UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**FUNDAMENTOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A
GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS NA
REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA
ESTADO DO CEARÁ**

ITABARACI NAZARENO CAVALCANTE

Orientador: Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

Presidente: Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças
Examinadores: Prof. Dr. José Eloi Guimarães Campos
Prof. Dr. Leandro Eugênio Silva Cerri
Prof. Dr. Uriel Duarte
Prof. Dr. Waldir Duarte Costa

[Handwritten signatures of the jury members]

SÃO PAULO
1998

SUMÁRIO

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de Fotos

Dedicatória

Agradecimentos

Resumo

Abstract

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004744

Página

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Considerações gerais.....	2
1.2. Localização da área.....	4
1.3. Objetivos.....	6
2. METODOLOGIA DE TRABALHO.....	7
2.1. Pesquisa Bibliográfica.....	8
2.2. Cadastro de pontos d'água e análises físico-químicas e bacteriológicas.....	9
2.3. Cadastro das fontes potenciais de poluição dos recursos hídricos.....	10
2.4. Elaboração das bases temáticas.....	10
2.5. Etapas de campo.....	11
2.6. Tratamento dos dados.....	12

3. CONDICIONANTES GEOAMBIENTAIS.....	14
3.1. Contexto geológico/estrutural.....	15
3.2. Unidades geomorfológicas.....	21
3.3. Classes de solos.....	24
3.4. Vegetação.....	26
4. COMPONENTES DO SISTEMA DE RECURSOS HÍDRICOS.....	31
4.1. Condições climáticas.....	32
4.2. Águas superficiais.....	38
4.3. Águas subterrâneas.....	43
4.3.1. Caracterização dos sistemas hidrogeológicos.....	43
4.3.1.1. Rochas do Embasamento Precambriano	43
4.3.1.2. Sedimentos Terciários Barreiras	47
4.3.1.3. Dunas/Paleodunas Quaternárias	50
4.3.1.4. Aluviões Recentes	63
4.3.2. Reservas hídricas subterrâneas	64
4.3.2.1. Reservas renováveis	65
4.3.2.2. Reservas permanentes	69
4.3.2.3. Reservas totais	70
4.3.2.4. Recursos exploráveis	70

4.3.3. Aspectos Hidroquímicos	73
4.3.3.1. Classificação e qualidade	73
4.3.3.2. Uso das águas subterrâneas	80
4.4. Fontes potenciais de poluição	83
4.4.1. Intrusão salina	85
4.4.2. Sistema de esgotamento sanitário	88
4.4.3. Águas superficiais poluídas	91
4.4.4. Postos de serviço	97
4.4.5. Disposição de resíduos domésticos/industriais	100
4.4.6. Cemitérios	107
4.4.7. Construção de poços	108
4.5. Aspectos de vulnerabilidade e risco dos sistemas hidrogeológicos	110
4.6. Sistema de abastecimento d'água da Região Metropolitana de Fortaleza	115
4.6.1. Águas superficiais	119
4.6.2. Águas subterrâneas	126
4.7. Planos emergenciais para abastecimento d'água	129
4.7.1. Carros-pipa	129
4.7.2. Poços tubulares	130
4.7.3. Canal do Trabalhador	132

5. DIRETRIZES PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO ÂMBITO DOS RECURSOS HÍDRICOS	134
5.1 Caracterização do tema	135
5.2 Aspectos sócio-econômicos	138
5.3 Funções dos aquíferos	142
5.2.1. Função produção	143
5.2.2. Função estocagem, filtro e regularização	144
5.2.3. Função estratégica	146
5.2.4. Função hidro-ambiental	147
5.3. Arcabouço legal e institucional	148
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	149
7. BIBLIOGRAFIA	153

LISTA DE FIGURAS

	Página
01 – Localização da Região Metropolitana de Fortaleza	5
02 – Contexto geológico	16
03 – Registros da estação meteorológica de Fortaleza no período de 1974 a 1993	37
04 – Distribuição dos sistemas aquíferos	44
05 – Sondagens de reconhecimento – Captação de Abreulândia, Fortaleza.....	53
06 – Perfil construtivo e litológico de poço tubular raso	55
07 – Superfície potenciométrica – Abreulândia, Fortaleza	60
08 – Classificação química das águas subterrâneas na Região Metropolitana de Fortaleza	75
09 – Potabilidade das águas subterrâneas na Região Metropolitana de Fortaleza	77
10 – Classificação das águas subterrâneas para irrigação - Região Metropolitana de Fortaleza..	84
11 – Intrusão salina em Abreulândia, Fortaleza	87
12 –Infra-estrutura básica de saneamento de Fortaleza	90
13 – Localização das áreas para disposição de resíduos sólidos – RMF	102
14 – Bacias de contribuição ao sistema Pacoti-Riachão-Gavião	117
15 – Divisão municipal	139

LISTA DE TABELAS

01 - Lagoas da Região Metropolitana de Fortaleza	41
02 - Maiores lagoas da Região Metropolitana de Fortaleza	42
03 – Nível estático e rebaixamento do nível d'água – Sistema Cristalino / RMF	46
04 – Vazão dos poços no Sistema Cristalino / RMF	46
05 – Nível estático e rebaixamento do nível d'água – Sistema Barreiras / RMF	49
06 – Vazão dos poços no Sistema Barreiras / RMF	49
07 – Poços tubulares rasos nas dunas de Abreulândia, Fortaleza	54
08 – Características do aquífero dunas. Abreulândia, Fortaleza	54
09 - Valores médios do sistema aquífero dunas – orla costeira do Ceará	59
10 – Análises das águas subterrâneas da RMF	74
11 – Análises bacteriológicas das águas subterrâneas da RMF	79
12 – Padrões de qualidade d'água para indústrias	82
13 - Cloretos nas águas de Abreulândia – Fortaleza	86
14 - Cloretos nas águas subterrâneas da orla costeira de Fortaleza	88
15 - Estações de coleta das amostras d'água do Cocó e afluentes – RMF	91
16 - Metais pesados nas águas do rio Cocó – RMF	93
17 - Análises das águas do rio Ceará - RMF	96
18 - Postos de serviço no município de Fortaleza – 1989	98
19 - Dados do lixão de Jangurussu, Fortaleza	101
20 - Análises do chorume do lixão de Jangurussu, Fortaleza	104
21 - Análises das águas do rio Cocó, próximo ao lixão de Jangurussu – Fortaleza	105
22 - Reservatórios de distribuição operados pela CAGECE – RMF	118
23 - Monitoramento dos volumes armazenados em açudes – RMF	121
24 - Bacias hidrográficas da Região Metropolitana de Fortaleza	122
25 – Açudes responsáveis pelo abastecimento d'água da RMF	122
26 – População abastecida com água tratada na RMF – 1996	124

27 - Açudagem na Região Metropolitana de Fortaleza	125
28 - Cadastro de poços tubulares da RMF - Até 1995	127
29 - Principais usos dos poços da RMF - Junho/89 a 1995	128
30 - Estimativa global do Programa de Carros-Pipa na RMF - 1993/94	130
31 - Série evolutiva das doenças de veiculação hídrica em Fortaleza	131
32 - Evolução populacional na Região Metropolitana de Fortaleza	141
33 - Volumes extraídos das dunas por poços tubulares rasos	145

LISTA DE FOTOS

	Página
01 – Vegetação de mangue do rio Ceará – Caucaia	30
02 – Vegetação da planície flúvio-marinha – Caucaia	30
03 – Lagamar do rio Cauípe – Caucaia	39
04 – Rio Pacoti – Porto das Dunas, Fortaleza	39
05 – Afloramento do Barreiras, recoberto por sedimentos eólicos – Porto das Dunas	48
06 – Área de recarga das dunas. Abreulândia, Fortaleza	52
07 – Afloramento d'água no campo de dunas em Abreulândia, Fortaleza	57
08 – Piezômetros no campo de dunas em Abreulândia, Fortaleza	57
09 – Perfuração de poços tubulares rasos à trado/sonda de sopapo. Campo de dunas da praia do Futuro, Fortaleza	62
10 – Material utilizado na perfuração manual de poços tubulares rasos	62
11 – Canal do Jardim América poluído por esgotos domésticos, Fortaleza	92
12 – Aspectos da poluição dos rios por esgoto doméstico. Rio Maranguapinho Fortaleza	92
13 – Poluição do rio Maranguapinho por esgotos doméstico e industrial. Ponte Granja/Conjunto Ceará, Fortaleza	95
14 – Aspectos da favelização ao redor do lixão do Jangurussu, Fortaleza	103
15 – Urbanização da região adjacente ao lixão do Jangurussu, Fortaleza	106
16 – Aspectos da planície fluvial com vegetação de carnaúbas. Distrito de Dourado, Guaiúba/CE	109
17 – Poço tubular (desativado) localizado em planície fluvial salinizada. Distrito de Dourado, Guaiúba/CE	109
18 – Vazamento na adutora do Acarape do Meio. Localidade de Jatobá, Distrito de Itacima. Guaiúba-CE (set/97)	120
19 – Vazamento na adutora do Acarape do Meio. Distrito de Itacima. Guaiúba-CE (set/97).....	120
20 – Canal do Trabalhador – Estado do Ceará	133

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Gerson e Dolores

À minha esposa Benice

Aos meus filhos Italo e André

AGRADECIMENTOS

A realização desta Tese seria muito mais difícil sem o auxílio precioso de pessoas e entidades, às quais gostaríamos de expressar nossos sinceros agradecimentos.

Ao Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças, pela orientação e paciência em todos os momentos exigidos, independente de hora ou lugar, além do constante incentivo ao desenvolvimento da pesquisa.

Aos Professores do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas – CEPAS/USP, nas pessoas do Prof. Dr. Uriel Duarte e do Prof. José Milton B. Mendes, pelo carinho sincero dispensado à minha pessoa e apoio ao trabalho nas diversas vezes em que ali estive.

À minha família, Benice, Italo e André, pais e irmãos, que sempre tiveram uma palavra de incentivo e compreensão para os vários momentos de ausência em viagens de campo, necessárias ao desenvolvimento da Tese.

Aos amigos Lourdes, Walter C. Leite, Lúcia e a todos os outros que compõem o CEPAS/USP e o Instituto de Geociências/IGUSP, pela amizade e solidariedade em todas as vezes que foram solicitados.

Aos amigos Geraldo e D^a Neide, Wanda Almeida e família e a todos aqueles que compartilharam do meu tempo em São Paulo, apoiando e incentivando em todos os momentos.

Ao Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, por ter permitido o meu afastamento para fazer o Doutorado no IG/USP.

A todos os amigos e colegas professores do Departamento de Geologia/UFC, nas pessoas dos Professores Dr. Alcides Frangipani e Dr. José Márcio L. Marinho, pelo apoio e discussões técnicas no desenvolvimento deste trabalho.

As empresas que trabalham com Hidrogeologia no Ceará, em particular a CPRM/REFO, SOHIDRA e PHD Perfurações Ltda, por facilitarem o acesso às informações que consubstanciaram esta Tese.

Gostaria de expressar um reconhecimento especial aos amigos e colegas Liano S. Veríssimo e Jaime Q. Colares, que por inúmeras vezes abdicaram de trabalhos outros e da convivência familiar para auxiliar-me na elaboração de figuras específicas, além do constante apoio, imprescindível nos momentos precisos.

Ao Prof. Luiz Bianchi, um amigo e incentivador desde os meus primeiros passos no campo do conhecimento sobre as águas subterrâneas, os meus agradecimentos pelos momentos preciosos dispensados às discussões hidrogeológicas e hidro-ambientais, áreas de seu profundo conhecimento.

A CAPES no âmbito do Programa PADCT/UFC, pela liberação da Bolsa de Doutorado, incentivando a realização desta Pós-Graduação.

Finalmente, agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta Tese.

RESUMO

Esta pesquisa tem por finalidade cumprir o requisito final no Programa de Doutorado na Área de Concentração em Recursos Minerais e Hidrogeologia do Instituto de Geociências / USP.

Foi desenvolvida na Região Metropolitana de Fortaleza - RMF, Estado do Ceará, tendo por objetivo traçar diretrizes para otimizar o manejo integrado dos recursos hídricos superficial e subterrâneo, apresentando fundamentos hidrogeológicos integrados ao uso e ocupação do meio físico.

A região em estudo apresenta todos os problemas básicos encontrados nas grandes áreas urbanas, particularmente do mau uso de suas águas subterrâneas e degradação qualitativa dos recursos hídricos em geral, consequência da ocupação desordenada do meio físico e da falta de conscientização da população e órgãos de planejamento.

A metodologia de trabalho constou da pesquisa bibliográfica, cadastro de pontos d'água, fontes potenciais de poluição dos recursos hídricos e das análises físico-químicas e bacteriológicas, elaboração das bases temáticas, etapas de campo e tratamento dos dados. Ao final, trabalhou-se com um Arquivo e/ou Banco de Dados de 4.465 poços tubulares, 426 açudes, 309 lagoas, 1.478 análises físico-químicas e 1.073 bacteriológicas, 178 postos de serviço (combustível) e 97 indústrias de efluentes líquidos tóxicos.

Existem nove (9) bacias hidrográficas na RMF: São Gonçalo, Cauípe, Juá, Ceará, Maranguape, Cocó, Pacoti, Catu e Caponga Funda, caracterizadas pela existência de rios intermitentes, mas que são utilizados para a formação de lagos artificiais, responsáveis por aproximadamente 65% do abastecimento d'água da RMF.

Os açudes Pacoti-Riachão-Gavião (511 hm^3), Pacajus (148 hm^3) e Acarape do Meio (34 hm^3) representam os principais reservatórios de água superficial para abastecimento da RMF. Existem perdas d'água de 45% entre os volumes distribuídos ($12.864.590 \text{ m}^3/\text{mês}$) e

medidos ($6.587.649 \text{ m}^3/\text{mês}$), demonstrando que é preciso a implementação urgente de uma política de planejamento operacional.

Na área foram definidos quatro (4) sistemas aquíferos: Dunas/Paleodunas Quaternárias, Aluviões Recentes, Sedimentos Terciários Barreiras e Rochas do Embasamento Precambriano, com o primeiro apresentando a melhor vocação aquífera.

O Sistema Dunas/Paleodunas é um aquífero livre com espessura média saturada de 6,0 metros, nível estático predominantemente inferior a 4,0 metros, vazão média de $6,0 \text{ m}^3/\text{h}$, porosidade efetiva estimada em 15%, condutividade hidráulica de $0,73 \text{ a } 2,5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ e transmissividade de $2,4 \text{ a } 7,0 \text{ m}^2/\text{h}$. Suas águas são, no geral, captadas por poços tubulares rasos com profundidades entre 10 e 15 metros.

As Aluviões não são explotadas em função do elevado grau de poluição a que estão submetidas. O Barreiras é um aquífero livre, localmente semi-confinado por níveis silto-argilosos, com espessura média saturada de 15 metros, nível estático médio de 8,6 metros, sendo explotado por poços tubulares com profundidades entre 30 e 50 metros, que cedem vazão média de $2,8 \text{ m}^3/\text{h}$.

O Cristalino possui pequena vocação hidrogeológica, apresentando-se heterogêneo e anisotrópico, permitindo recarga, armazenamento e fluxo hídrico subterrâneo nas zonas com fraturas abertas, interconectadas e com zonas de recarga. O nível estático médio é de 6,0 metros e os poços nesse contexto possuem profundidades entre 30 e 80 metros, com vazão predominantemente abaixo de $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$.

Existem 56,8 milhões de m^3/ano para as reservas renováveis, distribuídos entre as Dunas/Paleodunas e Barreiras, com 41,5 e 15,3 milhões de m^3/ano respectivamente. As reservas permanentes correspondem a 638,3 milhões de m^3 calculadas para Dunas/Paleodunas (177,3 milhões de m^3) e Barreiras (461 milhões de m^3).

Os recursos explotáveis foram calculados sob a forma de disponibilidade potencial (Sistemas Dunas/Paleodunas e Barreiras) que apresentou um valor mínimo de 200 milhões de m^3/ano) e efetiva (Sistemas Dunas/Paleodunas, Barreiras e Cristalino) que corresponde a 23,6 milhões de m^3/ano , ou seja, somente 3,7% das reservas permanentes.

No geral as águas subterrâneas são cloretadas sódicas, com boa qualidade físico-química, mas possuindo problemas quanto a qualidade bacteriológica em função de coliformes fecais, com a presença predominante da bactéria Eschirichia coli.

As águas superficiais estão poluídas bacteriologicamente, resultado da disposição direta de efluentes domésticos e/ou industriais que transformam os cursos d'água em verdadeiros esgotos a céu aberto.

As fontes potenciais e/ou efetivas de poluição das águas subterrâneas são: intrusão salina, sistema de esgotamento sanitário, águas superficiais poluídas, postos de serviço, resíduos sólidos (domésticos e industriais), cemitérios e a construção de poços tubulares sem critérios técnicos

Foram definidos quatro (4) níveis de vulnerabilidade natural na área: Extrema (Dunas/Paleodunas e Aluviões), Alta (Cristalino com fraturas abertas), Alta a Moderada (Barreiras) e Baixa a Muito Baixa (Cristalino com fraturas fechadas e/ou sem fraturas).

As águas subterrâneas constituem um recurso estratégico, particularmente nos períodos de estiagem, responsável pelo abastecimento de aproximadamente 35% da população da RMF.

ABSTRACT

The present Thesis meets the final requirement of the Doctorate Program in the Mineral Resources and Hydrogeology concentration area of the Geosciences Institute of the University of São Paulo, Brazil.

The study has been developed in the Metropolitan Region of Fortaleza (MRF), in the State of Ceará, with the goal of establishing standards for the optimization of the integrated management of water resources, both surface and underground, introducing hydrogeologic fundamentals based on use and occupation of the physical environment.

The target area presents all common problems found in large urban regions, specially the bad use of ground water and quality degradation of water resources in general, due to inadequate occupation of the urban space and lack of educated conscience of both population and planning agencies.

The study methodology consisted of bibliographic research, inventory of water points and contamination potential sources, physical-chemical and bacteriological analysis, elaboration of thematic bases, field work and data treatment. The resulting data bank contains information of 4,465 tubular wells, 426 surface reservoirs (dams), 309 lakes, 1,478 physical-chemical analyses, 1,073 bacteriological analyses, 178 gas stations, and 97 contaminating industries.

In the MRF are found nine hydrographic basins: São Gonçalo, Cauipe, Juá, Ceará, Maranguape, Cocó, Pacoti, Catu, and Caponga Funda, all characterized by intermitent rivers which have been dammed to form artificial lakes (reservoirs), responsible for about 65% of the RMF water supply.

The reservoir systems of Pacoti-Riachão-Gavião (511 hm³), Pacajus (148 hm³) and Acarape do Meio (34 hm³) are the main sources of water supply for the RMF. Total losses reach 45% of delivered (12,864,590 m³/month) and measured (6,587,649

m³/month) volumes, demonstrating the urgent need of improvements in the distribution system by the local water company.

Three aquifer systems were defined: Quaternary Dunes and Paleodunes, Recent Alluvial, Barreiras Tertiary Sediments, and Precambrian Basement Rocks, the first being the most important in terms of potential.

The Dunes and Paleodunes System is a free aquifer with average saturated thickness of 6 m, static level usually under 4 m, average yield of 6 m³/h, effective porosity estimated as 15%, hydraulic conductivity between 0.73 and 2.5×10^{-4} m/s and transmissibility between 2.4 and 7.0 m²/h. Its waters are generally obtained through shallow tubular wells, 10 to 15 m deep.

The Alluvial Systems are usually not exploited due to their high degree of contamination. The Barreiras is a free aquifer, locally semi-confined by clay-silty strata, with average saturated thickness of 15 m, mean static level of 8.6 m, exploited through tubular wells 30 to 50 m deep, which average yield of 2.8 m³/h.

The Precambrian (Crystalline) System shows a very low hydrogeologic potential. It is heterogeneous and anisotropic, allowing recharge, storage and flow in zones with interconnected open fractures, with recharge zones. The mean static level is of 6 m and wells are 30 to 80 m deep, yielding usually below 2 m³/h.

There are 56,800,000 m³ in renewable reserves, distributed between the Dunes/Paleodunes (41,500,000 m³) and the Barreiras (15,300,000 m³) systems. Permanent reserves reach 638,300,000 m³ distributed between Dunes/Paleodunes (117,300,000 m³) and Barreiras (461,000,000 m³).

The exploitable resources were calculated as potential disponibility (Dunes/Paleodunes and Barreiras), reaching a minimum value of 200,000,000 m³/year, and effective disponibility (Dunes/Paleodunes, Barreiras and Precambrian), reaching 23,600,000 m³/year, or only 3.7% of the permanent reserves.

In general, ground waters are sodium chloride rich, with good physical-chemical quality, but with poor bacteriological quality due to high contents of fecal coliforms, mainly Escherichia coli.

The biological contamination of ground waters is the result of direct disposition of domestic and industrial effluents, which make rivers and creeks true open sewage channels.

Potential or effective sources of ground water contamination are: marine intrusion, lack or failure of sanitary systems, contaminated surface waters, gas stations, solid residues (domestic and industrial), cemeteries, and lack of technical criteria in the construction of tubular wells.

Four levels of natural vulnerability were defined for the MRF area: *extreme* (Dunes/Paleodunes), *high* (Precambrian with open fractures), *high to moderate* (Barreiras), and *low to very low* (unfractured or closed fractured Precambrian).

Ground water is a strategic resource, specially in the drought periods, and is the source of supply for approximately 35% of the total MRF population.

1. INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

Este documento representa o requisito final exigido pelo Programa de Doutorado na Área de Concentração em Recursos Minerais e Hidrogeologia do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - IG/USP. A pesquisa hidrogeológica foi realizada na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará.

A Região Metropolitana de Fortaleza apresenta, ao mesmo tempo, os problemas derivados da escassez periódica de água para atender a demanda, o mau uso das águas subterrâneas e a ocupação aleatória e desordenada do meio físico. Esta pesquisa busca oferecer subsídios hidrogeológicos para que, integrados a realidade da área, possam, de maneira objetiva, contribuir para solucionar, ou amenizar, o problema de água mediante uma política de uso e ocupação do meio físico que leve em consideração a necessidade urgente de proteção das águas subterrâneas, reserva estratégica.

1.1. Considerações Gerais

Estima-se que o volume armazenado de água subterrânea seja de 9,5 milhões de km^3 , ou seja, aproximadamente 68 vezes o volume total de água doce líquida existente na Terra, representando cerca de 97% do total dos recursos hídricos líquidos (REBOUÇAS, 1997).

Em 1969, a UNESCO estimou que no ano 2.000 as demandas mundiais de água atingiriam $18.700 \text{ km}^3/\text{ano}$, distribuídas para uso doméstico ($600 \text{ km}^3/\text{ano}$), indústria ($1.700 \text{ km}^3/\text{ano}$), irrigação ($7.000 \text{ km}^3/\text{ano}$), diluição de esgotos ($9.000 \text{ km}^3/\text{ano}$) e outras utilizações ($400 \text{ km}^3/\text{ano}$) (REBOUÇAS, 1980).

Os seguintes fatos contribuem para explicar a procura da água subterrânea pelo usuário em geral:

- 1) São, desde que em condições naturais, isentas de organismos patogênicos, turbidez, cor e sabor. Com a proliferação de doenças de veiculação hídrica, particularmente

em áreas urbanas de grandes concentrações populacionais e/ou que consomem água sem um tratamento prévio, o usuário entende que a água subterrânea encontra-se melhor protegida dos agentes poluidores, e que as camadas rochosas podem desenvolver a função de filtro. Dispensam, assim, custos onerosos com tratamentos físico-químicos, restringindo-se, na maioria dos casos, a tratamento convencional simples (aeração, filtração, etc.).

