055	28,00	2,7	7,20	376
32	01/09/76	285620	9109874	28,00	4	6,80	377
33	01/04/85	285466	9109884	43,00	6,64	8,50	384
34	01/11/82	285050	9108504	51,00	7	6,70	386
35	01/05/93	288115	9110174	46,00	11,8	5,70	388
36	01/01/80	292578	9107668	24,00	15	2,70	449
37	01/03/84	292233	9107368	12,00	3	3,20	451
38		287000	9105090	30,50	7,5	8,50	456
39		285844	9107081	37,00	4,6	6,30	457
40		289715	9104519	34,00	3,25	3,40	459
41		285283	9109107	36,40	5	8,50	462
42		285286	9109109	4,10	3	9,00	463
43		285840	9107819	12,00	2,9	8,00	464
44		282519	9110568	19,20	9,25	11,60	473
45		285282	9109291	43,00	2,18	1,40	476
46		281985	9107247	50,00	3,9	6,00	477
47		286385	9109296	25,00	3,85	8,00	483
48		285844	9107081	38,50	3,5	8,00	487
49		293920	9108778	12,00	3	6,00	493
50		284517	9109041	50,00	6,3		494
51		285067	9109290	49,00	3,51	9,00	495
52		285005	9103206	37,00	4,8		533
53		285845	9106897	51,40	4,1	8,00	538
54		286017	9109264	56,00	7,7		564
55		282936	9106760	43,00	12,8		565
56		287017	9105059	31,70	8		590
57		284610	9109042	52,00	7,5	8,20	595
58		286400	9109296	28,00	4	8,00	598
59		282324	9106542	25,00	11	18,00	600

Nº de Ordem	Data Perturação	Localização		Características do Poço			Nº do Cadastro Original (HIDROREC II)
		Coordenadas - UTM		Prof.	N.E.	Cota	
		Leste	Norte	(m)	(m)	(m)	
60		285126	9109843	42,00	3,2	8,60	613
61		284612	9109045	47,10	4,5	8,20	616
62		284729	9109749	48,00	4,7	9,00	618
63	01/05/73	284609	9109255	52,00	7,5	8,40	886
64	01/10/94	284293	9112126	30,00	13	4,80	888
65	01/11/76	284600	9104269	50,00	3,9		905
66	01/05/82	285094	9108988	49,00	3,51		907
67		292880	9115103	40,00	5		918
68		285696	9110005	18,00	1,12	7,80	922
69		287811	9110160	45,27	8,99	5,00	923
70	01/01/80	284629	9109231	50,00	6,3	8,50	924
71		284166	9110280	11,06	8,88	7,90	933
72		284194	9110268	10,48	6,98	7,90	934
73		284115	9105647	15,59	5,01	3,20	936
74	01/07/95	284795	9109134	40,00	7,65	8,10	938
75	01/08/76	285655	9110014	25,00	3,85	7,70	944
76	01/10/73	284641	9109265	47,10	4,5	8,60	947
77		284178	9110184	13,22	6,62	7,70	948
78	01/02/93	286997	9106064	44,00	12	9,10	953
79	01/03/92	286862	9105398	29,00	6	8,30	957
80	01/03/83	284394	9112794	51,00	3		1023
81	01/05/76	288548	9107101	42,00	4	7,30	1025
82	01/02/72	284025	9110232	19,20	9,25	8,40	1027
83		287683	9110042	35,80	10,68	5,20	1028
84		287734	9110363	36,58	7,91	5,00	1029
85	01/09/95			51,50	3,05		1069
86	01/02/89	283700	9110560	43,00	6		1083
87	01/09/95			39,00	3,2		1104
88		291494	9112284	18,00	3	4,30	1204
89	01/10/91	292050	9110545	33,20	1,8	3,60	1443
90	01/01/94	290075	9106395	9,00	6,5	2,40	1532
91	01/04/91	283611	9112731	32,00	5	10,10	1589
92		285854	9107193	41,20	4	5,20	1590
93	01/01/91	285814	9107169	37,70	5	5,40	1591
94	01/03/93	285813	9107253	38,00	6	5,40	1592
95	01/01/90	285424	9107126	46,00	2	4,30	1593
96	01/02/90	285004	9107301	15,00	1,5	4,40	1594
97	01/04/88	284067	9109756	42,00	10	8,30	1595
98		287839	9111865	41,00	4,5	6,60	1681
99	01/04/91	289144	9110896	32,00	8	5,40	1693
100				15,00	6		1782
101	14/06/92	290226	9106457	8,00	0,21		1869
102	31/03/98	287533	9112528	40,00	7,79		1922
103	05/06/05	291520	9111287	8,00	3		2009
104	31/12/99	289122	9106740	15,00	4		2028
105	19/06/97	289137	9103533	13,00	6		2043
106	15/06/93			22,00	6		2047
107	20/06/98	287573	9104613	12,00	3		2143