2) Estão melhor protegidas da evaporação. Este fato leva a uma parcela hídrica evaporada muito menor do aquela perdida no reservatório superficial, e isto é importante em áreas onde a evaporação é crítica, a exemplo do Nordeste do Brasil. Assim, em períodos de estiagem, quando os reservatórios ficam com um percentual reduzido da sua capacidade máxima de armazenamento, muitas vezes com menos de 20%, os aquíferos dispõem de água potável para atender, total ou parcialmente, a demanda solicitada;

3) O investimento para captação de água subterrânea pode ser parcelado. À medida em que a demanda aumenta, o usuário pode construir seus poços, adequando-os ao volume d'água solicitado, permitindo-se, desta forma, trabalhar com um parcelamento de custos e investimento seguro relativo a procura hídrica;

4) No geral situam-se no local, ou muito próximo, da demanda. Assim custos maiores com aduções são dispensados;

5) Representam fontes principais ou complementares de abastecimento doméstico, industrial ou em prática agrícolas. É comum a existência de poços tubulares operados para fins diversos, atendendo a demanda principal ou servindo como reserva estratégica, utilizados em períodos críticos de estiagem ou por razões de segurança;

6) Normalmente o prazo para estudo, perfuração, completação e instalação do poço tubular é pequeno, oscilando em função de poucos dias quando se trata de uma obra isolada e de pequeno porte (inferior a 100 metros de profundidade), fazendo com que o usuário venha a ter sua solicitação atendida em um curto período de tempo. Como na maioria dos casos a obra de captação é requerida em momentos emergenciais, o fator tempo é primordial.

7) Associada aos impactos ambientais, verifica-se que a construção de poços tubulares não implica em modificações do meio físico, tendo uma área superficial de influência bastante reduzida. Modificações do meio ambiente ocorrem quando a obra não obedece aos padrões técnicos recomendados pelas normas existentes.

A crescente demanda de água como consequência do aumento da taxa de crescimento populacional, da necessidade de produção de mais alimentos e crescimento do setor industrial, além da deterioração qualitativa dos recursos hídricos superficiais, torna a água subterrânea um patrimônio de valor imensurável, capaz de funcionar como reserva estratégica e influenciar decisivamente no desenvolvimento político-sócioeconômico de qualquer comunidade.

Associado ao problema de poluição da água, falta e/ou escassez e a implementação urgente de uma política de gestão integrada dos recursos hídricos, todos os governos a nível mundial se deparam com a “*crise da água potável*” para o próximo século.

Mais de 50% da população mundial se encontra em grandes centros urbanos e isto faz com que exista a degradação qualitativa dos mananciais superficiais de águas potáveis. O papel das águas subterrâneas como fator estratégico de abastecimento torna-se relevante, tendendo a desenvolver-se cada vez mais rapidamente à medida em que são estudadas de forma integrada com o meio ambiente e a ocupação do meio físico.

1.2. Localização da Área

A área de estudo está situada na porção nordeste do Estado do Ceará, Região Nordeste do Brasil, abrangendo totalmente a Região Metropolitana de Fortaleza. Ocupa uma superfície de 3.483 km² e é composta pelos municípios de Aquiraz (471 km²), Eusébio (75 km²), Fortaleza (336 km²), Guaiúba (259 km²), Pacatuba (141 km²), Itaitinga (154 km²), Maranguape (672 km²), Maracanaú (82 km²) e Caucaia (1.293 km²), conforme se visualiza na figura 01.

Limita-se ao norte com o oceano Atlântico; ao sul com os municípios de Caridade, Palmácia, Redenção, Acarape, Pacajus e Horizonte; ao leste com Pindoretama e

5 0 5 10 15 Km
ESCALA

LEGENDA

- Açude
- Drenagem
- Sede municipal
- Divisor municipal

0 400 800 km
ESCALA

Figura 01 - Localização da Região Metropolitana de Fortaleza - CE

com o oceano Atlântico; e, finalmente, ao oeste com os municípios de São Gonçalo do Amarante e Pentecoste.

1.3. Objetivos

Esta pesquisa tem por objetivo geral traçar diretrizes para maximizar o aproveitamento integrado dos recursos hídricos da Região Metropolitana de Fortaleza, sob uma visão sistêmica e uso racional das águas superficiais e subterrâneas.

Os objetivos específicos são:

1. Caracterizar hidrogeologicamente a Região Metropolitana de Fortaleza e estabelecer a relação existente entre oferta e demanda d'água na região;
2. Caracterizar as fontes de abastecimento d'água, enfocando principalmente as águas subterrâneas, explicitando as condições de uso e proteção;
3. Propor diretrizes à exploração integrada das águas subterrâneas, sob a visão de bem estratégico e vital, e uma utilização conjunta com os mananciais de superfície de modo a solucionar, ou amenizar, a problemática derivada da escassez d'água na região, particularmente em períodos de longa estiagem.

2. METODOLOGIA DE TRABALHO

2. METODOLOGIA DE TRABALHO

Este trabalho constou de diferentes fases nas quais, através da metodologia utilizada, se buscou obter subsídios para o desenvolvimento dos tópicos propostos de modo a atingir os objetivos do estudo.

2.1. Pesquisa Bibliográfica

O levantamento bibliográfico teve por objetivo obter dados referentes aos aspectos sócioeconômicos, geo-ambientais, hidrogeológicos e dos recursos hídricos superficiais, gerando informações sobre a área de estudo. Assim, procedeu-se o cadastro de trabalhos técnicos e mapas diversos que foram utilizados de forma integrada para a elaboração das bases preliminares, cadastro de oferta e demanda d'água e do acervo técnico correlacionável ao tema desenvolvido.

As citações bibliográficas no decorrer do texto são pertinentes a cada trabalho desenvolvido, refletindo o conteúdo, a importância e o tópico a que está associado. Ressalta-se o pequeno número de trabalhos de caráter hidrogeológico efetuados na RMF, destacando-se BELTRÃO & MANOEL FILHO (1973), MORAIS et al (1984), BIANCHI et al, 1984 (in AUMEF, 1984), ARAÚJO & LEAL (1990), CAVALCANTE et al (1990) e CAVALCANTE (1993), além do trabalho a nível regional efetuado por FRACALOSSO Jr. para o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (CEARÁ, 1992).

Dois trabalhos contribuíram sensivelmente para o conhecimento dos problemas geo-ambientais na RMF, o de BRANDÃO et al (1995) e COLARES (1996), com o primeiro enfocando a caracterização geo-ambiental e a ocupação desordenada da RMF, e o segundo abordando o mapeamento geotécnico/ambiental da referida região.

Mapas diversos e em escalas variando entre 1:10.000 e 1:100.000 foram obtidos, a exemplo de mapas geológico, plani-altimétrico, geomorfológico, de cobertura vegetal e pedológico, entre outros, os quais foram integrados ou modificados para elaboração das bases utilizadas.

2.2. Cadastro de Pontos d'Água e de Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas

O cadastro compreendeu o levantamento de fichas até 1995 referentes a 4.465 poços tubulares, 309 lagoas, 426 açudes, 1.478 análises físico-químicas e 1.073 bacteriológicas.

As fichas dos poços encontram-se nos Bancos de Dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME, Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM e nos arquivos da Superintendência de Obras Hidráulicas do Estado do Ceará – SOHIDRA, Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS, Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará – CAGECE, PHD Geotécnica e Construções Ltda. e TERRA Perfurações Ltda.

O trabalho teve por finalidade obter informações sobre os dados técnicos construtivos, litológicos e hidrogeológicos, bem como ter subsídios para o acompanhamento da evolução temporal e distribuição espacial dos poços na área estudada.

Os dados sobre mananciais superficiais estão arquivados na Secretaria de Desenvolvimento Urbano da Região Metropolitana de Fortaleza – SEDURB, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará - COGERH/Secretaria dos Recursos Hídricos e Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Ceará – SEMACE.

O levantamento das informações sobre espelhos d'água (açudes e lagoas) objetivou conhecer a distribuição espacial dos reservatórios, áreas, volumes armazenados e situação atual, além de obter conhecimentos sobre os sistemas de abastecimento operados para a RMF, população abastecida e soluções implementadas em períodos de estiagens. O número de lagoas e açudes foi obtido do trabalho realizado pela AUMEF (1984) à partir de mapas plani-altimétricos na escala 1:20.000 e interpretação de fotografias aéreas 1:40.000.

As análises físico-químicas e bacteriológicas das águas estão nos arquivos da CAGECE, SEMACE e CPRM.

O cadastramento delas servirá, fundamentalmente, para a caracterização hidroquímica das unidades aquíferas, e possibilitará o conhecimento sobre poluição das águas subterrâneas, particularmente na Grande Fortaleza, onde os recursos hídricos estão fortemente submetidos aos impactos antrópicos. Além disso, permitirá o conhecimento qualitativo das águas superficiais, alvo de disposição de rejeitos urbanos e industriais.

Como todos os dados estão disponíveis ao usuário, seja em papel ou meio magnético, e sofrem constantes acréscimo de informações, julgamos desnecessária a simples compilação dos mesmos. Assim, os dados necessários ao estudo são apresentados sob a forma de gráficos e tabelas à medida em que são requeridos e após sofrerem análise seletiva.

2.3. Cadastro das Fontes Potenciais de Poluição dos Recursos Hídricos

Este cadastro foi realizado, principalmente, junto a Superintendência Estadual de Meio Ambiente - SEMACE, ao Programa de Saneamento Básico de Fortaleza - SANEAR e ao Conselho Nacional de Petróleo - CNP.

O objetivo é situar, no contexto regional, a distribuição das fontes poluidoras capazes de apresentar risco efetivo aos recursos hídricos, particularmente às águas subterrâneas, observando até que ponto estas podem sofrer influência da carga poluente.

Foram localizadas em mapa as áreas onde não existe saneamento básico, as drenagens efetivamente poluídas e o posicionamento dos lixões. Foram catalogados 178 postos de serviço (postos de combustível) com dados sobre ano de implantação do posto, tipo de combustível e volume estocado (CNP, 1989), e cadastro de 97 indústrias produtoras de efluentes líquidos tóxicos (SEMACE, 1993).

2.4. Elaboração das Bases Temáticas

Com o objetivo de se dispor de bases técnicas integradas ao estudo, os diversos mapas cadastrados foram atualizados, integrados e convertidos para a escala de trabalho adequada a cada finalidade, predominando a de 1:100.000.

Foram obtidas bases plani-altimétricas e de drenagem na escala 1:100.000, 1:40.000 e 1:20.000, fundamentais para a localização dos poços tubulares, espelhos d'água e fontes potenciais de poluição, e mapas geológico, geomorfológico e de solos nas escalas 1:100.000 e 1:50.000.

Destas foram confeccionadas as bases geológica, contexto dos recursos hídricos, localização das áreas de disposição de resíduos sólidos e a dos sistemas aquíferos, utilizadas neste trabalho.

Utilizando programas computacionais gráficos (p.ex. Corel Draw, Max Cad) e das técnicas que atualmente se dispõe na informática, conservando-se as informações originais, as bases foram convertidas para a escala 1:550.000, facilitando o manuseio das mesmas e a apresentação no decorrer do texto.

2.5. Etapas de Campo

No desenvolvimento da pesquisa, várias etapas de campo foram realizadas a fim de se verificar a acuracidade dos dados cadastrados e/ou proceder o levantamento de novas informações.

O trabalho de acompanhamento da perfuração de poços tubulares foi sempre constante, com situação particular no desenvolvimento do Programa Cólera (1993), onde a SOHIDRA perfurou 17 poços na Grande Fortaleza, em que acompanhamos em sua totalidade.

Além destes, sempre foram acompanhados outros poços tubulares construídos pela SOHIDRA e por companhias particulares que atuam na RMF, além dos poços tubulares rasos (no ambiente de dunas/paleodunas e Barreiras) construídos pela Mucuripe Poços Ltda., que utiliza a sonda de “válvula de sopapo” e alcança profundidade de 25 metros. Estas etapas serviram para a coleta “in loco” de importantes informações pertinentes ao tipo litológico, projeto técnico-construtivo de poço e parâmetros hidrogeológicos.

As etapas de campo para checagem do mapa geológico a ser utilizado no estudo, elaborado por BRANDÃO (1995), foram realizadas através de uma série de caminhamentos abordando os aspectos litológicos da Formação Barreiras e lito-estruturais do Complexo Gnáissico-Migmatítico. O canal que interliga o sistema Pacoti-Riachão-Gavião, além de múltiplos afloramentos, serviram para a visualização direta de litotipos diversos, auxiliando no discernimento das unidades petrográficas e aspectos relacionados às feições estruturais.

Posteriormente, o mapa geológico sofreu modificações por RIBEIRO et al (1997), com redução da área de ocorrência das paleodunas e aumento para a Formação Barreiras.

Várias fases de campo também foram efetivadas para a verificação do cadastro das fontes potencialmente poluidoras - indústrias, postos de serviço, cemitérios e lixões, associando-se com visitas a pontos previamente escolhidos da rede de drenagem, lagoas e açudes, onde se constatou, por diversas vezes, os impactos antrópicos negativos sobre o contexto hídrico da RMF.

2.6. Tratamento dos Dados

O tratamento dos dados cadastrados, gerando informações para a pesquisa, constou da compilação, uniformização, formação de Arquivo de Dados, tratamento estatístico simples dos dados numéricos e integração e/ou modificações dos mapas, gerando as bases para a execução do trabalho.

As análises físico-químicas foram processadas e submetidas a um cálculo de balanço iônico para se verificar a acuracidade dos dados obtidos. Após isto, elaborou-se gráficos hidroquímicos (Piper, Schoeller & Berkloff, U.S. Salinity, etc.) com a utilização do pacote computacional "HIDROQS", desenvolvido por CAVALCANTE et al (1992) para o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (PERH, 1992).

As fichas técnicas dos poços tubulares foram analisadas e as informações checadas, desde que possível, através de mapas geológicos, hidrogeológicos e campanhas de campo. Inúmeras vezes acompanhou-se locações e perfurações de poços tubulares com o objetivo de se discutir "in situ" as informações cadastradas.

As etapas de campo buscaram elucidar dúvidas e/ou obter novos dados para a pesquisa. Sempre que possível, as informações sobre localização de pontos d'água e fontes de poluição foram trabalhadas sobre a base planialtimétrica, integrada ao contexto hidrogeológico e ocupação do meio físico.

3. CONDICIONANTES GEO-AMBIENTAIS

3. CONDICIONANTES GEO-AMBIENTAIS

Os condicionantes geo-ambientais fundamentam o desenvolvimento harmônico natural da região, sendo representados pelos aspectos geológicos, clima, geomorfologia, solos, recursos hídricos e vegetação.

Procurando integrar os fatores correlacionáveis aos recursos hídricos, o item versando sobre condições climáticas será inserido no tópico Componentes do Sistema de Recursos Hídricos (Capítulo 4)

3.1. Contexto Geológico/Estrutural

A área é caracterizada pela presença de rochas ígneas e metamórficas, sedimentos cenozóicos e coberturas recentes residuais e transportadas (elúvio, colúvio e alúvio) (Figura 02).

A cartografia geológica elaborada por BRANDÃO (1995), revela que na porção central da área ocorrem rochas ortoderivadas de natureza granitóide-migmatítica, reunidas no Complexo Arqueano Granítico-Migmatítico (P_{Egr}-mg), enquanto outros autores as interpretam como individualizações litológicas dentro das unidades proterozóicas.

Este conjunto exhibe rochas foliadas representadas por gnaisses/gnaisses migmatizados até migmatitos metatexíticos gradando, para o interior, a migmatitos diatexíticos e núcleos granitóides. As melhores exposições situam-se nos setores morfologicamente mais elevados, representados pelas serras de Maranguape e Pacatuba que constituem divisores naturais de bacias hidrográficas. Apresentam uma constituição predominantemente granitóide e representam relevos residuais, formados a partir da erosão diferencial que rebaixou as áreas gnáissicas circundantes.

O Complexo Gnáissico-Migmatítico (P_{Egn}-mg) pertence ao Proterozóico Inferior, ocupando a maior área de distribuição no âmbito da RMF conforme pode ser visualizado na figura 02. Suas melhores exposições são observadas na porção ocidental, representadas por

REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA

FONTE: Projeto Fortaleza (CPRM, 1977) e Mapa Geológico da Região Metropolitana de Fortaleza (CPRM, 1995), com modificações.

Unidades Litoestratigráficas

Qa	Depósitos flúvio-aluvionares e de mangues	PEγ1	Granitos tardi a pós-tectônicos
Qd	Dunas	PEub	Ultrabásitos
Qpd	Páleo-Dunas	cc	Calcários
Tb	Formação Barreiras	qt	Quartzitos
Tc	Coberturas colúvio-eluvionares	PEgn-mg	Complexo Gnáissico-Migmatítico
Tal	Vulcânicas alcalinas	PEgr-mg	Complexo Granítico-Migmatítico
PEγ2	Granitos pós-tectônicos		

Convenções Estruturais

—————	Contato geológico
- - - - -	Contato litológico
—————	Falha indiscriminada
- - - - -	Fratura
○ — ○	Dique
== == ==	Traço de foliação
30°	Foliação c/ mergulho medido
↗	Estrutura sinforme
↘	Sinforme c/ caimento
↗	Antiforme c/ caimento

Figura 02- Contexto geológico

gnaisses aluminosos, em parte migmatizados, freqüentemente intercalados por níveis quartzíticos (qt) e carbonáticos (cc). São biotita-gnaisses com ou sem muscovita, anfibólio, granada e silimanita.

Subordinadamente, ocorrem corpos anfibolíticos e calciossilicáticos em jazimentos lenticulares de pequenas dimensões, concordantes com o bandamento gnáissico. Os tipos migmatíticos mais comuns são os de estrutura bandada/dobrada, reconhecendo-se também, em menor proporção, termos mais evoluídos, mostrando uma tendência à homogeneização.

Na área ocorrem corpos piroxeníticos (P_{Eu}b) do final do Proterozóico Inferior e rochas vulcânicas alcalinas (Ta) - *necks* e diques, classificados, predominantemente, como fonolitos e traquitos que possuem coloração cinza-esverdeada e pórfiros milimétricos de feldspatos envoltos por uma matriz afanítica. As principais ocorrências alcalinas recebem denominações locais, a exemplo dos serrotes Pão de Açúcar, Japapara e Salgadinho (Caucaia), Caruru (Fortaleza) e Ancuri (Itaitinga), sobressaindo-se topograficamente como elevações circulares e elipsoidais, algumas com formas características de cones vulcânicos.

Preliminarmente, as rochas de natureza granítica foram classificadas com referência às fases deformacionais do Ciclo Brasileiro (BRANDÃO, op. cit.). Os granitos considerados como cedo a sin-tectônicos ocorrem por toda a área, constituindo pequenos corpos não cartografáveis na escala do trabalho, exibindo acentuada deformação e sendo representados por ortognaisses com ou sem facóides feldspáticos.

Os granitos tardi a pós-tectônicos (P_Eγ1) estão representados por três corpos na porção sul/sudeste da área, destacando-se o de Itaitinga representado por um granito mesocrático, de granulação média, estrutura isotrópica a incipientemente foliada, encerrando enclaves gnaissificados de composição diorítica. Leucogranitos de dimensões batolíticas, rosados, isotrópicos, ricos em muscovita e freqüentemente pegmatóides, que ocorrem no limite sudoeste da área, foram considerados como de posicionamento pós-tectônico (P_Eγ2).

As coberturas colúvio-eluvionares (Tc) ocorrem nos interflúvios existentes no âmbito da Depressão Sertaneja e nas encostas das Serras Úmidas, resultantes do intemperismo

“in situ” ou do deslocamento gravitacional, assentando-se diretamente sobre os terrenos cristalinos. São areno-argilosas, ocasionalmente mais grosseiras, inconsolidadas, alaranjadas e/ou avermelhadas, com horizonte lateritizado na base e, muitas vezes, conservando resquícios de estruturas gnáissicas e fragmentos de quartzo (COLARES, 1996).

A Formação Barreiras (Tb), de idade miocênica superior a pleistocênica, possui caráter predominantemente continental, onde os sedimentos foram depositados sob condições de um clima semi-árido, sujeito a chuvas esporádicas e violentas, formando amplas faixas de leques aluviais coalescentes

Ocorre acompanhando a linha de costa, com largura variável e à retaguarda dos sedimentos eólicos. Por vezes aflora na linha de praia formando falésias vivas, a exemplo do que ocorre na praia de Iparana (Caucaia). Na porção oriental da área, aflora até cerca de 30 km em direção ao interior, constituindo o trecho mais largo de sua ocorrência.

A espessura é bastante variável, oscilando predominantemente entre 20 e 50 metros, em função da superfície irregular do embasamento sobre o qual repousa em discordância erosiva angular. É formada por intercalações de sedimentos areno-silto-argilosos, pouco ou não litificados, contendo na base níveis conglomeráticos e apresentando colorações avermelhada, creme ou amarelada, muitas vezes de aspecto mosqueado. Horizontes lateríticos são freqüentes e estão associados à percolação da água subterrânea que lixivia o elemento Fe, concentrando-o em determinados níveis.

Na faixa litorânea ocorrem cordões de paleodunas (Qpd) e dunas recentes (Qd) sobrepostos ao Barreiras, formados por areias bem selecionadas de granulação fina a média com diâmetro efetivo médio de 0,15 mm, por vezes siltosas, quartzosas e/ou quartzo-feldspáticas, com tons amarelados, alaranjados ou acinzentados. A espessura total chega a 30 metros porém, ocorre um predomínio do intervalo de 10 a 15 metros com progressiva redução em direção ao interior.

As paleodunas apresentam-se normalmente inconsolidadas, embora em alguns locais possam apresentar um certo grau de compactação, com desenvolvimento do processo pedogenético e conseqüente fixação do revestimento vegetal de maior porte.

As dunas recentes distribuem-se como cordões contínuos dispostos paralelamente à linha de costa, com largura média de 2 km e espessura predominante oscilando de 8 a 15 metros. A continuidade é interrompida, localmente, pela presença de planícies fluviais e flúvio-marinhas, ou pela penetração até o mar de sedimentos da Formação Barreiras (ex. praia de Iparana, Caucaia), promontórios formados por cangas lateríticas (ex. ponta do Mucuripe, Fortaleza) e quartzitos (ex. ponta do Iguape, Aquiraz). Normalmente ocorrem capeando a geração de dunas mais antigas, embora em algumas áreas estejam assentadas diretamente sobre os sedimentos do Barreiras.

São constituídas por areias esbranquiçadas bem selecionadas, de granulação fina a média, quartzosas, com grãos foscos e bem arredondados de quartzo e, muitas vezes, com níveis de minerais pesados, principalmente ilmenita. Caracterizam-se pela ausência de vegetação ou pela fixação de um revestimento pioneiro que deteria, ou amenizaria, os efeitos da dinâmica eólica, responsável pela migração das dunas.

As praias recentes formam um depósito contínuo, alongado por toda a extensão da costa, desde a linha de maré baixa até a base das dunas móveis. São acumulações de areias de granulação média a grosseira, ocasionalmente cascalhos (principalmente próximo às desembocaduras das principais drenagens), com abundantes restos de conchas e matéria orgânica. Em função de escala, esta unidade não se encontra representada na base geológica apresentada, estando inserida na faixa correspondente às dunas recentes.

Incluem-se também nesse contexto os *beach-rocks*, também denominados de arenitos de praia, que ocorrem em diversos trechos da área. São arenitos conglomeráticos com grande quantidade de bioclastos (fragmentos de moluscos e algas), cimentados por carbonato de cálcio. As melhores ocorrências situam-se nas praias da Sabiaguaba e COFECO (Fortaleza), Iparana (Caucaia) e na enseada do Mucuripe (Fortaleza).

Os depósitos flúvio-aluvionares e de mangues (Qa) são representados por areias, cascalhos, siltes e argilas, com ou sem matéria orgânica, compreendendo os sedimentos fluviais, lacustres ou estuarinos recentes.

Os cursos d'água que percolam os terrenos cristalinos mostram-se freqüentemente controlados por fraturas e falhas, exibindo longos trechos retelinizados característicos desta

situação. Nestas áreas, os depósitos aluvionares constituem faixas estreitas, mormente formadas por sedimentos grosseiros, ao longo dos canais ativos, enquanto nas planícies de inundação apresentam-se mais finos, resultante da própria ação seletiva da energia de transporte.

Os rios e riachos que ocorrem nas coberturas sedimentares favorecem a formação de depósitos mais possantes, provenientes do retrabalhamento da Formação Barreiras e das dunas/paleodunas, resultando em depósitos compostos predominantemente por areias finas, siltes e argilas. Nas lagoas costeiras e interiores são depositados sedimentos essencialmente perlíticos e grande quantidade de matéria orgânica, sendo que nas primeiras é comum a presença de camadas de diatomito, muitas vezes com volume suficiente para serem explotadas economicamente. Nos ambientes estuarinos, ou de planícies flúvio-marinhas, formam-se depósitos siltico-argilosos ricos em matéria orgânica que sustentam uma vegetação de mangue.

O arcabouço estrutural da região é caracterizado por um desenvolvimento tectônico polifásico, em que sobre zonas de fraturas e falhas sucederam-se às estruturas dúcteis, impressas com mais evidência nas rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico. A figura 02 mostra que os principais traços estruturais estão dispostos, preferencialmente, segundo o *trend* NE-SW e, subordinadamente, a NW-SE (BRANDÃO, 1985; COLARES, 1996).

Em escala de afloramento é possível distinguir o bandamento gnáissico, a xistosidade e a foliação de transposição, em função da natureza da rocha e/ou do grau de deformação.

Os tipos mais tectonizados, envolvendo os estágios miloníticos e ultramiloníticos, ocorrem junto às duas zonas de cisalhamento de direção geral NE-SW, sendo que ao sudeste da área, BRANDÃO (op. cit.) caracterizou uma faixa de rochas bastante deformadas do Complexo Gnáissico-Migmatítico, com a foliação milonítica mergulhando em torno de 70° para NW.

No domínio das unidades basais, em que as estruturas foram desenvolvidas sob condições de alto grau metamórfico, os dobramentos são complexos segundo várias fases de

redobramentos, observando-se, comumente, dobras sinformes e antiformes, abertas ou apertadas, de geometrias simétricas ou assimétricas, harmônicas, desarmônicas e dobras recumbentes.

3.2. Unidades Geomorfológicas

BRASIL (1981) e SOUZA (1995) estabelecem quatro (4) domínios morfológicos bem diferenciados para a área de estudo, sendo eles: Planície Litorânea, Glacis Pré-Litorâneos, Depressão Sertaneja e Maciços Residuais, cujos limites são estabelecidos com base na homogeneidade das formas de relevo, posicionamento altimétrico, tipos litológicos e atividade tectônica, associados, ainda, às características de solo e vegetação.

A *Planície Litorânea* (SOUZA, op. cit.) inclui os campos de dunas, as praias e as planícies flúvio-marinhas que acompanham os contornos da linha de costa, indo da foz do riacho Caponga Funda até o rio Cauipe que representam, respectivamente, os extremos leste e oeste da área. O litoral possui um conjunto de feições morfológicas desenvolvidas pelos mais diversos fatores, que se traduzem no avançado estágio de regularização alcançado.

Em termos altimétricos, o relevo das dunas é bem marcado na paisagem, contrastando com as feições morfológicas dos tabuleiros pré-litorâneos, até mesmo porque, via de regra, são desenvolvidas sobre as áreas dos tabuleiros.

O campo de dunas é responsável pela dificuldade encontrada por inúmeros cursos de água em seus caminhos para o mar. Os rios e riachos tendem a apresentar canais anastomóticos, paralelos à linha de costa, ou têm, muitas vezes, a embocadura obstruída, originando a formação de lagoas interdunares (Ex.: Lagamar, Lagoa Encantada, etc).

Existem inúmeras lagoas que dependem diretamente das águas subterrâneas e isto pode ser visualizado no contexto sedimentar mapeado, onde percebe-se que em determinadas áreas não existe rede de drenagem superficial associada as lagoas e, conseqüentemente, a recarga se deve ao fluxo subterrâneo. Como exemplo cita-se as lagoas interdunares dos municípios de Fortaleza, Caucaia e Aquiraz, que modificam a paisagem hidro-ambiental, servindo tanto ao abastecimento pontual quanto ao lazer.

A continuidade dos cordões de dunas pode ser interrompida pela presença das planícies fluviais e flúvio-marinhas, ou ainda, pela penetração até o mar dos sedimentos mais antigos da Formação Barreiras. As irregularidades da linha de costa são oriundas da presença de litotipos mais resistentes (quartzitos e cangas lateríticas) que se projetam de quando em quando para o mar, rompendo a retilineidade da costa, a exemplo dos promontórios das praias de Iguape (quartzitos) e do Mucuripe (canga laterítica), que funcionam como camadas protetoras contra os efeitos da abrasão marinha.

As praias são contínuas, abrangendo toda a extensão da costa, desde a linha de maré baixa até a base das dunas móveis. Os *beach rocks*, ou arenitos de praia, são formações que ocorrem em diversos trechos da costa, constituindo corpos alongados que normalmente afloram em dois sub-ambientes praias: na zona de estirâncio e na zona de arrebentação.

Caracterizadas pela ação conjunta de processos continentais e marinhos, as planícies flúvio-marinhas são ambientes criados pela deposição de sedimentos, predominantemente argilosos e ricos em matéria orgânica, onde se desenvolve a vegetação de mangue.

São formadas em áreas onde se processa a mistura de água doce dos rios e lagoas, com a água salgada que penetra no continente através das marés, proporcionando a deposição de material escuro e lamacento que aumenta a cada período de maré cheia, até gerar um ambiente favorável à instalação dos manguezais, a exemplo dos manguezais dos rios Cocó, Ceará e Pacoti.

Constituídos por sedimentos plio-pleistocênicos pertencentes a Formação Barreiras, os *Glacis Pré-Litorâneos* compreendem *glacis* de deposição que ocorrem de modo gradativo do interior para o litoral, quase sempre com altitudes inferiores a 100 metros e espessura média da ordem de 25 metros. É moderadamente sulcado pelas drenagens, resultando no surgimento das feições tabuliformes que marcam as paisagens pré-litorâneas, onde as áreas interfluviais têm, quase sempre, os topos horizontais e raramente convexizados.

As planícies fluviais constituem as áreas que abrigam as melhores condições de solo e de disponibilidade hídrica e, portanto, zonas de diferenciação geo-ambiental no contexto dos sertões semi-áridos. No âmbito da superfície sertaneja (terrenos cristalinos), os

cursos de água propiciam a formação de depósitos aluvionares estreitos, enquanto sobre a zona pré-litorânea são mais expressivos à medida em que entalham os sedimentos da Formação Barreiras. Na área de estudo, destacam-se as planícies fluviais dos rios Pacoti, Ceará, Cocó e Cauipe, com espessuras predominando entre 3 – 5 metros.

O domínio da *Depressão Sertaneja* é predominante e BRANDÃO et al (op. cit.) mostram que esta unidade corresponde a uma superfície de aplainamento desenvolvida sobre rochas cristalinas, onde o trabalho erosivo truncou indistintamente variados tipos litológicos.

O relevo é representado por extensas rampas pedimentadas que se iniciam na base dos maciços residuais e se inclinam suavemente em direção aos fundos de vales e ao litoral. Verifica-se a predominância de uma topografia plana ou levemente ondulada, cartografada como superfície pediplanada. Em áreas onde a dissecação é mais evidente, interflúvios de feições convexas são isolados, formando-se os relevos colinosos.

Os *Maciços Residuais* compreendem as serras cristalinas que apresentam extensões variadas e altitudes que oscilam de 400 a 700 metros. A presença dessas formas quebra a monotonia das superfícies rebaixadas do sertão.

Os maciços de Aratanha/Pacatuba e Maranguape são os principais na RMF e constituem verdadeiras “ilhas” de umidade no contexto local. As direções predominantes são NE-NW, refletindo a estruturação geológica regional.

As principais características desta unidade geomorfológica são:

- Compostas por rochas cristalinas (metamórficas e ígneas intrusivas);
- Possuem relevos extensivamente dissecados em formas de cristas com topos aguçados e colinas de topos convexas;
- A drenagem é densa, dendrítica a sub-dendrítica;
- Possuem condições favoráveis a agricultura, mas por limitação de ordem morfodinâmica oferecem problemas de natureza conservacionista.

A rede de drenagem possui grande poder de incisão, gerando conseqüentemente, a predominância de vales em forma de “V”, cujas características são inteiramente diferentes daquelas observadas nos vales dos aplainamentos sertanejos.

3.3. Classes de Solos

Em virtude dos trabalhos pesquisados terem sido desenvolvidos a nível de reconhecimento regional, nas escalas 1:1.000.000 (BRASIL, 1981) e 1:800.000 (CEARÁ, 1989), as descrições pedogenéticas serão apresentadas em forma de associações de solos de acordo com a compartimentação morfo-pedológica.

A Associação de Solos da Planície Litorânea compreende as areias quartzosas distróficas e os solos halomórficos. As primeiras ocupam a planície litorânea constituindo uma estreita faixa, em torno de 500 metros, distribuída irregularmente ao longo da linha de costa. Possuem uma fertilidade muito baixa, são profundos e excessivamente drenados, expostos permanentemente a ação eólica e com baixos teores de umidade e, portanto, limitados ao uso agrícola.

Os solos halomórficos compreendem os solonetz solodizados, solonchak sódicos e solos indiscriminados de mangue. Ocorrem nas zonas pré-litorânea e litorânea, especialmente ao longo dos cursos e desembocaduras dos rios. Em comum, todos apresentam elevadas concentrações salinas, tornando-os bastante limitados ao uso agrícola. O caráter salino pode influenciar na qualidade das águas subterrâneas em relação a concentração de cloretos (SANTOS et al, 1984).

A Associação de Solos dos Tabuleiros compreende as areias quartzosas distróficas e os podzólicos vermelho-amarelo distróficos. As primeiras distribuem-se na faixa litorânea e pré-litorânea, com maior área de incidência no município de Aquiraz. Por vezes estão associadas as areias marinhas e podzólicos vermelho-amarelos, ambos distróficos, tendo seu desenvolvimento oriundo do retrabalhamento dos sedimentos da Formação Barreiras (COLARES, 1996).

São solos profundos a muito profundos, com seqüência de horizontes A-C, excessivamente drenados, fortemente ácidos, com baixos teores de argilas (menos de 15%) e coloração variando de vermelha até branca, sendo freqüente as tonalidades amareladas.

Os podzólicos vermelho-amarelo distróficos ocorrem predominantemente na zona pré-litorânea, em relevo plano a suavemente ondulado no domínio dos sedimentos da Formação Barreiras. No extremo sul da área, observa-se manchas desses solos ocupando terrenos de constituição granítica, com relevo ondulado.

São profundos ou medianamente profundos, geralmente bem drenados (exceto os de caráter plântico, que são de moderado a imperfeitamente drenados), ácidos, porosos e de textura variando de média a argilosa. A coloração é muito variada, indo desde tonalidades vermelho-amareladas até bruno-acinzentadas. Dentro desta unidade, destacam-se os tipos abrupticos, plântico, cascalhento, concrecionário e níveis pedregosos.

A Associação de Solos da Depressão Sertaneja engloba os planossolos solódicos, os bruno não cálcicos, os vertissolos e solos aluviais (COLARES, op. cit.)

Os planossolos solódicos ocupam extensas áreas, sendo originados das rochas dos Complexos Gnáissico-Migmatítico e Granítico e relacionados as drenagens que entalham o relevo da superfície pediplanada. São relativamente rasos e de baixa permeabilidade, sofrendo encharcamento durante os períodos chuvosos e fendilhamento nas épocas secas. As cores dominantes variam de bruno-claro-acinzentado a bruno-escuro, mostrando também cores de redução devido à drenagem imperfeita.

Os brunos não cálcicos ocupam pequenas áreas de relevo plano a suavemente ondulado no domínio da depressão sertaneja, onde predominam rochas gnáissico-migmatíticas. São rasos, ou pouco profundos, moderadamente drenados, ácidos a praticamente neutros e com grande quantidade de minerais primários. Caracterizam-se, também, pela freqüente presença de pavimentos detriticos em sua superfície (BRANDÃO et al, 1995; COLARES, 1996; RIBEIRO et al, 1997).

Os vertissolos possuem ocorrência restrita na área, ocupando terrenos gnáissico-migmatíticos com relevo plano a suavemente ondulado. São solos não hidromórficos,

argilosos a muito argilosos, com elevado teor de argilas do grupo da montmorilonita, o que provoca expansões quando molhados e contrações quando secos.

Os solos aluviais são originados da sedimentação fluvial recente, distribuindo-se ao longo das planícies dos principais rios. São medianamente profundos a muito profundos, de texturas variadas, moderada a imperfeitamente drenados e com pH entre moderadamente ácido a levemente alcalino. As camadas subjacentes exibem textura variável de arenosa a siltosa e cores brunadas, sendo mosqueadas nos solos argilosos de drenagem imperfeita.

A Associação de Solos dos Maciços Residuais é constituída pelos podzólicos vermelho-amarelo eutróficos e solos litólicos eutróficos. Os podzólicos distribuem-se em grande parte da área, ocupando terrenos de relevo plano até montanhoso (maciços residuais) e são originados de materiais diversos.

Os litólicos eutróficos ocorrem nas áreas dissecadas, ocupando posição de encostas em relevos que variam desde suavemente ondulados até montanhosos, ou mesmo ocasionalmente escarpados, podendo ocupar, também, áreas de relevo praticamente plano.

São rasos a muito rasos, não hidromórficos, pouco desenvolvidos, bem drenados, com pedregosidade e rochosidade na superfície. Possuem grande quantidade de minerais primários, textura variando desde a arenosa até siltosa e são moderadamente ácidos a praticamente neutros.

3.4. Vegetação

Segundo FIGUEIREDO (1995), a cobertura vegetal da RMF pode ser dividida em sete (7) tipos: Complexo Vegetacional da Zona Litorânea; Floresta Subperenifolia Tropical Plúvio-Nebular (Matas Úmidas); Floresta Subcaducifolia Tropical Pluvial (Matas Secas); Floresta Caducifolia Espinhosa (Caatinga Arbórea), Caatinga Arbustiva Densa; Floresta Perenifolia Paludosa Marítima (Mangue) e Floresta Mista Dicótilo-Palmácea (Mata Ciliar de carnaúba, mulungu, etc.).

O Complexo Vegetacional da Zona Litorânea engloba uma vegetação pioneira localizada na planície litorânea e inúmeras vezes nas dunas, tendo um papel fixador e sendo representada predominantemente por Salsa (*Ipomea pes-caprae*), Oró (*Phaseolus ponderatus*), Bredinho-da-Praia (*Iresine portulacoides*) e Capim-Barba-de-Bode (*Sesuvium portulacastrum*).

A presença de água, aliada a excelente textura dos solos existentes e a proteção proporcionada pelas dunas à abrasão eólica, favorece o desenvolvimento de espécies variadas. Nestes ambientes, bem particulares e de equilíbrio ecológico extremamente frágil, desenvolve-se um tipo de vegetação florestal à retaguarda dos cordões de dunas e paralelo a linha de costa e de forma contínua.

Floristicamente, entre outras, encontram-se espécies vegetais que ocorrem nas serras úmidas, secas e na caatinga arbórea, tais como João-Mole (*Pisonia tomentosa*), Jucá (*Caesalpinia ferrea*), Juazeiro (*Zizphus joazeiro*), Pau-d'Arco Roxo (*Tabebuia avellanedae*), Quina-Quina (*Couertia hexandra*) e Tatajuba (*Chloroflora tinctoria*).

Na Vegetação dos Tabuleiros Litorâneos são identificados três tipos vegetacionais: a Mata de Tabuleiros, o Cerrado e a Caatinga. A primeira encerra espécies das matas, serras, da caatinga e espécies próprias, tais como Imbaúba (*Cecropia sp*), Timbaúba (*Enterolobium contortisiliquum*), Jucá (*Caesalpinia ferrea*), Pau-Sangue (*Pterocarpus violaceus*) e Amargoso (*Vatara macrocarpa*).

O Cerrado ocorre em manchas alternadas com os demais tipos de vegetação sobre o tabuleiro. Apresenta fisionomia típica daquelas do Brasil central, no entanto, seu porte é sensivelmente menor. As manchas de cerrado dos tabuleiros podem ser identificadas no trecho Aquiraz-Cascavel e Iparana (Caucaia), tendo como principais espécies vegetais a Lixeira ou Sambaíba (*Curatella americana*), o Pau-Terra (*Quaia parviflora*), o Carrapicho-de-Cavalo (*Krameria tomentosa*), a Craibeira (*Tabebuia caraiba*) e o Barbatimão (*Stryphnodendron coriaceum*) (COLARES, 1996).

A Caatinga é encontrada sobre os tabuleiros em substituição as áreas de matas depois de sucessivos desmatamentos e entre as espécies presentes estão a Jurema (*Mimosa*), a

Catingueira (*Caesalpinia*), o Camará (*Lantana camara*) e a Imbura-Vermelha (*Bursera laptophlocos*).

A Zona da Mata Plúvio-Nebular localiza-se sobre os setores mais elevados das serras cristalinas e nas vertentes superiores. A altitude e a exposição aos ventos úmidos litorâneos são os principais determinantes da ocorrência desta floresta, considerando-se, ainda, a importância da água subterrânea, cuja ressurgência nas encostas contribui para a permanência da vegetação florestal.

Apresenta árvores de caules retilíneos, espessos, cobertos, muitas vezes, com líquens, orquídeas, samambaias e bromeliáceas, podendo alcançarem alturas de 30 metros. As espécies encontradas são o Taturubá (*Lucuna grandiflora*), o Jatobá (*Hymenaea courbaril*), a Maçaranduba (*Manikara rufula*), o Potumuju (*Centrolobium robustum*) e o Murici (*Byrsonima cericea*).

A Zona de Matas Secas ocupa níveis inferiores dos relevos cristalinos, à retaguarda da Plúvio-Nebular (Matas Úmidas). Recobre, ainda, relevos cristalinos mais baixos chamados localmente de serrotes e as vertentes de níveis tabulares, menos favorecidas pelas chuvas. Encontram-se indivíduos da mata úmida e da caatinga arbórea, tais como o Angico (*Anadenanthera macrocarpa*), a Aroeira (*Astronium urundeuva*), o Gonçalo Alves (*Astronium fraxinifolium*), o Mulungu (*Erythrina velutina*), a Sipaúba (*Thiloua glaucocarpa*) e o Catolé (*Syagrus comosa*).

Caatinga é um termo de origem indígena, já consagrado na literatura e no meio popular, para designar a vegetação xerófita que ocorre no domínio semi-árido. Apresenta-se com várias fisionomias: caatinga com árvores altas, chegando até a 20 metros de altura, caules retilíneos e um sub-bosque constituído por árvores menores, arbustos e sub-arbustos efêmeros, representada principalmente pela Baraúna (*Schinopsis brasiliensis*) e Aroeira (*Astronium urundeuva*).

A Caatinga Arbórea Aberta é representada por indivíduos altaneiros, isolados, de copas largas, com a mesma altura das árvores da comunidade anterior, formando uma vegetação aberta interagindo com amplos espaços de solos descobertos ou apenas com plantas

herbáceas. É representada predominantemente pelo Angico-Vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*) e pela Aroeira (*Astronium urundeuva*).

A degradação da caatinga arbórea, em função da atividade humana e favorecida pelos períodos críticos de semi-aridez acentuada, determina o aparecimento da caatinga arbustiva. As espécies sobrevivem em ambientes degradados e são caracterizadas por um porte mais baixo, caules retorcidos e esbranquiçados.

As caatingas, com suas diversidades fisionômicas e seleção de flora, formam diferentes tipos referenciados por vários nomes populares. As espécies mais frequentes são a Jurema (*Mimosa hostile*), a Catingueira (*Caesalpinia bracteosa*), o Sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*), o Marmeleiro-Preto (*Croton sonderianus*) e o Mandacaru (*Cereus jamacaru*).

No ambiente de mangue, existente nos baixos cursos dos rios, estabelecem-se as espécies arbóreas do mangue vermelho (*Rhizophora mangle*), Siriúba (*Avicennia nítida* e *Avicennia tomentosa*) e do mangue branco (*Laguncularia racemosa* e *Canocarpus erectus*), (Foto 01 e 02).

BRANDÃO et al (op. cit.) ressaltam que na área as planícies fluviais apresentam boas condições hídricas e solos férteis, favorecendo a instalação de uma cobertura vegetal, cuja fisionomia de mata galeria ou ciliar, dominada por carnaubais, contrasta com a vegetação caducifólia e de baixo porte dos interflúvios sertanejos. A principal espécie que habita esses ecossistemas é a Carnaúba (*Copernicia cerifera*), que normalmente ocorre associada ao Mulungu (*Erythrina velutina*), Juazeiro (*Zizyphus joazeiro*), Oiticica (*Licania rigida*) e Ingá-Bravo (*Lonchocarpus sericeus*), além de espécies arbustivas e trepadeiras. Destacam-se, dentre outras, as florestas ribeirinhas das planícies dos rios Pacoti, Ceará, Cocó e Cauípe.

Foto 01 – Vegetação de mangue do rio Ceará – Caucaia

Foto 02 – Vegetação da planície flúvio-marinha – Caucaia

4. COMPONENTES DO SISTEMA DE RECURSOS HÍDRICOS

4. COMPONENTES DO SISTEMA DE RECURSOS HÍDRICOS

Sob uma visão integrada, os recursos hídricos encontram-se intrinsicamente associados no ciclo hidrológico, no qual a água constitui o principal vetor. Compreende os aspectos climáticos, abrangendo os fatores naturais que influenciam na recarga dos mananciais e evapotranspiração da água, os recursos hídricos superficiais (rede de drenagem, lagoas e açudes) e subterrâneos (aqüíferos). Estes, de maneira direta e a mercê das condições naturais, proporcionam a água a ser captada pelo homem através das diferentes técnicas.

Este item abordará os aspectos climáticos e os recursos hídricos superficiais representados pela rede de drenagem e lagoas existentes na Região Metropolitana de Fortaleza - RMF. Os dados pertinentes a açudes e unidades aqüíferas serão expostos nos itens 4.3. (Águas Subterrâneas) e 4.6.1. (Águas Superficiais).

4.1. Condições Climáticas

A circulação atmosférica se constitui em dos fatores mais importante na diferenciação climática do globo terrestre. Segundo NIMER (1978), ela engloba os centros de pressão, as frentes, os ciclones, os anticlones móveis e outros fenômenos dinâmicos responsáveis pelas massas de ar.

No Brasil, a circulação é regida pelas massas provenientes do centro de alta pressão do Atlântico Sul (Equatorial Atlântica e Tropical Atlântica), oriundas do centro de pressão dos Açores (Tropical Continental) e das provenientes da região polar do continente Antártico (Massas Polares).

No Nordeste, a circulação atmosférica gira em torno de quatro sistemas meteorológicos: os Alísios, a Convergência Intertropical, o Equatorial Amazônico e a Frente Polar Atlântica.

Os Alísios são mais atuantes na Região Nordeste e propiciam tendência para aridez, pois condicionam os estados de *tempos bons*. São oriundos da zona subtropical de alta

pressão sobre o Atlântico Sul, que origina os ventos predominantes do leste que sopram continuamente no litoral.

A Zona de Convergência Intertropical é o principal sistema sinótico responsável pelo estabelecimento da quadra chuvosa. Em seus constantes deslocamentos nos dois hemisférios, atua nos estados nordestinos provocando chuvas de verão-outono e, por vezes, expandindo-se até o inverno. Caracteriza-se por fortes chuvas acompanhadas por trovoadas, estendendo-se do litoral para o interior (COLARES, 1996).

O sistema composto pela massa Tropical Continental é responsável pelas chuvas de verão em todo o litoral nordestino. Constitui uma massa quente e úmida que atua após o recuo da massa Polar Atlântica, avançando continente adentro e provocando chuvas, resultantes da condensação provocada pelo contato com a massa fria. As precipitações de outono-inverno são oriundas da Frente Polar Atlântica.