108	21/06/99			11,00	5		2168
109	21/06/99			19,00	2		2200
110	01/04/99	287783	9104900	19,00	7		2209
111	25/05/89	283930	9110145	28,60	9,36		2240
112	27/03/99	283772	9111189	40,00	6		2341
113	25/04/96	285937	9106713	48,00	6,15		2363
114	01/08/99	285193	9113116	46,00	5		2368
115	01/08/99	290242	9102954	46,00	5		2375
116	18/06/95	281208	9107486	23,00	17		2430
117	15/02/00	284484	9111567	44,00	4,55		2499
118		286737	9106010	26,00	4,2		2562
119		286952	9105919	24,00	3,3		2563

Nº de Ordem	Data Perfuração	Localização		Características do Poço			Nº do Cadastro Original (HIDROREC II)
		Coordenadas - UTM		Prof.	N.E.	Cota	
		Leste	Norte	(m)	(m)	(m)	
120	21/06/99	289002	9110713	12,00	5		2589
121	21/02/00	280889	9109801	32,00	4,8		2594
122	23/06/01			8,00	5		2623
123				10,00	7		2705
124		286852	9104898	26,00	6		2742
125		286855	9105064	23,00	5,82		2743
126	03/06/81	290069	9106520	6,30	1,5		2756
127	01/07/98	283614	9109049	40,00	8,9		2801
128	01/07/98	283614	9109046	44,00	11,32		2802
129	05/01/01	289313	9100040	15,00	1,78		2824
130	03/10/01	290272	9100481	9,00	7		2883
131				12,00	4		2902
132		291327	9111399	12,00	3		2915
133		285024	9110024	42,00	3,2	8,50	2934
134	01/06/74	283914	9109499	32,00	7,5	8,60	2936
135	01/02/68	283884	9109529	42,00	8	8,60	2937
136	01/05/73	284895	9109466	52,00	7,5	8,60	2938
137	01/04/85	285466	9109885	43,00	6,64	8,50	2940
138	01/11/73	284792	9109663	48,00	4,7	8,70	2943
139	01/08/72	285223	9108999	40,10	3	7,00	2944
140	01/04/85	284845	9109132	50,00	6,44	8,40	2945
141	01/05/76	286287	9104663	38,40	16,2	14,00	3023
142	01/01/69	286638	9104471	37,00	4,6	6,90	3025
143	01/09/96	284710	9109160	44,10	8	7,80	3034
144	01/10/94	284294	9112126	30,00	13	4,80	3059
145	31/12/73	289980	9109980	19,95	6,55	4,10	3067
146	01/05/82	285095	9108988	49,00	3,51	7,60	3085
147	01/07/72	285235	9109575	36,40	5	8,40	3086
148		292587	9105444	10,00	3		3099
149	31/12/93	291845	9104406	8,00	1,5		3154
150		293078	9107685	12,00	2,8		3392
151		292803	9107408	6,00	2,4		3402
152	31/12/99	292988	9107566	10,00	4		3408
153		293040	9107571	6,00	2,5		3415
154		292875	9107484	9,00	1,6		3449
155		282777	9105911		2,56		3459
156		293038	9107536	20,00	2,62		3460
157	31/12/01	292891	9107221	12,00	2,82		3461
158	31/12/96	292944	9107334	15,00	2,6		3462
159		292891	9107219		2,65		3463
160	31/12/85	292949	9107382	6,00	2,48		3464
161		292848	9107345	8,00	2,48		3465
162	31/12/98	292806	9107448	7,00	2,12		3466
163	31/12/99	292845	9107586	5,00	2,29		3467
164	31/12/01	292867	9107699	6,00	2,01		3468
165	31/12/99	292859	9107817	8,00	1,45		3470
166	31/12/64	292885	9107723	8,00	2,03		3471
167	31/12/01	292913	9107769	8,00	1,98		3472
168		292825	9107671		1,65		3473
169	31/12/97	292865	9107700	6,00	1,73		3474
170	31/12/95	292632	9107594	12,00	1,92		3475
171	31/12/99	292839	9107761	6,00	1,57		3476
172	31/12/99	292793	9107702	12,00	1,61		3477
173	31/12/00	292927	9107789	6,00	1,77		3478
174	31/12/99	292745	9107515	6,00	1,72		3479
175		292657	9107443	3,00	1,84		3480
176	31/12/92	292738	9107464	8,00	1,7		3481
177	31/12/97	292617	9107666	6,00	1,31		3483
178	31/12/97	292746	9107973	6,00	1,79		3484
179	31/12/96	292679	9107858	6,00	1,68		3485

Nº de Ordem	Data Perfuração	Localização		Características do Poço			Nº do Cadastro Original (HIDROREC II)
		Coordenadas - UTM		Prof.	N.E.	Cota	
		Leste	Norte	(m)	(m)	(m)	
180		292738	9107836		1,43		3486
181	31/12/99	292867	9107700	6,00	1,42		3487
182		291960	9107071		4,5		3489
183		287592	9105790	14,00	3,64		3494
184	31/12/99	293671	9108272	6,00	2,25		3495
185	31/12/94	293545	9108074	6,00	2,01		3498
186	31/12/80	293737	9108370	12,00	2,72		3499
187		293540	9108030	12,00	1,83		3500
188		290600	9108359	9,00	5		3502
189		290885	9108702	6,00	4		3508
190		290936	9108660	20,00	10		3509
191		291005	9108741	15,00	6		3510
192		290934	9108849	15,00	6		3511
193		290976	9108558	8,00	5		3512
194		291152	9108580	10,00	4		3513
195		291222	9108883	9,00	4		3515
196		291435	9108580	12,00	10		3516
197		291202	9108591	12,00	10		3517
198		291454	9108896	12,00	6		3518
199		291325	9108637	12,00	4		3521
200		291813	9108634	18,00	8		3522
201		291926	9108476	35,00	10		3523
202		291616	9108615	16,00	6		3524
203		291500	9108531	9,00	4		3525
204		291915	9108430	12,00	5		3527
205		291702	9108777	7,00	4		3528
206		291639	9108772	12,00	5		3529
207		291625	9108718	8,00	4		3530
208		291591	9108757	8,00	4		3533
209		291655	9108197	12,00	5		3540
210		291580	9108268	10,00	4		3541
211		291658	9108245	18,00	6		3542
212		291337	9108246	15,00	6		3544
213		291358	9108325	16,00	8		3546
214		291597	9108013	16,00	4		3548
215		291617	9108016	6,00	3		3549
216		291644	9108047	12,00	5		3550
217		291721	9107970	12,00	4		3552
218		291509	9107690	6,00	5		3553
219				33,00	8		3599
220		289638	9112076	15,00	5		3730
221		289201	9111644	17,00	3,8		3759
222		289510	9111658	9,00	6		3771
223	31/12/70	288743	9110782	15,00	4,8		3786
224	31/12/01	289150	9111308	12,00	2		3791
225	31/12/92	289334	9111379	19,00	5		3794
226	31/12/01	288990	9110985	10,00	3		3813
227		289117	9111084	10,00	4,5		3816
228	31/12/96	289099	9111472	14,00	1,8		3826
229		288083	9111479	7,00	3,8		3835
230		288026	9111582	13,00	4		3839
231		287743	9111404	12,00	3,6		3842
232	31/12/97	287637	9111861	15,00	4,8		3846
233		288995	9112225	20,00	4		3850
234		288702	9111780	15,00	1,4		3855
235		288189	9111491	10,00	3,4		3867
236		288189	9111494	8,00	3,5		3868
237	31/12/95	288220	9111603	9,00	3,3		3872
238		288467	9112704	15,00	5,5		3894
239	31/12/99	286506	9116810	30,00	0,8		3909

Nº de Ordem	Data Perfuração	Localização		Características do Poço			Nº do Cadastro Original (HIDROREC II)
		Coordenadas - UTM		Prof.	N.E.	Cota	
		Leste	Norte	(m)	(m)	(m)	
240	31/12/99	286504	9115811	25,00	0,8		3911
241		285766	9113472	38,00	3		3917
242		286730	9108412	10,00	1,1		3921
243	31/12/99	286198	9109144	6,50	1,2		3938
244	31/12/98	285767	9108376	12,00	1,5		3951
245		287465	9110159	24,00	0,6		3987
246		286896	9111541	10,00	5		4001
247		286679	9111762	10,00	6		4011
248		286793	9111252	10,00	5,5		4019
249	31/12/92	285122	9111074	10,00	7		4056
250	31/12/00	285927	9109699	4,50	1,2		4085
251		285934	9109668	9,00	1,2		4086
252		290389	9108598	30,00	6		4157
253		289665	9108496	7,00	5		4172
254		289167	9108388	8,00	6		4176
255		290978	9111553	8,00	4		4257
256		291535	9111460	7,00	4		4261
257		290313	9114912	6,00	3		4300
258		290136	9115193	10,00	6		4301
259		289445	9115679	20,00	5		4302
260		288450	9108550	9,50	6		4344
261		288395	9108431	18,00	8		4345
262		288013	9109000	12,00	8		4346
263		287392	9109196	9,00	4		4349
264		287693	9108882	9,00	2		4350