Esses fatores combinados com os geográficos (latitude, orientação do litoral em relação à corrente dos alísios, as baixas altitudes, o relevo, a orientação das serras, a continentalidade e o posicionamento do território em relação ao hemisfério sul) caracteriza as condições climáticas vigentes, expressadas por elevadas temperaturas, baixas amplitudes térmicas, baixos índices de nebulosidade, forte insolação, elevadas taxas de evaporação e marcante irregularidade das chuvas no tempo e no espaço.

Os registros climatológicos apresentados a seguir foram obtidos da estação meteorológica de Fortaleza, atuante há mais de quatro (4) décadas, e estão armazenados nos arquivos da FUNCEME. O período utilizado de observações – 1974 a 1993 – reflete a realidade das condições climáticas da RMF.

O regime pluviométrico caracteriza-se pela irregularidade das chuvas no tempo e no espaço, que ocorrem, via de regra, concentradas em um curto período de tempo (fevereiro a maio) verificando-se dois períodos bem distintos: um chuvoso e outro de estiagem, ou seco, sendo este último bastante prolongado, estendo-se de junho a janeiro (Figura 03a). O outro aspecto reside na distribuição espacial, onde ocorre irregularidade de chuvas, não só de um ano para o outro em diferentes regiões, mas também no mesmo ano e em uma mesma região.

Esta irregularidade pluviométrica, associada a elevada taxa de evaporação, é responsável pelos períodos de estiagens que leva a redução dos volumes armazenados nos açudes e diminuição da taxa de distribuição de água à população.

A pluviometria oscila de poucos mm/mês até cerca de 370 mm/mês (Figura 03a), com as maiores precipitações observadas no litoral e nas áreas serranas (serras de Pacatuba e Maranguape, a 25 km de Fortaleza), em virtude das influências dos Alísios e do relevo.

Na RMF são individualizadas três zonas bem distintas, notadamente a partir do regime pluviométrico:

- Zona com índice pluviométrico entre 1.200 a 1.400 mm/ano, nas zonas litorâneas. Abrange partes dos municípios de Fortaleza, Caucaia, Aquiraz e Eusébio.

- Microclimas em áreas de altitudes elevadas (serras de Maranguape e Aratanha/Pacatuba), onde a incidência de chuvas orográficas determina um aumento significativo da pluviometria média anual (1.400 a 1.600 mm/ano). Ocorre em áreas específicas de Caucaia, Maranguape, Pacatuba e Guaiúba.

- Zona com menor precipitação pluviométrica (900 a 1.200 mm/ano), na porção ocidental, percebida nos municípios de Caucaia, Maranguape, Pacatuba, Guaiúba, Itaitinga e Eusébio.

Os meses mais secos correspondem ao período de agosto a dezembro conforme pode ser visualizado na figura 03.a, com precipitações inferiores a 50 mm/mês. A presença de chuvas excessivas, em curto espaço de tempo, ocasionam as enchentes e sérios problemas para as áreas ribeirinhas, principalmente na Grande Fortaleza, em que as populações extremamente carentes ocupam as áreas de várzeas, consideradas como de alto risco.

O regime térmico caracteriza-se pelas elevadas temperaturas e baixas amplitudes térmicas anuais (5°C), modificado por fatores de topografia, altitude, proximidade do mar e dinâmica atmosférica. Assim sendo, as variações térmicas provocadas pelas diferentes combinações desses fatores possibilitam a identificação e delimitação de três regiões distintas:

litoral, serra e sertão, as quais apresentam as seguintes características térmicas (COLARES, op. cit.):

- Nas zonas litorâneas as temperaturas são amenizadas pela corrente dos alísios, registrando-se médias anuais de $26,5 \pm 0,5$ °C e amplitudes térmicas sempre inferiores a 5 °C. A média das máximas fica em torno de 31,5 °C e a das mínimas em 22°C, enquanto a média absoluta é de 26,5 °C. (Figura 03b).

- Nas regiões serranas a temperatura média anual é mais amena, decaindo para 25°C e atingindo valores abaixo de 22°C, com valores em torno de 15°C a 18°C no período mais frio, notadamente entre fevereiro e agosto.

- O sertão, devido as baixas altitudes (< 400 m), a elevada evaporação que alcança 180 mm/mês(Figura 03c) e os baixos valores de umidade relativa do ar com predomínio abaixo de 83% (Figura 03d), apresenta os valores mais elevados de temperatura, com médias anuais oscilando entre 25°C e 28°C e amplitude térmica inferior a 5°C. As temperaturas médias diurnas são muito elevadas, com máximas de 33°C e mínimas em torno de 23°C.

Em função dos diferentes fatores envolvidos na definição dos aspectos climáticos, o dimensionamento do balanço hídrico é importante, haja vista a necessidade da integração desses fatores para se ter resposta sobre armazenamento de água no subsolo.

BEZERRA (1995) ressalta que na zona litorânea a evapotranspiração potencial ocorre com índices anuais sempre superiores a 1.500 mm, enquanto que a evapotranspiração real possui valores médios anuais inferiores a 1.000 mm, sendo os maiores índices mensais verificados no período entre fevereiro a junho, quando assume valores similares aos da evapotranspiração potencial, coincidindo com o período de armazenamento de água no solo. Nesta zona, a deficiência hídrica tem início no mês de julho, prolongando-se até janeiro, com índice de 611 mm/ano. Entre os meses de março e maio, observam-se excedente hídricos inferiores a 400 mm.

Desta forma, estes índices revelam um clima sub-úmido seco para estas áreas.

Segundo RIBEIRO & GONÇALVES (1981) (in BRANDÃO et al, 1995), e BEZERRA (1989), quando a razão Precipitação (P)/Evapotranspiração Potencial (EP) é maior que um (1), significa que existe um potencial hídrico disponível às plantas, ao escoamento superficial e à recarga dos aquíferos. Esses valores são encontrados no litoral da R.M.F. e nas serras de Maranguape e Pacatuba (maciços orográficos), enquanto que valores menores que um (1) são frequentes no sertão, principalmente a sotavento das citadas elevações. Os maiores índices de excesso hídrico ocorrem nas serras citadas e no litoral, enquanto os menores estão localizados a sotavento dos maciços orográficos.

Obviamente, o período de maior excedente hídrico coincide com a estação chuvosa e a deficiência hídrica acentua-se nos meses de estiagem, ou seja, no segundo semestre, com ênfase entre setembro a novembro (Figura 03e).

A área, de modo geral, possui baixos índices de nebulosidade, com ventos alísios que sopram do quadrante leste, forte insolação e altas taxas de evaporação. A exposição média da região ao sol, situa-se entre 2.650 a 3.000 h/ano (Figura 03f). No decorrer do ano a incidência de luz solar atinge os menores valores - em torno de 6 h/dia, nos meses de maior pluviosidade, enquanto que no auge da estiagem situa-se na faixa de 9 a 10 h/dia.

As condições climáticas da região favorecem o fenômeno da evaporação, o qual provoca perdas hídricas consideráveis, mormente aos volumes acumulados em superfícies livres, chegando, em períodos extremamente críticos, a perdas de mais de 90% do volume acumulado.

Como este processo está diretamente relacionado ao regime pluviométrico, o trimestre úmido (março a maio) é o de menor índice, correspondendo, em média, a 15% da evaporação anual. O período mais seco, compreendido entre setembro e novembro, concentra, normalmente, quase um terço do total.

Na zona litorânea, a taxa média de evaporação oscila em torno de 2.300 mm/ano, enquanto nas áreas mais interiores alcança valores de 2.800 mm/ano. Nos anos mais secos, os índices de evaporação são mais elevados, podendo superar 3.300 mm/ano.

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

Fonte: Brandão et al, 1995.

Figura 03 - Principais registros da estação meteorológica de Fortaleza no período de 1974 a 1993

4.2. Águas Superficiais

Na RMF são individualizadas as seguintes bacias hidrográficas: São Gonçalo, Cauípe, Juá, Ceará, Maranguape, Cocó, Pacoti, Catu e Caponga Funda .

Estas bacias não possuem grande expressão hidrológica, sendo caracterizadas por cursos fluviais de pequenos portes e intermitentes, sujeitos ao quadro climatológico. Apesar disto, assumem importância relevante à medida que permitem a construção de reservatórios que auxiliam no abastecimento d'água para as populações. Além dos inúmeros açudes construídos, também existem diversas lagoas que são utilizadas para fins semelhantes, além de servirem como pontos de lazer.

Dentre as bacias hidrográficas delimitadas, destacam-se a do rio Pacoti, onde foi construído o Sistema de Açudes Pacoti-Riachão, e a do rio Cocó, onde existe o barramento do Gavião. Os açudes são interligados por canais e túneis e abastecem grande parte da Região Metropolitana. Entre os rios destacam-se o Pacoti, Cauípe, Cocó, Ceará e Maranguapinho (Fotos 03 e 04).

O rio Pacoti nasce na vertente norte-oriental da serra de Baturité, ao sul da RMF, e delimita os municípios de Fortaleza e Aquiraz. Possui um curso de aproximadamente 130 km com direção sudoeste-nordeste, drenando predominantemente terrenos cristalinos e, secundariamente, terrenos sedimentares da Formação Barreiras, possibilitando a formação de amplas faixas aluvionares. Uma área total de 1.800 km² é drenada e seus contribuintes de maior porte são os riachos Baú e Água Verde, ambos afluentes pela margem esquerda.

O estuário do Pacoti, distando 20 km de Fortaleza, é bastante estudado pelo Laboratório de Ciências do Mar - LABOMAR, abordando temas associados a estudos hidrológico e sedimentológico (FREIRE et al, 1991a), salinidade (FREIRE et al, 1991b) e regime hidrodinâmico (FREIRE et al, 1991c).

Foto 03 – Lagamar do rio Cauípe – Caucaia

Foto 04 – Rio Pacoti – Porto das Dunas, Fortaleza

O rio Cocó drena uma área de 517 km², percorrendo parte dos municípios de Pacatuba, Fortaleza e Aquiraz, constituindo o principal curso d'água da área. Nasce na vertente oriental da serra de Pacatuba (Pacatuba) e deságua no Oceano Atlântico, depois de percorrer aproximadamente 50 km. É um rio intermitente em sua maior parte, tornando-se perene somente a 10 km da linha de costa, por influência do mar.

Na bacia do Cocó é mantido um manguezal com uma área de aproximadamente 375 ha, que vai da foz até aproximadamente 11 km à montante de seu percurso, constituindo o parque ecológico homônimo. Pela Resolução 020/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, este rio encontra-se na Classe 3, de sua nascente até sofrer influência do mar e, a partir daí até sua foz, na Classe 7.

O rio Ceará nasce da junção dos riachos Jandaíra e Bom Princípio, nas vertentes do serra de Maranguape (Maranguape), e percorre um curso de 60 km na direção nordeste. Drena uma área de aproximadamente 900 km², abrangendo parte dos municípios de Maranguape, Fortaleza e Caucaia, servindo de limite entre os dois últimos. É intermitente, perenizando-se somente a 5 km de sua foz, onde recebe influência direta do mar, e tem como principal afluente o rio Maranguapinho, à margem direita. Assim como o Cocó, é classificado nas Classes 3 e 7.

O Maranguapinho (também conhecido como Maranguape ou Siqueira) nasce na serra de Maranguape e percorre 34 km drenando vales situados entre as serras de Maranguape e Aratanha, com área total de 220 km². Enquadra-se na Classe 3, segundo os usos preponderantes, embora o monitoramento realizado pela SEMACE demonstre que os parâmetros químicos que norteiam esta classificação encontram-se com concentrações, para este rio, acima das estabelecidas pela resolução 020/86 do CONAMA.

Existem 309 lagoas mapeadas sobre bases plani-altimétricas 1:20.000 na RMF (AUMEF, 1984). A tabela 01 mostra que existe, no total, um espelho d'água de 2.105 ha (21 km²) e um volume armazenado de 16,4 hm³. Entre as bacias, convém ressaltar a de Guaribas, com quatro (04) lagoas, que não encontra-se delimitada em mapa por ter uma área mínima inserida na RMF, não mapeável à escala maior de trabalho.

Em relação ao número de lagoas por bacia hidrográfica, destacam-se as bacias do Cocó (79 lagoas) e a do Catu (68 lagoas), inseridas predominantemente em terrenos sedimentares, e a do Cauípe (51 lagoas) com uma incidência muito elevada de lagoas interdunares.

Tabela 01 - Lagoas da Região Metropolitana de Fortaleza

Bacia Hidrográfica	Nº de Lagoas	Espelho d'água (ha)	Volume Armazenado (m³) x 10³
Guaribas	04	15,6	83
Caponga Funda	07	68,1	555
Rio Maranguape	14	78,6	559
Rio S. Gonçalo	15	94,8	586
Rio Ceará	12	104,2	831
Rio Pacoti	31	218,3	1.501
Rio Juá	28	244,6	1.993
Cauípe	51	310,7	2.281
Rio Cocó	79	424,0	2.922
Rio Catu	68	546,1	5.148
TOTAL	309	2.105	16.459

Fonte: AUMEF, 1984

Os dados apresentados na tabela 01 demonstram que apesar do elevado número de lagoas existentes e da área ocupada, o volume hídrico armazenado é pequeno, representando, comparativamente, somente 2,4% do potencial máximo armazenado nos cinco (05) açudes responsáveis pelo abastecimento de água da RMF. Isto pode ser explicado em função das pequenas lâminas de água existentes nestes corpos que, no geral, são inferiores, em média, a dez (10) metros.

A área ocupada pelo espelho de água é significativa e algumas lagoas são consideravelmente grandes para o contexto (Tabela 02). As quatro (04) maiores são: Lagoa do Catu, em Aquiraz, com 198 ha (1,98 km²) e 2.565.576 m³; Lagoa do Encantado, no distrito de Jacaúna- Aquiraz, com 92 ha (0,92 km²) e 1.000.135 m³; Lagoa do Banana, no distrito de Guararu - Caucaia, com 90 ha (0,90 km²) e 973.480 m³, e a Lagoa do Poço, em Caucaia, com 88 ha (0,88 km²) e 946.960 m³. Estes corpos hídricos são utilizados para abastecimento complementar às populações municipais e como áreas de recreação e lazer.

Tabela 02 - Maiores lagoas da Região Metropolitana de Fortaleza

Bacia Hidrográfica	Lagoa	Distrito	Espelho d'Água (ha)	Volume Armazenado (m ³)
São Gonçalo	Umari	Sítios Novos	12,5	86.023
	do Papagaio	Sítios Novos	12,0	81.813
	do Esperto	Sítios Novos	12,0	81.813
Guaribas	Pedro Lopes	Catuana	5,0	27.895
	Morro da Cruz 1*	Catuana	5,0	27.895
	Banana	Guararu	90,0	973.480
Cauipe	Lagamar	Catuana	45,0	415.282
	do Damião	Guararu	12,0	81.813
	dos Porcos	Caucaia	27,0	221.655
Rio Ceará	Jaçanau	Macaranaú	21,0	162.754
	Capuã 2*	Caucaia	18,7	141.129
	Capuã	Caucaia	17,0	125.528
	do Poço	Caucaia	88,0	946.960
Rio Juá	Gererau	Caucaia	35,0	304.928
	Capuã *	Caucaia	17,0	125.528
Rio Maranguape	de Parangaba	Fortaleza	33,3	286.828
	de Maracanaú	Maracanaú	13,5	94.557
	Sapiranga	Fortaleza	72,0	739.978
	Acaracuzinho	Maracanaú	20,0	153.281
Rio Cocó	Messejana	Messejana	33,0	283.655
	Sítio S. José	Fortaleza	17,2	127.346
	Ancuri	Fortaleza	17,0	125.528
	Azul 2*	Aquiraz	35,0	304.928
	do Tapuio	Aquiraz	24,0	191.782
Rio Pacoti	da Mata	Aquiraz	22,0	172.331
	Mata Fresca	Aquiraz	18,0	134.664
	Mata Fresca	Guaiúba	18,0	134.664
	do Catu	Aquiraz	198,0	2.565.576
	Encantada	Jacaúna	92,0	1.000.135
Rio Catu	do Tapuio	Jacaúna	28,0	231.787
	Barro Preto 1*	Jacaúna	20,0	153.281
Caponga Funda	Caponga Funda	Jacaúna	45,9	425.513

Fonte: AUMEF, 1984 (* Notação utilizada para diferenciar lagoas homônimas em diferentes municípios)

Na faixa costeira, sobre a área de ocorrência das dunas/paleodunas, é onde ocorre a maior concentração de lagoas, em função da existência de um relevo ondulado característico do contexto, que favorece a convergência do fluxo hídrico subterrâneo, e um nível estático sub-aflorante a aflorante, oscilando sazonalmente.

Inúmeras vezes, essas lagoas secam completamente no período compreendido entre agosto e dezembro, quando ocorre o rebaixamento do nível d'água em função direta da evaporação. Retornam a condição de corpo hídrico superficial quando existe a recarga direta do aquífero pelas precipitações pluviométricas, favorecendo a subida do nível d'água subterrâneo.

4.3. Águas Subterrâneas

A Hidrogeologia abordará as características aquíferas, enfocando tipos de aquíferos, ocorrência, espessuras, recarga/descarga e propriedades hidrodinâmicas, cálculo de reservas e, posteriormente, a análise da qualidade das águas, classificação hidroquímica e uso.

4.3.1. Caracterização dos Sistemas Hidrogeológicos

Na RMF existem quatro (04) sistemas aquíferos, representados pelas dunas/paleodunas, Barreiras, aluviões e rochas do Embasamento Precambriano (Figura 04). As dunas/paleodunas constituem um sistema aquífero único, em função das características litológicas e hidrodinâmicas similares, impossibilitando uma nítida distinção a nível regional.

4.3.1.1 Rochas do Embasamento Precambriano

As rochas do embasamento Precambriano representam para a Hidrogeologia um contexto de pequena vocação para armazenamento e captação de água subterrânea, decorrente da ausência quase que total de porosidade e condutividade hidráulica primárias. É comum a utilização dos termos Sistema Cristalino, Meio Fissurado, Aquífero Fraturado ou Meio Fraturado para designar este contexto hidrogeológico.

Nos terrenos cristalinos, a porosidade primária pode ser considerada praticamente nula, ficando a infiltração, armazenamento e circulação das águas restritas as zonas de fraturas. Assim sendo, o enquadramento desses terrenos como aquíferos está na dependência da existência de estruturas rúpteis, abertas e interconectadas com área de recarga.

A porosidade e condutividade hidráulica no cristalino sem manto de alteração são secundárias, oriundas do fraturamento e denominadas de “porosidade e condutividade hidráulica secundárias”, ou “de fraturas”, possuindo valores extremamente pequenos quando comparados ao domínio sedimentar. A porosidade é normalmente inferior a 1% e a condutividade hidráulica é menor do que 10^{-5} m/s (CAVALCANTE, 1997).

Nestes terrenos, os “riachos-fendas” (drenagens congruentes as fraturas do embasamento) e “fendas mestras” (principais fraturas) (SIQUEIRA, 1963 in SIQUEIRA, 1967), juntamente com as aluviões associadas, são fundamentais para a alimentação subterrânea, constituindo importantes guias na prospecção de água subterrânea.

Na RMF, o embasamento cristalino domina espacialmente (67%) e é representado, predominantemente, por um complexo gnáissico-migmatítico e rochas graníticas. Com exceção dos municípios de Fortaleza, Aquiraz e Eusébio, todos os outros estão localizados, em sua maior extensão, sobre esta unidade litológica.

Este meio possui fraca vocação aquífera e as melhores áreas são condicionadas pela existência de zonas cisalhadas, com fraturas abertas e associadas, muitas vezes, a reservatórios superficiais d’água que constituem fontes de recarga. É comum se observar a associação do cristalino com áreas de planícies fluviais e flúvio-marinhas, e nessas regiões a existência de carnaubais é um forte indicativo da existência de águas subterrâneas salinas.

Os poços tubulares perfurados neste contexto possuem profundidades variáveis de 30 a 80 metros, predominando de 50 a 60 metros. O nível estático oscila, predominantemente, entre 0,7 e 15 metros (96,3%), com mínimo de 0,7 m, máximo de 47 m e média de 6,0 m (Tabela 03).

O rebaixamento do nível d’água nos poços do cristalino oscila predominantemente entre 5 e 35 metros (78,9%). A oscilação é decorrente das características técnicas do equipamento utilizado para o teste de vazão e do tempo de duração do mesmo.

Tabela 03 - Nível estático e rebaixamento do nível d'água - Sistema Cristalino/RMF

Nível Estático (m)		Rebaixamento (m)	
	Nº de dados	Intervalo	Nº de dados
$\geq 0,7 \leq 5$	52	$\geq 0,7 \leq 5$	3
$> 5 \leq 10$	54	$> 5 \leq 10$	16
$> 10 \leq 15$	22	$> 10 \leq 15$	21
$> 15 \leq 20$	3	$> 15 \leq 20$	15
$> 20 \leq 25$	-	$> 20 \leq 25$	12
$> 25 \leq 30$	1	$> 25 \leq 30$	26
$> 30 \leq 35$	-	$> 30 \leq 35$	15
$> 35 \leq 40$	-	$> 35 \leq 40$	5
$> 40 \leq 45$	-	$> 40 \leq 45$	6
$> 45 \leq 50$	1	$> 45 \leq 50$	9
-	-	$> 50 \leq 60$	5
TOTAL	133	-	133

As vazões predominantes são geralmente abaixo de $2 \text{ m}^3/\text{h}$ (48,9%), com máxima de $22,6 \text{ m}^3/\text{h}$ (Tabela 04) e a capacidade específica é normalmente inferior a $1,0 [(\text{m}^3/\text{h})/\text{m}]$. Existem poços no cristalino com perfis que mostram a existência de fraturas, apesar de serem secos, o que demonstra que é necessário a existência de fraturas abertas e interconectadas com zonas de recarga, comumente designada no meio técnico como “entradas d'água”.

Tabela 04 - Vazão dos poços no Sistema Cristalino/RMF

Vazão (m^3/h)					
Intervalo	Nº de dados	Intervalo	Nº de dados	Intervalo	Nº de dados
$\geq 0,2 \leq 2$	65	$> 8 \leq 10$	1	$> 16 \leq 18$	-
$> 2 \leq 4$	39	$> 10 \leq 12$	3	$> 18 \leq 20$	-
$> 4 \leq 6$	13	$> 12 \leq 14$	2	$> 20 \leq 25$	1
$> 6 \leq 8$	5	$> 14 \leq 16$	-		
TOTAL	122	-	6	-	1

A alimentação ocorre da contribuição pluviométrica, drenagens e espelhos d'água (lagoas e açudes) associados a fraturamentos, e das unidades aquíferas sobrepostas, a exemplo do Barreiras e aluviões. Os exutórios são representados por drenagens efluentes e pela evapotranspiração.

4.3.1.2. Sedimentos Terciários Barreiras

A Formação Barreiras ocupa 615 km² (17,6%) da RMF e possui espessuras normalmente inferiores a 60 metros, predominando de 40 a 50 metros. Apresenta expressiva variação litológica, representada por intercalações de níveis arenosos, silticos e siltico-argilosos que refletem diferentes condutividades hidráulicas, tanto vertical quanto horizontalmente (Foto 05). BIANCHI et al (1984) estimaram para a condutividade hidráulica um valor de $1,8 \times 10^{-6}$ m/s, refletindo mais as características de um aquítarde

O nível estático é predominantemente inferior a 15 metros (90,8%), com mínimo de 1,0 m, máximo de 35 m e média de 8,6 m (Tabela 05). Possui espessura média saturada de 15 metros e suas águas são captadas por poços com profundidades predominando entre 40 - 60 metros.

O rebaixamento do nível d'água ocorre de modo maior no intervalo entre 5 a 30 metros (74,8%), com mínimo de 1,2 m, máximo de 47 m e média de 14,7 metros (Tabela 05).

As vazões predominantes são inferiores a 2,0 m³/h (40,5%) porém, localmente podem apresentar vazões bem superiores, conforme mostra a tabela 06, com máxima de 17,6 m³/h e média de 2,8 m³/h. Existem poços secos (4%) neste contexto, em função dos níveis extremamente siltico-argilosos que ocorrem no sistema.

Localmente constitui um aquífero livre, com características regionais de semi-confinamento em função dos níveis silto-argilosos, tendo como fatores de recarga a precipitação pluviométrica, as drenagens influentes que percolam o contexto, as lagoas interdunares e o sistema dunas/paleodunas que funciona com dupla função (aquífero e unidade de transferência de água).

Foto 05 – Afloramento do Barreiras, recoberto por sedimentos eólicos
Porto das Dunas, Fortaleza

Tabela 05 - Nível estático e rebaixamento do nível d'água - Sistema Barreiras/RMF

Nível Estático (m)		Rebaixamento (m)	
Intervalo	Nº de dados	Intervalo	Nº de dados
$\geq 1 \leq 5$	98	$\geq 1 \leq 5$	34
$> 5 \leq 10$	155	$> 5 \leq 10$	41
$> 10 \leq 15$	84	$> 10 \leq 15$	70
$> 15 \leq 20$	25	$> 15 \leq 20$	62
$> 20 \leq 25$	4	$> 20 \leq 25$	61
$> 25 \leq 30$	2	$> 25 \leq 30$	43
$> 30 \leq 35$	3	$> 30 \leq 35$	25
$> 35 \leq 40$	-	$> 35 \leq 40$	19
$> 40 \leq 45$	-	$> 40 \leq 45$	9
$> 45 \leq 50$	-	$> 45 \leq 50$	3
-	-	$> 50 \leq 60$	4
TOTAL	371	-	371

Tabela 06 - Vazão dos poços no Sistema Barreiras/RMF

Vazão (m³/h)					
Intervalo	Nº de dados	Intervalo	Nº de dados	Intervalo	Nº de dados
$\geq 0,2 \leq 2$	152	$> 8 \leq 10$	2	$> 16 \leq 18$	2
$> 2 \leq 4$	108	$> 10 \leq 12$	2	Secos ($< 0,2$)	15
$> 4 \leq 6$	62	$> 12 \leq 14$	1		
$> 6 \leq 8$	30	$> 14 \leq 16$	1		
TOTAL	352	-	6	-	17

Como exutórios tem-se a rede de drenagem efluente, lagoas, evapotranspiração e, ainda, o meio cristalino sotoposto, desde que fraturado e com características que permitam a circulação e o armazenamento d'água.

A nível de RMF é possível afirmar que o Barreiras não possui uma vocação hidrogeológica que no geral permita sua exploração para atendimento de demandas hídricas acima de 5 m³/h/poço. Porém, em função de sua grande extensão espacial, particularmente no município de Fortaleza, representa um sistema importante para a captação de pequenas vazões para abastecimento humano, principalmente para residências e condomínios.

4.3.1.3. Dunas/Paleodunas Quaternárias

Ocupam uma área de 184,7 km² (5,3%), bordejando a orla costeira (71 km) da RMF, com largura média de 2,5 km, adentrando um pouco mais ao continente nos setores central - município de Fortaleza, e a leste - município de Aquiraz. Formam campos morfologicamente homogêneos, recortados ocasionalmente pela rede de drenagem e possibilitando a existência de lagoas interdunares.

O sistema dunas/paleodunas da RMF foi mapeado hidrogeologicamente pela primeira vez por BIANCHI et al (1984), que delimitaram nove (9) campos com áreas oscilando de 50 a 3.227 ha e altitudes variando de 10 a 60 metros. Neste trabalho foi ressaltada a necessidade da preservação destas áreas, em função da importância que estas representam para o abastecimento d'água e a conservação hidro-ambiental.

É composto por areias pouco consolidadas e extremamente homogêneas, finas a médias, com diâmetro efetivo predominando entre 0,15 a 0,25 mm e espessuras entre 10 - 25 metros. Ocasionalmente ocorrem intercalações de níveis siltico-argilosos a argilosos, oriundos da própria variação da energia de deposição dos clásticos, e a presença de intercalações de argilas orgânicas, de tonalidades escuras, a exemplo do que existe em Abreulândia e Cocó.

No geral, repousam sobre os sedimentos da Formação Barreiras ou sobre manchas aluvionares.

Indiscutivelmente constitui o melhor potencial hidrogeológico da área estudada, representando um aquífero livre, com espessuras saturadas oscilando de poucos a até 10 metros, nível estático normalmente sub-aflorante nas áreas de descarga, atingindo, em média, 06 metros.

Suas águas são captadas por poços tubulares rasos, com profundidades inferiores a 20 metros, perfurados normalmente em 10" e revestidos em 6" ou 4", que produzem vazão média de 6,0 m³/h podendo alcançar, localmente, até 15 m³/h.

Possui como característica básica uma dupla função hidrogeológica, refletida no funcionamento do sistema como aquífero principal e aquífero de transferência do potencial hídrico para unidades sotopostas, a exemplo do Barreiras.

Estudos hidrogeológicos nos campos de dunas da Abreulândia – Fortaleza, consistiram na prospecção e exploração de água potável para abastecimento público, demonstram uma elevada vocação aquífera para este sistema (PLANAT, 1978 e 1984).

As sondagens prospectivas realizadas em 2" (Figura 05) mostram para o meio uma espessura média de 11,0 metros, com espessura saturada oscilando de 4,3 a 9,3 metros. Ressalta-se que a prospecção foi realizada na zona de descarga, geralmente no sopé das dunas, explicando os valores de espessura média. Nas dunas de recarga, o fluxo subterrâneo não permite uma captação eficaz das águas (Foto 06).

Na Hidrogeologia, o sistema aquífero é representado pelo pacote litológico capaz de armazenar e permitir a exploração da água, e não unicamente pela espessura saturada, sendo esta uma condição de estado. No caso das dunas/paleodunas, o posicionamento do nível estático é função da sazonalidade climática, isto quer dizer que a espessura saturada mínima pode, posteriormente, atingir o máximo, ou vice-versa.

Em Abreulândia, dos 30 poços tubulares rasos construídos através do método de percussão e lavagem, perfurados com 10" e revestidos com tubos galvanizados e filtros Johnson de 4", 25 foram aproveitados (PLANAT, op. cit.) e suas características de profundidade, vazão, níveis estático e dinâmico, rebaixamento e capacidade específica são mostradas na tabela 07.

Foto 06 – Área da recarga das dunas, Abreulândia - Fortaleza

Figura 05 - Sondagens de reconhecimento - Captação da Abreulândia - Fortaleza - CE.

Fonte: CAGECE/PIAUAÍ, 1976.

Tabela 07 - Poços tubulares rasos nas dunas de Abreulândia, Fortaleza

Poço	Prof. (m)	Q (m ³ /h)	NE (m)	ND (m)	Rebaix. (m)	Cap.Esp. [(m ³ /h)/m]
01	16,8	13,0	4,1	5,7	1,6	8,12
02	15,0	10,8	3,2	6,8	3,6	3,00
03	13,6	10,8	3,8	4,7	0,9	12,00
04	11,6	13,0	3,1	4,7	1,6	8,12
05	10,9	10,8	3,5	5,0	1,5	7,20
06	11,5	8,1	3,1	4,6	1,5	5,40
07	11,4	9,3	5,4	6,2	0,8	11,62
08	12,2	7,2	4,4	5,5	1,1	6,54
09	11,1	8,1	4,2	5,4	1,2	6,75
10	12,6	9,3	3,3	4,9	1,6	5,81
11	12,1	8,1	3,5	4,8	1,3	6,23
12	12,2	5,9	4,1	5,0	0,9	6,55
13	10,0	13,0	3,3	4,5	1,2	10,83
14	11,1	9,3	4,6	6,1	1,5	6,20
15	9,4	8,1	2,9	4,4	1,5	5,40
16	9,9	13,0	4,2	5,3	1,1	11,81
17	12,0	13,0	4,4	5,3	0,9	14,44
18	10,0	8,1	3,6	5,0	1,4	5,78
19	10,5	8,1	3,6	5,4	1,8	4,50
20	11,4	8,1	4,0	4,9	0,9	9,00
21	10,4	8,1	4,3	5,9	1,6	5,06
22	10,3	10,8	4,1	6,5	2,4	4,50
23	11,4	6,5	4,7	5,8	1,1	5,90
24	11,3	6,5	4,7	5,9	1,2	5,41
25	11,4	7,2	5,1	6,2	1,1	6,54

Fonte: PLANAT, 1978

Legenda: Prof. - Profundidade NE - Nivel estático ND - Nivel dinâmico

Q - Vazão Rebaix. - Rebaixamento Cap. Esp. - Capacidade Específica

A figura 06 mostra o perfil construtivo e litológico de um poço tubular raso, que retrata o projeto de poços para o sistema dunas/paleodunas e onde observa-se a presença predominante de níveis arenosos com intercalações de níveis argilosos, reflexo da variação da energia eólica de deposição, comum praticamente a todos os campos de dunas no litoral cearense.

A profundidade média dos poços em Abreulândia é de 11,60 metros, com máxima e mínima de 16,80m e 9,40m, respectivamente, refletindo o topo da Formação Barreiras, silto-argilosa, considerada, localmente, como um aquítarde. As profundidades oscilando de 10,0 a 15,0 metros são representativas para os poços tubulares rasos construídos no contexto dunas/paleodunas da RMF.

Figura 06 - Perfil construtivo e litológico de poço tubular raso

A vazão média de $9,3 \text{ m}^3/\text{h}$, com máxima e mínima de $13,0$ e $5,9 \text{ m}^3/\text{h}$, respectivamente, reflete valores elevados para o campo de Abreulândia, comparativamente ao do Cocó (vazão média de $6,0 \text{ m}^3/\text{h}$) - município de Fortaleza, ou a outros campos dunares próximos a RMF, a exemplo de Pecém e Beberibe, ambos com vazão média de $2,4 \text{ m}^3/\text{h}$. Compatível, porém, com o valor médio encontrado para São Gonçalo do Amarante ($8,7 \text{ m}^3/\text{h}$), conforme mostra a tabela 09.

Os dados de nível estático oscilam de $2,9$ a $5,4$ metros, com média de $3,9$ metros, e refletem um posicionamento sub-aflorante, sobretudo considerando-se que os dados são relativos ao mês de dezembro, ou seja, praticamente seis (6) meses após o período invernos. No geral, logo após a estação de chuvas (março a junho), o nível d'água sobe devido a recarga, ficando a menos de $2,0$ metros de profundidade, ou mesmo aflorando, refletido pelo afloramento do nível d'água. (Foto 07).

O rebaixamento médio observado nos bombeamentos foi de $1,4$ metros, com valores máximo e mínimo de $3,6$ e $0,8$ metros, respectivamente, demonstrando a rápida recuperação do meio captado.

A capacidade específica pode ser definida como uma medida de eficiência da obra de captação, reflexo das características hidrogeológicas locais, do projeto técnico-construtivo do poço, das características do equipamento de teste e do tempo empregado no mesmo, sendo obtida da divisão de vazão pelo rebaixamento. O valor médio para a bateria de poços de Abreulândia é de $7,40 \text{ [(m}^3/\text{h)/m]}$, com valores oscilando entre $3,0$ e $14,4 \text{ [(m}^3/\text{h)/m]}$, elevados comparativamente aos outros campos de dunas.

Na tabela 08 são mostradas as características de espessura saturada, condutividade hidráulica e transmissividade para o sistema dunas em Abreulândia, com valores médios de $6,13\text{m}$, $7 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ e $9,77 \text{ m}^2/\text{h}$, respectivamente.

Foto 07 – Afloramento d'água no campo de dunas em Abreulândia, Fortaleza

Foto 08 – Piezômetros no campo de dunas em Abreulândia, Fortaleza

Tabela 08 - Características do aquífero dunas. Abreulândia, Fortaleza

Poço	Ho * (m)	K * (m/s) x 10 ⁻⁴	T ** (m ² /h)
01	7,7	6,59	4,52
02	9,3	2,58	---
03	8,7	9,67	3,81
04	7,3	6,52	---
05	6,9	5,68	---
06	7,3	5,60	23,47
07	5,1	13,60	17,82
08	7,0	7,12	---
09	6,9	3,94	7,45
10	7,8	6,01	---
11	5,6	6,99	5,40
12	5,4	5,51	4,93
13	5,3	1,31	11,73
14	4,9	7,69	12,52
15	5,0	6,73	11,52
16	4,7	1,38	12,49
17	6,5	1,19	9,83
18	4,9	7,29	6,55
19	5,4	5,66	7,13
20	6,8	7,03	14,62
21	4,3	6,44	---
22	5,2	5,90	---
23	5,2	5,12	6,41
24	5,0	5,20	5,90
25	4,9	6,16	---

Fonte: * PLANAT, 1978

** PLANAT, 1984

Legenda: ho - Espessura saturada K - Coeficiente de Condutividade hidráulica

T - Coeficiente de Transmissividade

O valor de condutividade hidráulica é muito alto para as areias finas das dunas de Abreulândia, cujos valores normais deveriam, no máximo, ser de $2,5 \times 10^{-4}$ m/s. Valores acima de $5,0 \times 10^{-4}$ m/s refletem a classe granulométrica de areias grosseiras a muito grosseiras. Provavelmente, os valores obtidos em Abreulândia tenham sido mascarados pela utilização de valores de espessura saturada ($h_o = 4,5$ m) inferiores aos valores reais encontrados nas sondagens de reconhecimento e poços tubulares ($h_o = 6,1$ m) (PLANAT, op. cit.).

As características hidrodinâmicas médias obtidas através de testes de aquíferos e de produção para diversos campos de dunas/paleodunas constam na tabela 09. Refletem

aspectos relacionados as variações litológicas, que denotam a maior ou menor presença de níveis siltico-argilosos e variação da espessura saturada (CAMPOS & MENEZES, 1982).

Tabela 09 - Valores médios do aquífero dunas - orla costeira do Ceará

Local	Município	Nº de Testes	Q (m³/h)	K (m/s) x 10 ⁻⁴	T (m²/h)	h _o (m)
Cocó	Fortaleza	135	6,0	2,50	6,98	7,7
Pecém	Pecém	22	2,4	1,40	3,88	7,7
S. Gonçalo	S. Gonçalo	09	8,7	1,00	4,32	12,0
Beberibe	Beberibe	62	2,4	0,73	2,37	9,0

Fonte: Campos & Menezes, 1982

Os dados referentes aos municípios de Pecém, São Gonçalo e Beberibe são correspondentes a campos de dunas limítrofes a Região Metropolitana de Fortaleza, situados numa distância máxima de 70 km da Grande Fortaleza.

Observa-se que os valores médios de condutividade hidráulica e transmissividade oscilam de 0,73 a 2,50 x 10⁻⁴ m/s e de 2,37 a 6,98 m²/h, respectivamente, aceitáveis como representativos para o sistema dunas/paleodunas. Sobre este existem poços captando de poucos a até 13 m³/h, refletindo capacidades específicas que oscilam de 0,02 a 23 [(m³/h)/m].

A figura 07 mostra o comportamento do fluxo das águas subterrâneas em Abreulândia, obtido de dados dos poços e piezômetros (Foto 08), similar ao que ocorre nos outros campos de dunas da RMF. Exemplifica a situação normalmente encontrada, em que as águas fluem em direção ao mar, porém sofrem alteração de percurso ao encontrarem o fluxo condicionado pela recarga de cordões de dunas mais próximas a linha de praia, formando-se, então, as lagoas interdunares. Em Abreulândia, a convergência de fluxo se processa entre as equipotenciais de 4,5 metros.

O fluxo das águas subterrâneas se processa para o mar onde são observadas fontes difusas ao longa da costa, lagoas interdunares e zonas aluvionares pertencentes as bacias dos rios Pacoti, Cocó e Ceará. Porém, as maiores perdas d'água do aquífero são por consequência da intensa evapotranspiração, associada a um nível estático sub-aflorante. A recarga é eminentemente pluviométrica, salvo exceções causadas por drenagens influentes.

BELTRÃO & MANOEL FILHO (1973) utilizam no estudo hidrogeológico na região de Fortaleza, um coeficiente de infiltração efetiva da ordem de 30%, ressaltando que parte do volume infiltrado se perde por evapotranspiração.

A prática de perfuração de poços tubulares rasos na orla costeira com método de jato d'água é restrito a poucas firmas de perfuração. A maioria opera com perfuração à trado manual/sonda de sopapo, sem unidade de bombeamento para rebaixamento do nível d'água. Os revestimentos são de PVC, recomendados para tubulação sanitária (esgotos), com ranhuramento feito à serra em todos os tubos colocados abaixo do nível freático (Fotos 09 e 10).

Como o sistema aquífero dunas/paleodunas é praticamente homogêneo e inconsolidado, com pequenas variações faciológicas representadas por lentes delgadas de material argiloso ou silto-argiloso, a ação percussiva do método trado/sonda de sopapo compacta localmente a unidade atravessada, modificando a região adjacente e, conseqüentemente, reduzindo os valores dos parâmetros físicos e hidrodinâmicos.

Assim, este método não permite o avanço da perfuração além de 3 a 4 metros abaixo do nível freático, não obtém o aproveitamento máximo da espessura saturada e ainda induz alterações das propriedades hidrogeológicas.

Não existe nenhum cadastro dos poços tubulares perfurados manualmente. Porém, em função das informações verbais de perfuradores que operam nesse meio, e do acompanhamento de poços tubulares rasos na área de estudo, estima-se que existam, em operação, de 1.500 a 2.000 poços na orla costeira da RMF.

Em função dos elevados coeficientes de condutividade hidráulica, transmissividade e porosidade efetiva, associados, ainda, a um nível estático extremamente raso, o sistema dunas/paleodunas é altamente susceptível a poluição, representando uma unidade extremamente vulnerável aos impactos antrópicos negativos resultantes do uso e ocupação do meio físico, com um fator efetivo de risco.

Foto 09 – Perfuração de poços tubulares rasos à trado/sondagem de sopapo. Fortaleza

Foto 10 – Material utilizado na perfuração manual de poços tubulares rasos

4.3.1.4. Aluviões Recentes

Os depósitos que bordejam as calhas da rede de drenagens são formados através da deposição fluvial e pelo fluxo hídrico laminar, que condicionado pelos pesados aguaceiros (chuvas torrenciais) carrega grande quantidade de detritos finos para as áreas marginais.

As planícies fluviais ocupam 280 km² (8%), nas quais os solos aluviais, hidromórficos e halomórficos constituem as classes dominantes, quase sempre recobertos pela mata galeria de carnaubais que constituem indicadores de água salgada.

As aluviões não são praticamente utilizadas para captação de água na RMF, salvo exceções em comunidades ribeirinhas que as utilizam através de cacimbas. Nos municípios de Fortaleza e Maracanaú, as águas subterrâneas das aluviões dos rios Cocó e Maranguapinho estão seriamente comprometidas pela poluição derivada de esgotos domésticos e industriais, não permitindo atualmente nenhum tipo de utilização.

Constituem aquíferos livres, com espessuras de poucos a até 15 metros e nível estático sub-aflorante (inferior a 2 metros), não existindo dados hidrodinâmicos no âmbito da RMF. São representados por sedimentos de granulometria muito fina, freqüentemente intercalados com níveis argilosos e orgânicos, derivados de uma ação erosiva sobre rochas sedimentares e migração de partículas das zonas de mangue.

Esta composição litológica permite que exista uma variação das características hidrodinâmicas, maior à medida em que ocorrer a alternância mais freqüente de clásticos.

A pequena declividade dos canais de drenagens e a proximidade à linha de costa, permite o avanço das marés até distâncias consideráveis (8 km) ao longo dos rios favorecendo, em algumas áreas, a formação de salinas e influenciando na qualidade das águas armazenadas nas unidades aluvionares.

BELTRÃO & MANOEL FILHO (1973) observaram este fato através da eletrorresistividade, ressaltando o caráter salino das águas nas manchas aluvionares do rio Cocó, próximo as dunas, entre 7 a 15 metros de profundidade.

BIANCHI *et al* (1984) observaram que, somente a montante da equipotencial de cinco (5) metros, é possível captar água subterrânea sem a presença de elevadas concentrações (> 300 mg/L) de cloretos.

A recarga provém da precipitação pluviométrica, dos rios influentes e das águas subterrâneas das dunas/paleodunas e Barreiras. Como exutórios tem-se a evapotranspiração e a própria drenagem, em épocas de verão. No inverno, é muito comum as faixas aluvionares serem cobertas por água dos rios, pelo extravasamento destes.

4.3.2. Reservas Hídricas Subterrâneas

Vários parâmetros influenciam no cálculo de reservas das águas subterrâneas, tais como precipitação pluviométrica, tipo de aquífero, características dimensionais e hidrodinâmicas do meio e qualidade da água.

O planejamento dos recursos hídricos (superficial e subterrâneo) deve considerar o uso integrado das reservas, recursos e disponibilidades de água, associados a qualidade hídrica, ocupação do meio físico, uso e proteção.

Assim, é recomendável que o planejamento de utilização dos sistemas aquíferos considere os potenciais de renovabilidade, a integração com o meio hidro-ambiental, a capacidade de regeneração das águas servidas que retornam ao manancial em apreço e, principalmente, o limite de intervenção humana que não deve ultrapassar o aceitável pelas condições inerentes ao meio local.

Na área em estudo, existem dois contextos litológicos distintos: o sedimentar, representado pelas dunas/paleodunas, aluviões e Barreiras, e o cristalino representado pelas rochas do embasamento Precambriano.

As rochas sedimentares possuem porosidade e condutividade hidráulica primárias, decorrentes da própria diagênese, facilitando o armazenamento e fluxo d'água. Nas rochas cristalinas, o armazenamento e fluxo ocorrem nas fraturas, interconectadas e abertas,

caracterizando um meio anisotrópico e heterogêneo, tornando o cálculo de reservas algo praticamente impossível.

Os volumes hídricos armazenados nos sistemas aquíferos representam as reservas e podem ser avaliadas segundo um ponto de vista natural ou utilitário (REBOUÇAS, 1997).

Tradicionalmente, estas reservas são classificadas como renováveis (dinâmicas ou reguladoras) e não renováveis (permanentes ou geológicas). Sob uma análise integrada, a classificação de reservas permanentes (não renováveis) não encontra respaldo, pois se sabe que a água subterrânea não está desconectada do ciclo hidrológico, participando efetivamente à medida em que existe recarga, extração e descarga.

O fluxo da água em sub-superfície se processa de modo lento. Os tempos de residência das águas nos aquíferos são da ordem de dezenas de anos e, em alguns casos, se atinge a escala de centenas e até de milhares de anos, o que permite dizer que a água subterrânea é um recurso mineral esgotável à escala da vida humana.

A idade das águas subterrâneas, parâmetro muitas vezes utilizado em discussões hidro-ambientais, possui um significado meramente cinemático, refletindo o nível de equilíbrio hidrodinâmico, em função do grau de interação entre as condições existentes nas zonas de recarga, transporte e descarga do meio considerado. Assim, a idade desta águas é uma condição de estado, não possuindo nenhuma relação com a importância das reservas, ou dos riscos de esgotabilidade ao serem submetidas a um processo de extração, desde que exista o planejamento e gestão integrada (REBOUÇAS, op. cit.).

4.3.2.1. Reservas Renováveis (Rr)

São representadas pelo volume hídrico armazenado entre os níveis de flutuação máximo e mínimo dos aquíferos livres. Participa do ciclo hidrológico numa escala de tempo anual, interanual ou sazonal estando, desta forma, em constante movimento.

Nos aquíferos rasos próximos a espelhos d'água, o bombeamento de poços tubulares poderá causar uma inversão hidráulica induzindo maiores e mais rápidas recargas ao sistema. Exemplo disto é observado no aquífero aluvionar do rio Llobregat/Espanha, cuja

reserva renovável de 10 milhões de m³/ano passou para aproximadamente 200 milhões de m³/ano em função da intensa exploração a que estava submetido (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1976).