265		287455	9108742	9,00	5		4351
266		287446	9108754	7,00	4		4352
267		287426	9108730	8,00	4		4353
268		287083	9108626	10,00	6		4354
269		287253	9108814	11,00	3		4355
270		287244	9108882	7,00	3		4356
271		289638	9108201	14,00	5		4359
272		289742	9108090	12,00	3		4361
273		289678	9107965	15,00	6		4362
274		289838	9108154	9,00	4		4364
275		289361	9106729	22,00	12		4366
276		289356	9106756	15,00	10		4367
277		288756	9106878	8,00	4		4372
278		288887	9106869	8,00	4		4374
279		287779	9107896	6,00	3		4377
280		287638	9107975	6,00	3		4378
281		287664	9108232	20,00	6		4379
282		287924	9108451	6,00	2		4381
283		287481	9107378	6,00	3		4383
284		287429	9107880	9,00	4		4385
285		286804	9108176	18,00	4		4387
286	31/12/72	285642	9104726	9,50	1,63		4388
287		285540	9104930	22,00	0,15		4389
288		286597	9105073	20,00	0,13		4393
289		286440	9105017	22,00	0,28		4394
290	31/12/98	285564	9104952	26,00	0,4		4395
291		285530	9105055	20,00	0,1		4396
292		286045	9105023	22,00	0,13		4397
293		286039	9105062	20,00	0,1		4399
294		286112	9105138	21,00	0,17		4400
295		285978	9105106	20,00	0,14		4401
296	31/12/87	286388	9105485	11,00	2		4402
297	31/12/98	286091	9105300	20,00	0,15		4404
298	31/12/02	286355	9105734	25,00	0,2		4405
299		286338	9105871	20,00	0,15		4406

Nº de Ordem	Data Perfuração	Localização		Características do Poço			Nº do Cadastro Original (HIDROREC II)
		Coordenadas - UTM		Prof.	N.E.	Cota	
		Leste	Norte	(m)	(m)	(m)	
300		286279	9105992	20,00	0,2		4408
301		286172	9106069	12,00	2,5		4409
302	31/12/95	286205	9106390	12,00	4,52		4418
303	31/12/97	286281	9106244	12,00	2,36		4421
304	31/12/98	286328	9106484	14,00	4,8		4422
305	31/12/97	286335	9106495	14,00	4,79		4423
306	31/12/99	286341	9106497	14,00	4,8		4424
307	31/12/98	286598	9106440	14,00	4,72		4427
308	31/12/94	286578	9106406	16,00	4,8		4428
309	31/12/97	286614	9106204	17,00	4,68		4429
310	31/12/99	286581	9106224	12,00	4,7		4430
311	31/12/99	286541	9106056	8,00	3,43		4431
312	31/12/01	286701	9105987	14,00	3,57		4432
313	31/12/77	286489	9105941	10,00	3,5		4433
314	31/12/92	286608	9105912	12,00	4,13		4434
315	31/12/01	286773	9106061	13,00	1,5		4435
316	31/12/78	286940	9106076	35,00	0,15		4439
317	31/12/01	285505	9106755	12,00	3,34		4442
318	31/12/99	285454	9106703	20,00	8,04		4445
319	31/12/01	285806	9106552	16,00	9,4		4446
320	31/12/01	285423	9106594	19,00	1,61		4447
321		289283	9101422	4,00	1,5		4486
322		288984	9101401	19,00	8		4487
323		289787	9105483	15,00	6		4489
324		289957	9102964	15,00	5		4491
325		289704	9103219	12,00	4		4492
326		289693	9103055	9,00	5		4493
327		290133	9102757	8,00	2		4497
328		290048	9102804	18,00	6		4498
329		289698	9103269	11,00	5		4499
330		289625	9105699	10,00	5		4501
331		289647	9105696	12,00	5		4502
332		289453	9105285	12,00	5		4504
333		288687	9105180	6,00	3		4506
334		289268	9103246	12,00	5		4507
335		289161	9102774	18,00	8		4508
336		288270	9103094	20,00	4		4509
337		288181	9102959	13,00	5		4510
338		288477	9102923	20,00	6		4511
339		288705	9103157	12,00	5		4512
340		288921	9102364	15,00	5		4513
341		288805	9101272	20,00	6		4518
342		288790	9101254	18,00	6		4519
343		288548	9102000	18,00	6		4521
344		288538	9102020	11,00	8		4522
345		288623	9102058	15,00	6		4523
346		288809	9102310	18,00	6		4524

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)