Existem várias maneiras de se proceder o cálculo destas reservas, sendo as mais comuns:

1^o) cálculo da Vazão de Escoamento Natural (VEN), que sob condições de equilíbrio natural representa a recarga anual efetiva do aquífero, sendo expressa por:

$VEN = T i L$, onde T = transmissividade hidráulica ($L^2 T^{-1}$), i = gradiente hidráulico e L = comprimento da frente de escoamento (L).

Este método é recomendável e bastante empregado no dimensionamento das reservas das águas subterrâneas em campos localizados de dunas, com a utilização de mapa potenciométrico que permite o cálculo do gradiente hidráulico local, direção do fluxo subterrâneo e do comprimento da frente de escoamento. O valor da transmissividade é obtido de testes de bombeamento.

Foi utilizado na RMF pela PLANAT (op. cit.) para o dimensionamento da Vazão de Escoamento Natural nas áreas do Cocó (180 m³/h) e de Abreulândia (160 m³/h).

2^o) Hidrograma de escoamento superficial, com cálculos a partir das curvas de recessão, no trecho correspondente à restituição do excesso infiltrado no meio poroso. A restituição das reservas hídricas somente inicia-se quando toda a água superficial é escoada, ou seja, no período de estiagem (COSTA, 1997).

Não existem dados para a construção de hidrogramas de escoamento superficial para a rede de drenagem da RMF e, muito menos, dados sobre fluxo de base.

3^o) Método volumétrico, tendo-se por base a flutuação (Δh) dos níveis d'água nos aquíferos livres, sendo expressa por $Rr = A \cdot \Delta h \cdot \eta_e$, onde A = área de ocorrência do aquífero (L^2), Δh = variação do nível d'água (L) e η_e = porosidade efetiva (adimensional).

Este será o método utilizado na área em estudo. Porém, em função das condições existentes, o cálculo de reservas renováveis será efetuado somente para os sistemas dunas/paleodunas e Barreiras.

As manchas aluvionares encontram total restrição à captação de águas subterrâneas em virtude do altíssimo grau de poluição a que estão submetidas, e o cristalino em razão de possuir um comportamento heterogêneo e anisotrópico que impossibilita o cálculo de reservas renováveis.

• Sistema Dunas/Paleodunas

Considerando-se uma precipitação pluviométrica média de 1.300 mm/ano na área litorânea, o volume precipitado sobre as dunas/paleodunas (184, 7 km²) é de 240 milhões de m³/ano.

O valor médio de variação do nível d'água (Δh) encontrado por BELTRÃO & MANOEL FILHO (1973) para as dunas da área do Cocó é de 0,94 m/ano. As observações de campo realizadas a nível de poços tubulares rasos e cacimbas mostram que, no geral, a variação do nível d'água é de 1,0 a 2,0 metros no decorrer do ano, ficando na dependência maior das variações climáticas. Isto é diretamente visualizado em cacimbas e poços próximos a lagoas interdunares, cuja superfície oscila sazonalmente.

Para as dunas da região de Natal/RN, COSTA (1996) considerou uma oscilação de 2,0 m/ano, após observação de variação do nível d'água em piezômetros instalados para esta finalidade. Ressalta-se que as características litológicas dessas dunas são similares as da RMF.

Levando em consideração tais fatores, adotou-se para os cálculos um valor médio de variação do nível d'água (Δh) igual a 1,5m.

Em trabalhos anteriores, a porosidade efetiva (η_e) adotada para o sistema dunas/paleodunas foi de 15% - Natal/ (COSTA, 1997), 12% - Ceará (CAVALCANTE, 1992

in PERH, 1992), 12% - Ceará (SUDENE/ASMIC, 1967) e de 44% - Fortaleza (BELTRÃO & MANOEL FILHO, 1973).

FETTER (1980) mostra valores de porosidade efetiva para os clásticos, com as areias finas possuindo entre 10 a 28% (média de 21%) e as areias médias de 15 a 32% (média de 26%).

Em função das características observadas nas sondagens de Abreulândia, praia do futuro e nos trabalhos de acompanhamento de poços perfurados neste sistema, o valor adotado para o cálculo de reservas é de 15%.

Assim, utilizando $R_r = A \cdot \Delta h \cdot \eta_e$ onde $A = 184,7 \text{ km}^2$, $\Delta h = 1,5\text{m}$ e $\eta_e = 15\%$, obtém-se para as reservas renováveis do sistema dunas/paleodunas um volume de 41,5 milhões de m^3/ano .

• Sistema Barreiras

Este sistema ocupa uma área de 615 km^2 , sobre a qual precipita um volume de 799 milhões de m^3/ano .

A Formação Barreiras é caracterizada pela existência de níveis clásticos alternados, que no geral variam da fração argila até areias médias, tendo na base níveis conglomeráticos, estes dificilmente observáveis na área da RMF. Para a área, não existem dados monitorados sobre variação de nível d'água e porosidade efetiva para este sistema.

MELO (1995), trabalhando em Natal/RN, considera uma porosidade efetiva (η_e) para o sistema dunas/barreiras de 10%. BIANCHI et al (1984) adotam um valor de 10% para o Barreiras da RMF e CAVALCANTE, 1992 (in PERH, op. cit.) utiliza 5% em trabalhos na Bacia do Jaguaribe/CE. FETTER (op. cit.) adota valores que oscilam de 3 a 12% (média de 7%) para as areias argilosas.

Para efeito de cálculos e considerando as características litológicas dos níveis que compõem o sistema Barreiras, adotaremos o valor proposto por CAVALCANTE (op. cit.), ou seja, porosidade efetiva de 5%.

Considerando a composição litológica do Barreiras e a profundidade do nível estático que oscila entre 8 e 12 metros, não permitindo a influência direta da evaporação quanto no sistema dunas/paleodunas, adotou-se um valor médio de variação do nível d'água (Δh) igual a 0,5m.

Utilizando $R_r = A \cdot \Delta h \cdot \eta_e$ onde $A = 615 \text{ km}^2$, $\Delta h = 0,5\text{m}$ e $\eta_e = 5\%$, obtém-se para as reservas renováveis do sistema Barreiras um volume de 15,3 milhões de m^3/ano .

4.3.2.2. Reservas Permanentes (R_p)

Estas reservas representam o volume de água subterrânea que participa do ciclo hidrológico numa escala de tempo plurianual, centenária ou milenar.

Correspondem aos volumes estocados abaixo do limite inferior de flutuação sazonal do nível de saturação dos aquíferos livres ou dos níveis potenciométricos dos aquíferos confinados (REBOUÇAS, Op. cit.).

As reservas permanentes serão calculadas pelo método volumétrico utilizando-se a seguinte fórmula: $R_p = A \cdot b \cdot \eta_e$, onde A = área de ocorrência do sistema aquífero (L^2), b = espessura média saturada (L), pois na área de trabalho os aquíferos são do tipo livre, e η_e = porosidade efetiva (adimensional).

Em função das características para as aluviões e rochas do embasamento cristalino, já discutidos anteriormente, o cálculo de reservas permanentes será efetuado somente para os sistemas dunas/paleodunas e Barreiras.

- **Sistema Dunas/Paleodunas**

Considerando-se a área (A) de 184,7 km², espessura média saturada (b) de 6,4 m e porosidade efetiva (η_e) de 15%, a reserva permanente obtida para este sistema é de 177,3 milhões de m³.

- **Sistema Barreiras**

Para a área (615 km²) ocupada por este sistema e considerando-se uma espessura média saturada (b) de 15 m e porosidade efetiva (η_e) de 5%, existe uma reserva hídrica permanente de 461 milhões de m³.

4.3.2.3 Reservas Totais

As reservas totais de um sistema aquífero são obtidas pela somatória das reservas renováveis e permanentes.

Na área em apreço, pode-se dizer que as reservas totais para os sistemas dunas/paleodunas e Barreiras são, respectivamente, de 218,8 e 476,3 milhões de m³.

4.3.2.4 Recursos explotáveis

Os recursos explotáveis das águas subterrâneas representam os volumes que podem ser utilizados das reservas naturais, em função das reservas renováveis (reguladoras) ou dos meios técnico-financeiros de que se disponha, ou seja, da variável de decisão que leva em consideração outros objetivos e fatores limitantes, a exemplo da taxa de renovabilidade natural (REBOUÇAS, 1997).

Desta forma, os recursos dependem das variáveis de decisão impostas pela política sócioeconômica de desenvolvimento, ou seja, constitui-se em um bem valorado fundamentado na importância que a água representa no meio.

DUARTE (1996) define recursos explotáveis como sendo “*aqueles que estão disponíveis sem que haja comprometimento do aquífero nem do meio ambiente*” e os associa com as disponibilidades hídricas do sistema aquífero.

Além dos termos reservas e recursos, dois outros vem sendo empregados comumente nos trabalhos sobre planejamento das águas subterrâneas: potencialidade e disponibilidade.

Potencialidade é definida como o volume total acumulado na zona saturada do sistema aquífero e sujeito à extração, correspondendo as reservas totais, enquanto **disponibilidade** refere-se ao volume que pode ser explotado sem risco de exaustão do sistema aquífero (DUARTE, 1997).

A **disponibilidade potencial** do sistema aquífero considera explotável o volume total da reserva renovável e, conseqüentemente, não acarreta depleção à reserva permanente. Poderá ser depletiva quando existir a possibilidade de que a parcela utilizada da reserva permanente venha a ser reposta naturalmente ou sob a forma de recarga induzida.

Atualmente, o conceito de que não se deve explotar um volume hídrico superior ao da reserva renovável é bastante discutível. Estudos mostram que, mesmo quando o nível d'água for rebaixado continuamente durante um período de dez (10) anos, ou mais, sem recarga efetiva para o aquífero, este nível pode se recuperar completamente dentro de um (1) ano se o sistema receber uma recarga pluviométrica normal (AMBROGGI, 1978 in TANCREDI, 1996).

Para o sistema dunas/paleodunas da área em estudo, a disponibilidade potencial deve ser vista sob duas condições:

1ª) Em função das características de extrema vulnerabilidade do meio. Para áreas com distância inferior a 1.000 metros a partir da linha de costa, a disponibilidade potencial deve ser considerada como sendo a reserva renovável (41,5 milhões de m³/ano), com respaldo no fato de já existir intrusão salina em ponto específico situado a uma distância de até 500 metros a partir da linha de costa, decorrente do uso inadequado do sistema aquífero.

2ª) Para distâncias superiores a 1.000 metros a partir da linha de costa, a disponibilidade potencial a ser utilizada deve considerar a reserva renovável acrescida de uma parcela da permanente. Esta parcela deve ser calculada em função das variáveis de decisão impostas pelas características aquíferas, condições político-sócioeconômicas, renovabilidade das águas e planejamento integrado.

Para o sistema Barreiras, a disponibilidade potencial é representada pela reserva renovável (15,3 milhões de m³/ano) mais uma parcela da permanente, calculada em função das variáveis de decisão. Na prática, corresponde a 1/3 das reservas totais, ou seja, 158,7 milhões de m³.

A **disponibilidade efetiva** representa o volume normalmente captado pelos poços instalados. Na ausência de um cadastro de campo atualizado, é recomendável se considerar o tempo adotado para a vida útil do poço (20 anos), vazão média do sistema aquífero captado e um tempo médio de bombeamento que varia de acordo com a necessidade do usuário e/ou capacidade do aquífero.

Para o período de 1975 a 1995 foram cadastrados 2.775 poços tubulares com dados de vazão. Estima-se que existam em funcionamento em torno de 1.500 poços tubulares rasos (profundidade inferior a 20 metros) perfurados nos sistemas dunas/paleodunas e Barreiras, com vazão de 1,5 m³/h/poço.

Adotando-se uma taxa de bombeamento de seis (6) horas/dia, a disponibilidade efetiva calculada para os 4.275 poços é de 23,6 milhões de m³/ano, correspondente a 41,5% das reservas renováveis dos sistemas dunas/paleodunas e Barreiras ou, somente 3,7% das reservas permanentes.

Projetando-se uma demanda de 200 litros/hab/dia, percebe-se que é possível atender pela disponibilidade efetiva a 323.288 habitantes.

Ressalta-se o elevado potencial hidrogeológico do sistema dunas/paleodunas, extremamente favorável a captação por poços tubulares rasos, cedendo água de boa qualidade físico-química. A exemplo, somente as baterias de poços da Abreulândia (25 poços), Cocó

(35 poços) e Praia do Futuro (53 poços) quando funcionavam em período integral diário, antes de serem desativadas, tinham uma disponibilidade efetiva de 4,3 milhões de m³/ano.

4.3.3. Aspectos Hidroquímicos

O conhecimento qualitativo das águas, associado ao dimensionamento das reservas e recursos, é de fundamental importância para o manejo integrado. As análises físico-químicas servem como suporte básico para a compreensão do grau de mineralização das águas.

4.3.3.1 Classificação e Qualidade

Atualmente, um dos pontos mais questionados a nível internacional diz respeito a possibilidade da escassez de água para o próximo século, decorrente da crescente degradação qualitativa que o uso e ocupação do meio físico tem imposto aos recursos hídricos.

As análises (363) utilizadas para este item foram selecionadas através de tratamento hidroquímico realizado com o Programa HIDROQS (CAVALCANTE et al. in PERH, 1992), admitindo-se um erro inferior a 10%, compatível com a concentração de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) (Tabela 10).

Pelo diagrama de Piper, as águas são predominantemente cloretadas sódicas, tendendo secundariamente a mistas, não existindo grande diferenciação entre os sistemas aquíferos (Figura 08). Observa-se a seguinte relação entre cations e ânions: $\text{Cl} > \text{HCO}_3 > \text{SO}_4$ e $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$, refletindo a predominância de cloretos e sódio, associados à proximidade do mar.

O cloreto não é comum na composição das rochas existentes na RMF e sua ocorrência está relacionada as águas pluviais e a evaporação, que favorece a concentração do mesmo nas águas subterrâneas.

Tabela 10 - Análises das águas subterrâneas da Região Metropolitana de Fortaleza

Município	Ponto	PH	HCO ₃	Ca	Mg	Cl	SO ₄	Na	K	NO ₃	STD	Cond.Elét. μ S/cm a 25°C	SAR
		Concentrações (mg/L)											
Aquiraz	Mínimo	5,10	00	2,40	1,40	15,00	1,00	1,00	0,50	1,30	34	56	0,10
	Média	7,20	93,70	73,00	71,40	584,20	41,00	198,70	24,30	7,70	1.314	2.095	4,20
	Máximo	8,30	240,00	240,00	204,90	1.660,00	463,00	564,00	50,00	35,40	3.222	5.370	9,20
Eusébio	(dados)	27	27	27	27	27	27	27	27	26	27	27	27
	Mínimo	6,57	16,00	6,00	3,60	31,00	7,50	14,00	6,00	1,30	92	184	1,00
	Média	7,42	84,80	38,40	37,70	274,80	20,90	114,20	11,40	6,50	607	1.113	2,80
	Máximo	8,31	168,00	94,00	88,80	787,00	40,00	405,00	19,00	22,20	1.450	2.800	7,50
	(dados)	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5
Maranguape	Mínimo	7,20	40,00	68,00	26,40	237,00	66,90	86,00	10,00	0,70	539	899	2,20
	Média	7,60	234,70	178,70	122,00	967,30	98,50	362,70	24,30	11,60	2.068	3.676	4,90
	Máximo	8,00	448,00	348,00	259,00	2.030,00	130,10	672,00	42,00	32,30	3.666	6.130	6,70
	(dados)	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3
Maracanaú	Mínimo	6,50	34,00	9,60	3,80	10,00	4,50	7,00	3,00	0,80	226	377	0,30
	Média	7,60	77,80	18,20	12,90	125,30	19,10	85,30	19,30	2,60	420	700	3,80
	Máximo	10,60	136,00	30,40	30,20	334,00	46,30	174,00	85,00	5,20	715	1427	6,80
	(dados)	9	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Caucaia	Mínimo	6,30	36,00	8,00	6,20	26,00	4,50	26,00	3,00	1,00	232	365	0,92
	Média	7,50	134,80	70,80	76,40	439,40	17,40	176,20	12,50	4,40	918	1614	3,23
	Máximo	8,30	180,00	146,00	163,70	1425,00	70,00	500,00	24,00	11,50	2604	4340	6,83
	(dados)	9	9	9	9	9	9	6	6	9	9	9	6
Fortaleza	Mínimo	3,30	1,70	0,80	1,00	9,00	1,50	2,00	2,00	0,40	14	17	0,10
	Média	7,20	89,64	27,74	24,71	180,23	24,79	100,06	17,73	9,39	495	858	3,78
	Máximo	8,60	610,00	320,00	343,00	2.075,00	165,40	1.000,00	88,00	79,70	5.922	9.870	19,10
	(dados)	310	308	308	308	309	290	303	302	307	309	310	302

Fonte: CAGECE, 1996

Diagrama de Piper

Nº de amostras: 87

- Cristalino (20)
- + Barreiras (36)
- ▼ Dunas/Paleodunas (25)
- Aluviões (06)

Figura 08 - Classificação química das águas subterrâneas na Região Metropolitana de Fortaleza

Desenho digital: Liano Veríssimo

O diagrama de Schoeller & Berkaloff (Figura 09) mostra uma variação significativa da potabilidade, oscilando de “boa” a “não potável”, marcada predominantemente pela variação das concentrações de cloretos.

No sistema dunas/paleodunas e Barreiras predominam águas de boa qualidade físico-química, com exceção de concentrações pontuais de cloretos acima da máxima recomendada pelos padrões da Organização Mundial de Saúde - OMS (200 mg/L), observadas na bateria de poços da Abreulândia e na orla costeira de Fortaleza.

Para o cristalino, o gráfico reflete elevadas concentrações de cloretos (80 a 4.500 mg/L) e uma qualidade das águas que situa-se predominantemente entre “passável” e “não potável”.

Como o cloreto não participa de reações de troca de base com os íons do meio, por incompatibilidade de raio iônico (CAVALCANTE, 1990), a concentração é progressiva, principalmente em períodos de longa estiagem quando não existe recarga e, conseqüentemente, diluição.

No cristalino é comum se ter concentrações de STD entre 500 e 2.000 mg/L, em conseqüência da elevada concentração de cloretos. As águas que apresentam concentrações elevadas de sais são aquelas captadas de fraturas interconectadas a planícies fluviais e/ou flúvio-marinhas, ou com zona de recarga associada as águas superficiais salinas.

Os poços construídos neste contexto possuem vazões da ordem de 1,0 a 3,0 m³/h e mesmo com elevada concentração de STD são, inúmeras vezes, a única alternativa de abastecimento para as pequenas comunidades, agropecuária e indústrias.

O bombeamento contínuo dos poços, retirando água salina e permitindo a renovação através da recarga, e a implantação de dessalinizadores por osmose reversa são técnicas aplicadas com a finalidade de diminuir a concentração de sais.

Poços utilizados com frequência diária e que possuem dessalinizadores, passam, a médio prazo (1 a 2 anos), a bombear água dessalinizada dispensando, desta forma, a utilização dos aparelhos.

Figura 09 - Potabilidade das águas subterrâneas na Região Metropolitana de Fortaleza

No geral, as águas subterrâneas dos sistemas dunas/paleodunas e Barreiras possuem concentrações iônicas dentro dos padrões de potabilidade da OMS, com exceção local de teores de nitrato, ferro e cloretos que atingem 79,7, 7,4 e 2.075 mg/L, respectivamente.

A concentração elevada atingida para o nitrato (até 79,7 mg/L) na área urbana de Fortaleza é preocupante, quando o recomendado pela OMS é de 45 mg/L N. A forma NO_3 tem sido usada para se conhecer o nitrogênio inorgânico, embora também indique a presença de matéria orgânica, já que corresponde ao estágio final da decomposição de produtos protéicos (HEM, 1985).

As concentrações elevadas de nitrato são explicadas à medida em que se tem a disposição de efluentes líquidos (esgotos domésticos e industriais) nas águas superficiais que podem interagir com as águas subterrâneas, existência de fossas negras, ausência de saneamento básico e um posicionamento do nível estático muito raso, quase sempre inferior a 10 metros e a mercê da variação sazonal. Estes fatores encontram-se localmente associados, propiciando a contaminação das águas subterrâneas.

Além disso, a construção de poços sem critérios técnicos favorece a poluição das águas subterrâneas mais profundas. Estes poços são mais susceptíveis à captação de águas pouco profundas poluídas.

Nos padrões de potabilidade da OMS, a concentração máxima recomendada para o íon ferro é de 0,3 mg/L. Na área, ele ocorre com teores acima de 1,0 mg/L em fontes pontuais na orla costeira da Grande Fortaleza, destacando-se Abreulândia onde alcança 7,4 mg/L. A origem deste elemento a nível de RMF é muito discutível, particularmente por ser incompatível com a mineralogia dos litotipos.

Observou-se que as maiores concentrações deste elemento estão vinculadas as áreas costeiras situadas entre o Porto do Mucuripe e a Praia de Abreulândia (Fortaleza), muitas vezes em contatos com áreas de mangue. Desta forma, é provável que esta concentração seja decorrente da influência das águas oriundas destes locais.

Foram cadastradas 1.073 análises bacteriológicas (1986 a 1995) das águas de poços tubulares. Destas, utilizou-se 421 análises correspondentes ao período de 1990 a 1995, e percebe-se que, em média, 74% detectam poluição por coliformes fecais nas águas subterrâneas, predominando a bactéria Escherichia coli (68%) conforme mostra a tabela 11.

Tabela 11 - Análises bacteriológicas em águas de poços tubulares - RMF

Município	Ano	Nº. de Análises	Bactérias	Bactéria predominante	Concentração (NMP/100 ml)
Fortaleza	1990	20	E.C.; P.sp.	E.C. (70%)	4 a 2.400
	1991	84	E.C.; P.sp.; Aer.	E.C. (79,8%)	4 a 2.400
	1992	45	E.C.; P.sp.; Aer.; Kleb.	E.C. (66,7%)	9 a 2.400
	1993	165	E.C.; P.sp.; Kleb.; ent.	E.C. (66,7%)	4 a 2.400
	1994	66	E.C.; P.sp.; Aer.; Kleb.	E.C. (66,7%)	9 a 2.400
	1995	31	E.C.; P.sp.; Kleb.	E.C. (96%)	9 a 2.400
Caucaia	1992	3	E.C.	E.C. (100%)	93 a 2.400
	1993	3	E.C.; P.sp.	E.C. (66,6%)	93 a 1.100
Maracanaú	1995	4	E.C.; P.sp.	E.C. (50%)	4 a 2.400
Total		421			

Fonte: CAGECE, 1996

Legenda: E.C – Escherichia coli P.sp. – Pseudomonas sp Kleb. – Klebsiella Era. – Aeruginosa
Ent. – Enterobacter

Estas análises refletem a contaminação bacteriológica das águas subterrâneas e a fragilidade dos sistemas hidrogeológicos perante os impactos antrópicos, particularmente causados pela ausência de saneamento básico e fossas sépticas e/ou negras.

Em áreas urbanas de elevada densidade populacional é difícil a aplicação de critérios técnicos associados a perímetro de proteção do poço, que inúmeras vezes se traduz em distância mínima entre poço/fossa. Assim, prioridade máxima deve ser dada ao projeto construtivo do poço, com aplicação dos critérios recomendados pelas normas técnicas da ABNT que norteiam a construção eficiente da obra de captação.

4.3.3.2 Uso das águas subterrâneas

A utilização das águas subterrânea na RMF é uma constante, com fins variados e tempo de bombeamento compatível com a necessidade e vazão do poço. O enfoque neste item será dado para abastecimento humano, indústria e irrigação, embora se tenha a utilização de poços em granjas e na piscicultura, porém em uma escala muito menor.

A qualidade das águas naturais é reflexo da composição físico-química e bacteriológica. A adequabilidade para cada uso varia em função da finalidade proposta e dos constituintes que possam afetá-la, existindo para isto diversos padrões que procuram reger a utilização para consumo humano, indústria e agrícola (CAVALCANTE, 1990).

- **Consumo Humano**

Em função da vulnerabilidade natural das unidades aquíferas e ocupação do meio físico, o uso das águas subterrâneas para consumo humano na região da Grande Fortaleza, especificamente, deve ser precedido de análises físico-químicas e bacteriológicas.

Os dados sobre utilização das águas subterrâneas na RMF mostram que 85,6% dos poços destinam-se ao consumo humano.

A elevada concentração de nitrato (até 79,7 mg/L) na área urbana de Fortaleza demonstra que é necessário a aplicação de técnicas de tratamento d'água. A presença do nitrato acima de 45 mg/L N pode causar a metahemoglobinemia (cianose ou doença azul), que em casos extremos pode ser fatal para crianças recém nascidas.

O nitrato também participa na produção de nitrosaminas no organismo humano, substâncias conhecidas como carcinógenas. HILL et al,1973 (in SANTOS, 1997) mostram correlações positivas entre a existência de câncer gástrico e elevadas taxas de nitrato nas águas consumidas.

A elevada concentração de ferro, mesmo que pontual, pode causar problemas ao consumo humano, quando se sabe que o excesso pode favorecer a incidência de problemas cardíacos e diabetes. MONMANEY, 1992 (in SANTOS, op. cit.) revela que estudos recentes

sobre o aspecto de intoxicação por ferro (hemocromatose), originada de distúrbios genéticos e agravada pela ingestão de compostos com elevadas concentrações de ferro, contemplam aspectos sobre águas ferruginosas.

No Ceará, é comum encontrar-se elevadas concentrações (2 a 15 mg/L) deste elemento nas águas das aluviões, que chegam a ceder vazões de até 250 m³/h/poço, explotadas para abastecimento público. Nestes casos, torna-se obrigatório o tratamento preliminar através de filtros de areia, aeração e filtros com carvão ativado, a fim de se obter uma água potável.

As análises bacteriológicas das águas dos poços tubulares mostram que existe o risco efetivo de poluição por coliformes fecais. Assim, em função das doenças de veiculação hídrica provocadas pela existência de determinadas bactérias e/ou vírus, é recomendável adotar-se a análise completa da água a ser utilizada, a fim de que se possa, a partir daí, estabelecer métodos preventivos e/ou corretivos para se garantir a potabilidade deste recurso.

• **Indústria**

A utilização das águas nas indústrias é regida por padrões que associam o tipo de atividade com as concentrações máximas permissíveis para os elementos analisados, ou que encontram restrição. Proposições de padrões direcionados para fins industriais são encontradas em SCHOELLER (1962), LOGAN (1965), CUSTÓDIO & LLAMAS (1976), FREEZE & CHERRY (1979), MATTHESS (1982), HEM (1985), DRISCOLL (1986), SZIKSZAY (1986), FENZL (1988) e CETESB (1990).

A utilização das águas subterrâneas pelas indústrias da RMF deve levar em conta a existência das concentrações significativas de ferro e cloretos, principalmente quando forem destinadas a caldeiras e elementos de alta pressão, nos quais a água deve ser totalmente livre de elementos colmatantes.

Mais de 90% das indústrias existentes na RMF utilizam água subterrânea, quer seja para uso humano e/ou industrial. A tabela 12 mostra os principais elementos a serem analisados e as concentrações aceitáveis em função do direcionamento de uso.

Tabela 12 - Padrões de qualidade d'água para indústrias

Parâmetro	Unidade	1	2	3	4	5	6
pH	-	-	-	6,5-7,0	-	-	8
Dureza	mg/L CaCO ₃	50	180	50-75	25	50	50
alcalinidade	mg/L CaCO ₃	-	-	-	128	-	135
Cálcio	mg/L	-	-	200	-	10	-
Magnésio	mg/L	-	-	30	-	-	-
Cloretos	mg/L	-	30	100	250	100	-
Sulfatos	mg/L	-	60	-	250	100	-
Nitrato	mg/L	-	30	10	-	-	-
Ferro	mg/L	0,5	0,3	0,1	0,2	0,25	0,2
Manganês	mg/L	0,5	0,1	0,1	0,2	0,25	0,2
Amônia	mg/L	-	Traços	-	-	-	-
STD	mg/L	-	500	1000	850	-	-
1 – Águas de refrigeração 2 – Ind. Laticínios 3 – Cervejaria 4 – Ind. de bebidas e sucos de frutas 5 – Ind. Têxtil 6 – Curtumes							

Fonte: modificada de Santos, 1997

• Irrigação

Qualquer água que possua sua composição química propícia ao consumo humano pode ser aplicada à irrigação, embora a recíproca nem sempre seja verdadeira. Para ser utilizada na irrigação, é necessário que se conheça a composição química d'água, tipo de solo e sua constituição físico-química e tipo de cultura a ser irrigada.

A análise da Razão de Adsorção de Sódio (SAR) e o perigo de salinidade, constituem elementos básicos e simples para se obter indicações da possibilidade de uso da água para a irrigação.

O SAR indica a porcentagem de sódio contido na água que pode ser adsorvido pelo solo, sendo calculado pela seguinte equação:

$$SAR = \frac{rNa}{\sqrt{\frac{rCa + rMg}{2}}} \quad \text{onde } r = \text{meq/L}$$

A concentração de sódio é importante, pois ele substitui o cálcio na estrutura do solo e, caso esteja em concentração excessiva, irá reduzir a permeabilidade e levar a uma situação de esterilidade (FREEZE & CHERRY, 1979).

A classificação das águas subterrâneas da RMF para irrigação utilizou o gráfico proposto pelo *United States Salinity Laboratory* (Figura 10). Elas estão inseridas preponderantemente na classe S_1 , que denota um baixo risco de sódio, e nas classes C_1 , C_2 e C_3 denotando de baixo a alto risco de salinidade.

Estas águas podem ser utilizadas em quase todos os tipos de solos, não existindo um perigo maior da troca do sódio pelo cálcio, que iria reduzir a permeabilidade do solo e torná-lo estéril. Porém, merece cuidados especiais em função da salinidade, sendo necessário observar este aspecto antes de sua utilização, associando-o ao tipo de solo e cultura a ser irrigada.

4.4 Fontes Potenciais de Poluição

Em qualquer pesquisa de recursos hídricos subterrâneos, principalmente àquelas desenvolvidas em áreas urbanas e costeiras, deve constar as fontes potenciais de poluição para que, integradas ao conhecimento de vulnerabilidade e hidroquímica, possa auxiliar na definição real do potencial hídrico existente e das condições de ocorrência.

Na RMF foram definidas aquelas capazes de influenciar na qualidade das águas subterrâneas e/ou superficiais, oriundas do uso e ocupação do meio físico e da ausência de planejamento.

Nº de amostras: 87

- Dunas/Paleodunas (48)
- + Cristalino (12)
- Barrreiras/Cristalino (04)
- ▲ Barrreiras (17)
- Aluviões (06)

Figura 10 - Classificação das águas subterrâneas para irrigação - Região Metropolitana de Fortaleza

Diagrama do U. S. Salinity Laboratory, modificado

4.4.1. Intrusão Salina

Estudos visando a caracterização da interface água doce/água salgada vem sendo realizados desde o final do século XVIII, quando GHYBEN-HERZBERG propuseram a relação homônima, oriunda de trabalhos desenvolvidos na Holanda (1889) e na Alemanha (1901). A partir daí, outras relações foram desenvolvidas, a exemplo de HUBBERT, 1940 (in CUSTÓDIO & LLAMAS, 1976), GLOVER (1959), RUMER & HARLEMAN (1963) e BEAR (1976) (in CAVALCANTE, 1986).

Na área em estudo, o risco de poluição derivado da intrusão da cunha salina é potencial, sendo efetivo em termos locais, particularmente nas áreas onde existem baterias de poços tubulares rasos localizados sobre dunas/paleodunas, quando operados sem um controle rígido dos parâmetros recomendados pelos estudos hidrogeológicos, e na orla costeira onde existem poços operados de modo aleatório por condomínios e rede hoteleira.

Estas situações são encontradas nas baterias de poços do Cocó (Parque do Cocó, Fortaleza) e da Abreulândia (Praia da COFECO, Fortaleza), e por toda a orla costeira de Fortaleza (Fortaleza, Porto das Dunas), Caucaia (Icarai, Tabuba, Cumbuco e Lagoa do Banana) e Aquiraz (Prainha, Iguape).

As análises físico-químicas existentes para as águas dos poços do Cocó não mostram concentrações elevadas de cloretos, no geral ficando abaixo de 200 mg/L. No momento, todos os poços estão desativados pela CAGECE, e somente seis (6) novos poços operam para a manutenção do Parque do Cocó.

A bateria de poços de Abreulândia, implantada em 1978 e constituída de 25 poços tubulares rasos (profundidade média de 12 metros), foi desativada em 1984 quando uma reavaliação técnica mostrou que existia poluição por intrusão da cunha salina e carreamento de areia em função do rompimento dos filtros (PLANAT, 1984) e MENEZES & ARAÚJO (1988).

Em 1984, cinco (5) poços possuíam águas com concentrações de cloretos oscilando de 200 a 2.160 mg/L. Em 1987, as análises realizadas mostraram que em sete (7)

deles a concentração de cloretos estava entre 300 e 900 mg/L (Tabela 13), decorrentes da intrusão salina causada por um bombeamento além do recomendável tecnicamente (Figura 11).

Tabela 13 - Cloretos nas águas subterrâneas de Abreulândia - Fortaleza

Poço	Cloretos (mg/L)		
	1978	1984	1987
01	29	1.195	310
02	54	2.160	900
03	27	--	399
04	34	--	10
05	15	--	41
06	24	28	--
07	17	18	--
08	11	--	14
09	17	200	390
10	150	1.205	365
11	19	560	449
12	33	96	300
13	28	87	70
14	27	68	32
15	25	37	--
16	09	26	32
17	29	12	--
18	25	24	54
19	22	34	--
20	14	35	--
21	24	--	41
22	61	--	--
23	20	35	--
24	13	35	--
25	11	--	--

Fonte: Menezes & Araújo, 1988

BELTRÃO & MANUEL FILHO (1973) ressaltam que nos trabalhos de prospecção geofísica realizados no vale do rio Cocó, foi observado que a parte superior da sequência aluvionar está saturada de água salgada entre 7 a 15 metros de profundidade. Isto demonstra a influência das marés na salinização das planícies aluvionares.

ARAÚJO & LEAL (1990) e CAVALCANTE et al (1990) mostram que existe o risco de poluição por intrusão salina na faixa costeira de Fortaleza, no extremo noroeste e entre o Mucuripe e a Praia de Iracema. Pelas análises cadastradas atualmente, observa-se que

na zona costeira de Fortaleza existem pontos críticos em que as concentrações de cloretos alcançam até 2.080 mg/L, denotando a influência da intrusão salina (Tabela 14).

Tabela 14 - Cloretos nas águas subterrâneas da orla costeira de Fortaleza

Local	Cloretos (mg/L)
César Park Hotel - Av. Beira Mar	1.210
	685
Torres de Melo Alimentos (R. Prof. Dias da Rocha)	1.356
Rua Monsenhor Catão	2.080
Ed. Golden Flat - Av. Beira Mar	149
Ed. Jangada - Av. Beira Mar	127
Cond. Granville II - Av. Pres. Kennedy	121
Rua dos Tabajaras	2.335
Moinho Fortaleza - Mucuripe	135
	143
	125
	119
Rua Tito Rocha - Praia de Iracema	149

Porém, esta situação ainda não é regional, haja vista que outras análises na orla costeira mostram concentrações bem inferiores. As situações críticas são observadas no trecho onde se encontra a rede hoteleira, cuja demanda cresce vertiginosamente em períodos de alta estação turística (junho/julho e dezembro a fevereiro), quando os poços são bombeados 24 horas/dia.

As análises existentes para a orla costeira de Caucaia e Aquiraz não refletem poluição por cloretos, cujas concentrações situam-se abaixo de 200 mg/L.

4.4.2. Sistema de Esgotamento Sanitário

A Pesquisa Nacional do Saneamento Básico realizada pelo IBGE entre 1989 e 1990, demonstrou que apenas 8% do esgoto produzido no país recebe tratamento, sendo o restante despejado nas redes de drenagens.

Os dados obtidos de 4.425 municípios demonstram que a Região Nordeste trata de apenas 2%, igualando-se ao Norte (2%), percentual muito pequeno comparativamente as regiões Sudeste (15%), Sul (7%) e Centro-Oeste (4%).

A ausência de saneamento básico leva a população a utilizar-se de fossas sépticas, que em função da oscilação sazonal do nível freático podem transformar-se em fossas negras. Neste caso, a função depuradora do sistema aquífero passa a ser mínima, ou sequer existir.

As águas subterrâneas podem sofrer os impactos desta carga poluente, principalmente no contexto das dunas/paleodunas que apresentam uma alta vulnerabilidade, com um nível estático sub-aflorante.

Somente cerca de 20% da população da RMF possui serviços da rede de esgoto, com Fortaleza detendo 18%. O governo estadual pretende aumentar para 60% na Região de Fortaleza, com a implantação do Programa de Saneamento Básico de Fortaleza - SANEAR, em desenvolvimento desde 1994, saindo dos 341 km para 1.025 km de rede (Figura 12).

A contaminação das águas subterrâneas por alkyl benzeno sulfonatos (ABS), considerados substâncias não-biodegradáveis, é uma das mais sérias consequências do lançamento de efluentes através de fossas sépticas (FREEZE & CHERRY, op. cit.).

O nitrato é considerado como o poluente mais freqüente oriundo dos sistemas sépticos (MANOEL FILHO, 1997). Na Grande Fortaleza, isto é confirmado à medida em que as análises mostram a existência constante deste elemento, em concentrações quase sempre acima de 5 mg/L, que segundo SANTOS (1997) pode servir como indicativo de contaminação da água subterrânea por atividade humana (fossas, esgotos, lixões, etc).

As análises bacteriológicas cadastradas mostram que aproximadamente 70% das águas de Fortaleza estão poluídas por coliformes fecais. O problema maior a nível de RMF, é que não se sabe a que velocidade ocorre a migração das bactérias patogênicas e dos vírus, muito menos quais as distâncias que podem atingir, reflexo da vida útil desses contaminantes nas águas subterrâneas e do contexto hidrogeológico.

4.4.3. Águas Superficiais Poluídas

Apesar de existir na RMF 309 lagoas, 426 açudes e uma boa rede de drenagem, não existe um aproveitamento hídrico da maioria dos espelhos d'água e de nenhum curso d'água. Inúmeras lagoas de Fortaleza e grande parte dos rios/riachos encontram-se poluídos por esgotos doméstico e industrial, conforme mostram as fotos 11 e 12.

Em 1982/83, a Superintendência de Desenvolvimento do Ceará - SUDEC realizou análises em seis (6) pontos distintos do rio Cocó. Observou que a concentração de oxigênio dissolvido (OD) era inferior a 5 mg/L, com média de 4 mg/L, e a de coliformes fecais situava-se entre 40.000 e 240.000 NMP/100 ml, reflexo da poluição causada por esgotos domésticos e Lixão do Jangurussu.

As águas do rio Cocó e afluentes foram analisadas posteriormente por MAVIGNIER (1992), que coletou quatro (4) amostras por estação de coleta no período de fevereiro/90 a maio/91, ficando as cinco (5) primeiras estações à jusante do Lixão do Jangurussu (Tabela 15).

Tabela 15 - Estações de coleta das amostras d'água do Cocó e afluentes - RMF

Estação	Local	Distância da foz (km)	Curso d'água
01	Barraca S. Luiz	1,0	Cocó
02	Sítio Timbaúba	3,0	Cocó
03	Ponte da Av. Eng. Santana Jr.	8,0	Cocó
04	Ponte da BR-116	12,0	Cocó
05	Ponte da Av. Paulino Rocha	15,0	Cocó
06	Lixão do Jangurussu	16,5	Cocó
07	Ponte da Av. Perimetral	17,3	Cocó
08	Ponte do IV Anel Viário	21,0	Rc. Gavião
09	Ponte da CE-040	24,0	Rc. Timbó
10	Ponte da CE-040	26,0	Rc. Lameiro

Fonte: Modificado de Mavignier, 1992

As análises químicas mostram que o rio Cocó possui um comportamento predominantemente salino até oito (8) km após a foz, com cloretos oscilando de 934,2 a 16.575 mg/L.

Foto 11 – Canal do Jardim América poluído por esgotos domésticos, Fortaleza

Foto 12 – Aspecto da poluição dos rios por esgotos domésticos. Rio Maraguapinho, Fortaleza

As concentrações de coliformes totais e fecais são elevadas, indo de 265 a 2.483.333 e de 5 a 324.000 NMP/100 ml, respectivamente. Entre 8 e 24 km de distância da sua foz, situam-se os pontos mais poluídos por coliformes fecais (12.147 a 234.000 NMP/100 ml), denotando um caráter receptor de efluentes domésticos e da contribuição direta do Lixão do Jangurussu.

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) apresenta-se com valores crescentes da foz do rio Cocó para o interior, oscilando de 2,7 a 7,3 mg/L. As águas do riacho Timbó possuem concentrações anômalas que atingem 570 mg/L, decorrente da disposição direta de esgotos gerados no Distrito Industrial, assumindo características de esgoto sanitário a céu aberto.

Os elementos-traço analisados foram cádmio, chumbo, cobre, cromo e ferro (Tabela 16).

Tabela 16 - Metais pesados nas águas do rio Cocó - RMF

Elementos	Distância a partir da foz (km)										
	0	1	3	8	122	15	16,5	17,3	21	24	26
Concentrações (ppb)											
Cádmio	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,8	0,6
Chumbo	14,0	11,8	14,5	36,8	44,7	45,0	26,5	35,3	16,2	82,5	20,3
Cobre	7,0	6,8	4,5	4,9	10,4	9,3	8,8	8,7	3,3	12,1	5,2
Cromo	1,7	1,4	1,2	2,4	2,3	7,4	6,6	3,1	1,6	11,4	2,6
Ferro	18,0	17,5	25,0	31,7	51,0	89,5	203,7	115,2	17,2	361,5	22,7

Fonte: Mavignier, 1992

Observa-se que as águas do riacho Timbó, a 24 km da foz do rio Cocó, apresentam as mais altas concentrações dos elementos analisados. Isto é reflexo da recepção de esgotos das indústrias do Distrito Industrial de Maracanaú.

O cádmio é um elemento altamente tóxico para o organismo humano, cumulativo, causador de doenças cardíaco-vasculares e do retardamento de crescimento. A resolução 020/86 do CONAMA estabelece um limite máximo permissível de 10 e 5 ppb para as classes 3 e 7, respectivamente, nas quais está inserido o rio Cocó.

Os outros elementos (chumbo, cobre e cromo) também estão em concentrações abaixo das máximas permissíveis para as referidas classes. O CONAMA não estabelece

limites para o ferro porém, observa-se que este elemento possui concentrações inferiores a máxima permissível (1,0 mg/L) para águas potáveis.

As águas do rio Maranguapinho e seus afluentes representam um dos mais sérios problemas em termos de poluição hídrica dos cursos d'água de Fortaleza, agravado pelo fato de possuir sua bacia drenante em área urbana de grande concentração industrial.

A rede de drenagem serve de receptora aos esgotos doméstico e industrial, (Foto 13), particularmente do I Distrito Industrial de Maracanaú, constituindo um verdadeiro esgoto a céu aberto. Além disso, este rio recebe elevada carga de matéria orgânica proveniente do Frigorífico/Abatedouro de Fortaleza - FRIFORT e receberá, ainda, os despejos tratados na Estação de Tratamento de Efluentes do Distrito Industrial.

Em 1982, a SUDEC analisou em termos físico-químico e bacteriológico as águas dos rios Maranguapinho (500 análises) e Ceará (262 análises) no âmbito do Programa Ambiental (SUDEC, 1986). As análises comprovaram a elevada poluição bacteriológica oriunda da disposição direta de esgotos nos canais de drenagem, cujas concentrações de coliformes totais e fecais situavam-se entre 40.000 e 240.000 NMP/100 ml.

Análises realizadas para o rio Maranguapinho em 1991/93 pelo Laboratório Central de Análises de Águas da CAGECE (NUNES, 1993) mostram valores muito acima do aceitável para nitrito (média de 2,44 mg/L), coliformes fecais (entre 430 e 240.000 NMP/100 ml) e totais (entre 2.400 e 240.000 NMP/100 ml), que ultrapassam totalmente os limites adotados pela Resolução N^o 020/86 do CONAMA (CAVALCANTE, 1993).

A poluição do rio Ceará tem origem na contribuição direta das águas poluídas por rejeitos domésticos e industriais provindas do rio Maranguapinho e de seus efluentes. Até há pouco tempo, antes da inauguração do Aterro Sanitário de Caucaia, o lixo deste município era colocado nas áreas marginais do Ceará agravando, ainda mais, a situação existente. As análises retratam poluição por coliformes, decorrentes da recepção de cargas poluidoras domésticas e industriais (Tabela 17).

Foto 13 – Poluição do rio Maranguapinho por esgotos doméstico e industrial
Ponte Granja/Conjunto Ceará, Fortaleza

Tabela 17 - Análises das águas do rio Ceará - RMF

Estações de coleta	Parâmetros						
	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	pH	Col. Totais (NMP/100 ml)	Col. Fecais (NMP/100 ml)
01	9,02	2,12	0,01	Aus.	7,7	430	150
02	6,33	4,97	1,23	4,0	7,6	24.000	9.300
03	7,12	0,18	0,01	3,0	7,5	24.000	9.300

Fonte: SUDEC, 1986

Estações de Coleta

01 - Ponte do 4º Anel Viário 02 - Ponte CE-020 03 - Iparana - proximidade da foz do rio Ceará

Análises efetuadas pela SUDEC (op. cit.) mostram que as águas do riacho Pajéu estão poluídas por coliformes fecais, cujas concentrações atingem até 240.000 NMP/100 ml. Isto torna evidente que esta drenagem funciona como receptora de esgotos ao longo de seu percurso, atravessando a zona central da cidade de Fortaleza.

Dentro do Programa Ambiental, a SUDEC (op. cit.) analisou águas de 09 açudes e 25 lagoas inseridas no contexto de Fortaleza, com amostragens, em média, de 03 pontos de coleta por espelho d'água, totalizando 93. Os pontos de amostragem situavam-se na entrada, meio e sangradouro de cada corpo hídrico e as análises realizadas foram de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos.

Os valores encontrados para pH, OD, amônia, DBO₅, coliformes totais e fecais nas águas dos açudes da Agronomia/UFC e José Pires e para as lagoas de Parangaba, Porangabussu, Ancuri, Mondubim e Papicu, todos em Fortaleza, sempre ultrapassaram os limites máximos propostos pela portaria GM/0013 do SEMA (Janeiro/1970), refletindo a poluição das águas destes reservatórios (CAVALCANTE, 1993). Análises das águas da lagoa de Maraponga (Fortaleza) mostram elevada poluição pela bactéria Escherichia Coli (2.400 NMP/100 ml).

As águas das lagoas Encantada (Aquiraz), do Saco (Caucaia) e Catu (Aquiraz) foram analisadas pela SUDEC (op. cit.). Nenhum dos parâmetros analisados para a primeira ultrapassou os padrões exigidos, tratando-se de uma água com pequena salinidade, DBO₅ muito baixo e índice de coliformes fecais igual a zero. As lagoas do Saco e Catu apresentam teores de nitrato e fosfato superior ao padrão, porém sem maiores problemas em relação a poluição bacteriológica.

As águas superficiais da RMF sofrem os impactos decorrentes da disposição direta de efluentes líquidos domésticos e industriais e, dependendo do comportamento do corpo d'água, efluente ou influente, poderá existir a migração de elementos poluidores para as águas subterrâneas.

As drenagens efluentes, em decorrência do bombeamento de poços situados a pequena distância, poderão passar a influentes pela inversão do gradiente hidráulico. Neste caso, é recomendável atentar para o dimensionamento do perímetro de proteção do poço, evitando-se a possível degradação qualitativa induzida pelo bombeamento.

4.4.4. Postos de Serviços

Há pelo menos duas décadas, o problema de poluição das águas subterrâneas a partir dos postos de serviço (postos de combustíveis) tornou-se de caráter mundial, particularmente desenvolvido nos Estados Unidos em meados dos anos 70 quando foram diagnosticados centenas de casos.

Os tanques subterrâneos armazenadores de combustíveis se constituem em risco potencial, muitas vezes efetivo, de poluição para as águas subterrâneas, particularmente pelas quantidades estocadas e pela dispersão espacial das fontes e dos produtos estocados (CAVALCANTE & SABADIA, 1992).

A experiência nos Estados Unidos, Canadá e Europa tem mostrado que os tanques subterrâneos sem proteção catódica que armazenam hidrocarbonetos, apresentam-se com vazamentos aos 20 anos de vida útil, em média. A *Environmental Protection Agency* - EPA/USA estima que existam nos Estados Unidos, entre 3 e 5 milhões de tanques contendo derivados de petróleo e produtos químicos, dentre os quais 375.000 com vazamentos (OLIVEIRA, 1992).

OLIVEIRA (op. cit.) estudou o problema da contaminação do solo e da água subterrânea a partir de tanques subterrâneos de armazenamento no município de São Paulo (SP) que, na época, possuía 7,6% dos aproximadamente 21.000 postos revendedores de

combustíveis do país, com 358 milhões de litros armazenados, com a gasolina representando 68%.

Em 1987 existiam 21.334 postos de serviço no Brasil, ficando 3.761 (17,6%) na Região Nordeste e destes, 552 (14,7%) no Estado do Ceará (OLIVEIRA et al, 1990 in OLIVEIRA, 1992).

O Conselho Nacional de Petróleo - CNP/ Diretoria de Fiscalização, através do relatório emitido em setembro/89, informa que existe em Fortaleza 178 postos, com armazenamento de 31,7 milhões de litros de combustível (Tabela 18).

Tabela 18 - Postos de serviço no município de Fortaleza

Distribuidora	Nº de Postos	Volume armazenado (litros)			Volume total (litros)	Postos com mais de 20 anos
		Gasolina	Álcool	Diesel		
TEXACO	16	1.580.000	405.000	351.000	2.336.000	10 (62,5%)
ATLANTIC	21	1.856.000	955.000	1.033.000	3.844.000	11 (52,4%)
SHELL	33	2.972.000	2.715.000	635.000	6.322.000	22 (66,6%)
ESSO	39	3.488.000	1.899.000	1.357.000	6.744.000	10 (25,6%)
PETROBRÁS	69	6.809.000	3.750.000	1.937.000	12.496.000	17 (24,6%)
TOTAL	178	16.705.000	9.724.000	5.313.000	31.742.000	70 (39,3%)

Fonte: CNP, 1989

Observa-se que do total, a gasolina predomina com 52,6% e, posteriormente, o álcool (30,6%) e o diesel (16,8%). Em termos de postos com mais de 20 anos de existência, tem-se a Shell em primeiro lugar com 66,6%, seguida da Texaco (62,5%) e Atlantic (52,4%).

Apesar de não dispormos oficialmente de informações sobre tipo de material utilizado na fabricação dos tanques, sabe-se por acompanhamento em campo que, basicamente, utilizam-se chapas de aço com pintura anti-corrosiva. Em 1995, a Shell iniciou em Fortaleza um programa de perfuração e amostragem do solo próximo aos tanques dos postos de sua rede, onde constatou-se vazamentos provavelmente oriundos da corrosão dos tanques e do sistema de adução.

O Sindicato do Comércio Varejista de Derivados de Petróleo do Estado do Ceará - SINDIPOSTOS (1996) possui 601 estabelecimentos filiados, dos quais 155 na Região Metropolitana de Fortaleza (Fortaleza - 139 (90,2%), Caucaia - 5, Maranguape - 3, Maracanaú - 2, Eusébio - 2 e Itaitinga, Pacatuba, Eusébio e Aquiraz com um (1) posto cada). Porém, não dispõe de informações pertinentes a tancagem e tipos de combustíveis armazenados por posto.

A Superintendência Regional da PETROBRÁS ressalta que são consumidos mensalmente no Ceará, 24,1 milhões de litros de gasolina e 14,9 milhões de litros de álcool, com Fortaleza respondendo por aproximadamente 70% da demanda do Estado

Em função da predominante distribuição dos postos em Fortaleza sobre os sedimentos das dunas/paleodunas e Barreiras, que possuem de média a alta vulnerabilidade natural, associado a um nível estático sub-aflorante e a localização geográfica da região propícia a reações de oxidação-redução, a condição de risco potencial de poluição pode, facilmente, tornar-se efetiva, comprovada por sondagens (poços tubulares rasos) próximas ao terminal da PETROBRÁS localizado na orla costeira (Mucuripe/Praia do Futuro) e em postos de Fortaleza.

Embora não se disponha de análises químicas desses pontos, o odor liberado pelos hidrocarbonetos é inconfundível, e diversas queixas já foram realizadas por moradores que tiveram a qualidade das águas de seus poços modificadas em função da ocorrência de vazamento de combustível em sub-superfície.

No Ceará, com exceção das Leis Municipais nºs 5.530 (17/12/81), 6733 (12/11/90) e 7.220 (22/10/92) - que dispõem sobre licença para construção, realocização, funcionamento, segurança e distância entre postos revendedores de combustíveis automotivos e derivados de petróleo, e da Lei nº 7.600 (05/08/94) que altera dispositivos da 7.220 sobre distância entre dois postos (mínima de 100 metros), não existe nenhuma legislação sobre postos de serviço e risco de poluição das águas subterrâneas, explicitamente.

4.4.5. Disposição de Resíduos Domésticos/Industriais

A localização dos centros urbanos e/ou industriais próximos as redes de drenagens é uma prática sempre adotada pela humanidade. Porém, a partir do momento em que não existem as condições mínimas de disposição e tratamento de rejeitos sólidos e efluentes líquidos altamente poluidores, um sério problema começa a ser gerado, particularmente para as águas subterrâneas que encontram-se naturalmente fora do alcance da visão humana direta.

A EPA/USA, 1983 (in CAVALCANTE & SABADIA, op. cit.) visando ter o dimensionamento do mal que os resíduos causam a saúde e/ou meio ambiente, propõe que os seguintes parâmetros devam ser conhecidos:

- a) grau de toxidez;
- b) concentração;
- c) potencial de migração no meio;
- d) potencial de bio-acumulação;
- e) possibilidade de manuseio impróprio, e;
- f) registro histórico de danos à saúde humana e ao meio ambiente.

No Brasil são produzidas diariamente cerca de 242.000 toneladas de rejeitos urbanos sólidos, sendo que aproximadamente 75% destes ficam dispostos a céu aberto. Produtos de limpeza e de desobstrução (solventes), lixo hospitalar e industrial, rejeitos de construção, entre outros, se misturam num só local, envolvendo reações químicas que aceleram a dissolução e liberação de produtos, muitas vezes altamente tóxicos, para a rede de drenagem, espelhos d'água e aquíferos.

A escolha das áreas para deposição de rejeitos sólidos é um passo importante, porém nem sempre fácil em função das características exigidas, entre elas a distância mínima em função dos custos de transporte, aspectos ambientais e condições hidrogeológicas.

Em termos hidrogeológicos é recomendável a implantação de aterros sanitários em locais com baixa permeabilidade, pequenos gradientes hidráulicos e elevado poder de sorção (adsorção e absorção). Geralmente se tem problemas advindos da produção excessiva de efluentes líquidos (chorume), no geral poluentes em potencial do ponto de vista físico-químico e bacteriológico, que precisam ser tratados e dispostos de forma sanitária adequada.

Na RMF a disposição de rejeitos sólidos ocorre clandestinamente nos terrenos baldios e nas áreas marginais às redes de drenagem e, formalmente, no Lixão do Jangurussu (Fortaleza) e Aterro Metropolitana Oeste (Caucaia). Além destes, ainda estão projetados para servir a RMF os Aterros Metropolitanos Sul (Maracanaú) e Leste (Aquiraz) (Figura 13). Estima-se que produção de resíduos sólidos na área oscile entre 2.000 a 2.500 toneladas/dia, com Fortaleza produzindo 1.500 toneladas/dia destinadas, em sua maior parte, ao Jangurussu.

As características deste lixão constam na tabela 19. Está assentado sobre os sedimentos areno-silto-argilosos da Formação Barreiras e às margens do rio Cocó, ocupando uma área de 30 ha. A produção de chorume ocorre em toda a sua extensão e, ao migrar para o Cocó, constitui o principal vetor de poluição das águas (Foto 14).

Tabela 19 - Dados do lixão de Jangurussu , Fortaleza

Peso específico do lixo	273 kg/m ³
Grau de compactação	1 : 2
Volume do material de recobrimento	1/5 do volume de lixo compactado
Peso específico do lixo compactado	546 kg/m ³
Área do aterro	300.000 m ²

Fonte: SEDURB, 1991

Aproximadamente 800 (45% são menores) pessoas sobrevivem diretamente da cata do lixo neste local, que está sendo parcialmente desativado pelo governo, já que sua vida útil estava estimada para fins de 1992. Os aterros de Caucaia e Maracanaú receberão o lixo de Fortaleza, Caucaia, Maranguape, Pacatuba, Itaitinga, Guaiúba e Maracanaú (inclusive do 1 Distrito Industrial), enquanto o de Aquiraz receberá o lixo de Aquiraz e Eusébio (BRANDÃO et al, 1995).

REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA

Figura 13 - Localização das áreas de disposição de resíduos sólidos

Foto 14 – Aspectos da favelização ao redor do Lixão do Jangurussu, Fortaleza

No Jangurussu o governo instalará uma Estação de Transferência de Lixo, um Sistema de Reciclagem e uma Usina de Incineração, sendo esta responsável pelo destino final de todo o lixo hospitalar oriundo da RMF, atualmente disperso e/ou misturado com outros tipos de rejeitos sólidos.

A Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente - SDU projetou o Sistema de Reciclagem e Transferência de Lixo com capacidade para processar 450 ton/dia de material reciclável e transbordo de 2.400 ton/dia e, desta forma, pretende dar início ao processo de desativação do Jangurussu e sua transformação em um parque urbano. Assim, absorverá a mão de obra representada pelos catadores de lixo, reciclará o material adequado e eliminará, ou minimizará, a principal fonte de poluição das águas do rio Cocó.

Porém, deve ser levado em conta que somente a desativação das atividades do Jangurussu não implicará, necessariamente, no término de migração de elementos poluentes para as águas do Cocó e/ou para as águas subterrâneas já que, certamente, continuará a existir a liberação de chorume por tempo indeterminado.

Infiltrações da água de chuva nos aterros sanitários produzem chorume pelo menos durante são primeiros 30 ou 40 anos de sua existência (FREEZE & CHERRY, 1979).

As análises de metais pesados realizadas no chorume do Jangurussu revelam baixas concentrações quando comparadas com os padrões máximos admissíveis pelo CONAMA, o que reflete uma composição essencialmente orgânica do lixo de Fortaleza, ou uma eficiência muito grande dos “catadores” no processo de coleta de materiais metálicos para reciclagem (Tabela 20).

Tabela 20 - Análises do chorume do Lixão de Jangurussu, Fortaleza

Elemento	Concentração (ppb)	Máx. Admissível (ppb) (CONAMA)
Cádmio	06	200
Chumbo	14	500
Cobre	448	1.000
Cromo	457	2.500
Ferro	28	15.000

Fonte: Mavignier, 1992

As águas do rio Cocó sofrem a influência direta do Jangurussu e a população que ocupa as margens do rio convive com o lixo e águas poluídas, particularmente pelos coliformes fecais e metais pesados, mesmo que as concentrações destes no chorume sejam baixas (Tabela 21).

Tabela 21 - Análises das águas do rio Cocó, próximo ao Lixão de Jangurussu
Período de 21/02/90 a 21/05/91

Estações de coleta						
Parâmetro	à montante (0,8 km)		Lixão do Jangurussu		à jusante (1,5 km)	
Concentração (NMP/100 ml) x 1000						
	Limite	Média	Limite	Média	Limite	Média
Col. Totais	200-2.400	1.103	800-2.100	1.218,3	260-1.100	688,3
Col. Fecais	120-260	223,3	100-240	201,6	120-240	181,6
Concentração (ppb)						
Cádmio	0,5-1,2	0,68	0,5-1,4	0,73	0,5-1,3	0,70
Chumbo	8-97	35,3	10-80	26,5	10-117	45,0
Cobre	3-25	8,6	2-27	8,8	3-28,7	9,3
Cromo	1-4,8	3,1	1-17,3	6,6	1-21,9	7,4
Ferro	11-366	115,2	24-604	203,6	6-398	89,5

Fonte: modificado de Mavignier, 1992

Existe o risco efetivo de poluição das águas pelo chorume e faltam estudos técnicos específicos para avaliar os impactos poluidores. À medida em que ocorre o desenvolvimento e a urbanização da região circunvizinha por condomínios residenciais, favelas e conjuntos populares (Foto 15), associado a prática de captação de água subterrânea por cacimbas e poços tubulares, aumenta a necessidade de um diagnóstico das condições qualitativas das águas e dos processos de interações entre águas superficiais e subterrâneas e, se necessário, a implementação de medidas preventivas ou corretivas.

O chorume jamais deve ser escoado sem controle, mas sim coletado e tratado como resíduo líquido (FARVOLDEN & HUGHES, 1976 in MANOEL FILHO, 1997). Um dos modos propostos para garantir que este efluente fique na área do aterro, é criar artificialmente um gradiente hidráulico local mediante bombeamento de poços, ou construir drenos que possam interceptar e captar o chorume. Os drenos são pouco recomendados por serem rasos, não captando plumas poluentes a níveis profundos.

Foto 15 – Urbanização da região adjacente ao Lixão do Jangurussu, Fortaleza

4.4.6. Cemitérios

O estudo dos impactos ambientais causados por cemitérios começou no Brasil na década de 80, quando pesquisadores do Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas – CEPAS/USP iniciaram um projeto versando sobre o assunto e, a partir daí, a pesquisa influenciou na elaboração de diretrizes básicas de localização de cemitérios e projetos de lei específicos (PACHECO, 1986; PACHECO et al, 1988; PACHECO & MENDES, 1990; PACHECO et al, 1990; MARTINS et al, 1991; PACHECO et al, 1992; MIGLIORINI, 1994).

Dentre os aspectos ambientais, está o risco potencial de contaminação das águas subterrâneas por micro-organismos, que proliferam durante a decomposição dos corpos, e elementos químicos diversos (PACHECO et al, 1992; MIGLIORINI, op. cit.). No geral, a localização dos cemitérios nem sempre obedece projetos fundamentados em estudos geológicos e hidrogeológicos (PACHECO et al, 1988).

Os organismos mais susceptíveis a transmitir doenças via meio hídrico são Clostridium (tétano, gangrena gasosa, toxi-infecção alimentar), Mycobacterium (tuberculose), as enterobactérias Salmonella typhi (febre tifóide), Salmonella paratyphi (febre paratifóide), Shigella (disenteria bacilar) e o vírus da hepatite A (PACHECO et al, op. cit.)

Na RMF existem em torno de 15 cemitérios, com Fortaleza possuindo seis (6) deles (40 %). O principal problema está associado com a localização dos cemitérios nas áreas costeiras, a exemplo do que ocorre em Fortaleza com o cemitério de S. João Batista, situado sobre o sistema hidrogeológico dunas/paleodunas, onde o nível estático é sub-aflorante em níveis arenosos, com porosidade e condutividade hidráulica que facilitam a migração de elementos contaminantes.

A exploração de água subterrânea por poços tubulares e cacimbas nas áreas adjacentes ao cemitério é efetiva. O risco de contaminação é potencial e esta situação necessita de trabalhos específicos a fim de caracterizar a situação hidro-ambiental existente.

4.4.7. Construção de Poços

Um poço tubular é uma obra de engenharia hidrogeológica, requerendo para a sua construção um projeto técnico, onde o conhecimento hidrogeológico local é de extrema importância para fundamentar a correta locação, perfuração, completação, desenvolvimento e teste de bombeamento.

Na área é necessário que exista um cuidado especial na construção de poços tubulares, haja vista a condição existente de extrema vulnerabilidade natural aos impactos antrópicos, associada as condições de ausência de saneamento básico, águas superficiais poluídas, uso e ocupação desordenada do meio físico.

Até 1995 existem na RMF 4.465 fichas técnicas de poços tubulares e estima-se, por não existir fichas de cadastro, que de 2.000 a 3.000 poços tubulares rasos (profundidade inferior a 20 metros) construídos manualmente.

O poço passa a constituir um risco potencial de condutor de cargas poluentes a partir do momento em que não são aplicados os critérios técnicos que a obra requer. Inúmeras vezes, não existe o projeto técnico, apesar de existir, localmente, um risco efetivo de poluição.

Em cada fase é recomendável observar os fatores intervenientes na construção da obra, destacando-se a locação, perfuração e completação do poço.

- **Locação** : É comum se observar poços locados próximos a meios de alta probabilidade à poluição antrópica (p. ex. drenagens poluídas por esgotos domésticos e industriais, fossas e lixões), ou mesmo em áreas capazes de cederem elevadas concentrações de cloretos, sob condições naturais - a exemplos de planícies fluviais e flúvio-marinhas (Fotos 16 e 17).

Na RMF ocorrem todos estes problemas, dos quais o mais comum é a associação entre poço/fossa onde não existe, até mesmo em função de espaço físico, a distância mínima recomendada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (30 metros).

Foto 16 – Aspectos da planície fluvial com vegetação de carnaúbas.
Distrito de Dourado, Guaiúba/CE

Foto 17 – Poço tubular (desativado) localizado na planície fluvial salinizada.
Distrito de Dourado, Guaiúba/CE

- **Perfuração:** Associada ao desconhecimento de informações locais de sub-superfície, que deveriam ser geradas em etapas anteriores, não existe a preocupação se a perfuração atinge, ou não, níveis aquíferos poluídos, ou profundidades não recomendáveis para o contexto, principalmente na orla costeira.

Desta forma, a perfuração pode propiciar condutos diretos para que as cargas poluidoras atinjam as águas subterrâneas. Na orla marítima é comum se observar poços com profundidades acima de 40 metros, não recomendável em função da proximidade da interface água doce/água salgada, gerando um risco maior de intrusão salina.

- **Completação:** É um dos problemas mais freqüentes, à medida em que não existe o dimensionamento correto dos filtros e a proteção sanitária da obra.

É comum a utilização de tubos de PVC ranhurados à serra, com espaçamento e largura de aberturas(ranhuradas) aleatórias, sendo colocados, no geral, do nível estático ao final da sondagem. A proteção sanitária não é prática comum, ocorrendo muito raramente. Assim, o “poço” passa a funcionar como condutor direto e eficiente das águas mais superficiais, quase sempre poluídas, a níveis aquíferos mais profundos.

Assim, um poço mal locado e/ou construído pode ser um elemento condutor de águas poluídas para níveis mais profundos. A somatória do emprego de várias fases erradas pertinentes a obra, pode resultar em uma obra não aceitável para funcionar como captadora de águas subterrâneas. Outro ponto que deve ser ressaltado, está na utilização das ferramentas de perfuração, que não são desinfectadas antes de se iniciar a perfuração, independente das condições de limpeza reinantes.

4.5. Aspectos de Vulnerabilidade Natural e Risco dos Sistemas Aquíferos à Poluição

O conceito de vulnerabilidade natural das formações aquíferas começou a ser aplicado desde a década de 60, embora seu uso não tenha tido grande propagação até o princípio da década de 80. Em geral, entende-se que vulnerabilidade faz referência a qualidade da água e, particularmente, a incorporação de substâncias nocivas à saúde na água subterrânea, embora se deva considerar com a mesma importância a vulnerabilidade em

relação a quantidade, a exemplo da perda de recursos perante uma estiagem ou a uma super-exploração (CUSTÓDIO, 1994).

A vulnerabilidade de aquíferos pode ser definida sob vários aspectos. No geral, ela é definida em relação à susceptibilidade que um sistema aquífero tem de vir a ser degradado por atividades antrópicas (FOSTER et al, 1988; CUSTÓDIO, op. cit.; HIRATA & REBOUÇAS, 1996; REBOUÇAS, 1994; DUARTE, 1997), o que implica na maior ou menor probabilidade de alteração negativa da qualidade da água subterrânea em consequência das atividades humanas.

HIRATA (1994) e HIRATA & REBOUÇAS (op. cit.) analisaram programas de proteção da qualidade das águas subterrâneas aplicadas em diferentes países, concluindo que existem duas linhas básicas e quase sempre independentes de conduta. A primeira tem como referência o poço, para a qual se estabelece perímetros de proteção (PPP), definidos sobre o tempo de trânsito específico, distância da fonte poluidora e/ou comportamento hidráulico do aquífero. A segunda, mais abrangente, enfoca o sistema aquífero, adotando-se restrições ao uso da terra associadas ao grau de vulnerabilidade à poluição do aquífero e a importância da água como fonte de abastecimento público.

A técnica de análise de proteção das águas subterrâneas através de Perímetros de Proteção de Poços (PPP) é considerada eficiente para aquíferos simples, homogêneos e isotrópicos. Porém, deve ser ressaltado que a análise deve focar contextos específicos, haja vista que em áreas urbanas com elevada densidade populacional e grande incidência de poços, a exemplo de Fortaleza/CE, onde praticamente não existe uma distância mínima entre poços que seja obedecida, ocorre uma grande dificuldade no traçado do PPP, podendo gerar recomendações não aceitáveis sob o ponto de vista prático sobre perímetros de proteção.

O mapeamento do grau de vulnerabilidade natural do sistema aquífero, associando-se as características hidrogeológicas com os aspectos hidro-ambientais, sócioeconômicos, uso e importância da água sob uma visão sistêmica, é recomendável, sendo mais adequada ao planejamento e gestão integrada dos recursos hídricos. Integrando os fatores intervenientes para preservação das características naturais do meio, conduzirá ao estabelecimento de zonas de proteção dos sistemas aquíferos, associadas a existência do risco

de degradação dos aspectos qualitativos e/ou quantitativos da água por atividades potencialmente poluidoras.

Técnicas e estratégias para a proteção das águas subterrâneas, associadas a proposição de metodologias de avaliação, são abordadas em ALLER et al (1985), FOSTER et al (1988), FOSTER & HIRATA (1991), HIRATA (1994), CUSTÓDIO (1994) e HIRATA & REBOUÇAS(1996), dentre outros.

Diversos métodos têm sido propostos para se trabalhar com aspectos de vulnerabilidade natural, a exemplo do SAI - *Surface Impoundment Assessment* e LSR - *Landfill Site Ranking* (LE GRAND, 1964), SRS - *Site Ranking System* (HAGERTY et al, 1973), *Waste Soil-Site Interaction Matrix* (PHILIPS et al, 1977), HRS - Hazard Ranking System (CALDWELL et al, 1981), SRM - Site Ranking Methodology , Pesticide Index (RAO et al, 1985), DRASTIC (ALLER et al, 1987), *Nitrate Vulnerability Map* (PALMER, 1988), RSS - Risco por Sistemas de Saneamento in Situ, e GOD (FOSTER & HIRATA, 1988, 1991) (in HIRATA, 1994)

Dois métodos são bastante utilizados na área de vulnerabilidade: DRASTIC (ALLER et al, 1987) e GOD (HIRATA & FOSTER, 1988, 1991 E HIRATA, 1994). O primeiro analisa apenas a vulnerabilidade do aquífero, independente do tipo/volume da carga contaminante, envolvendo o conhecimento sobre a profundidade do nível d'água (*Depth* - D), recarga (*Recharge* - R), tipo de aquífero (*Aquifer* - A), tipo de solo (*Soil* - S), topografia (*Topography* - T), impacto de contaminantes (*Impact* - I) e condutividade hidráulica (*Conductivity* - C), associado a uma avaliação do risco mediante a consideração dos fatores intervenientes (IMPACT) (ALLER et al, op. cit.).

O segundo método - GOD foi desenvolvido para analisar apenas a susceptibilidade das águas subterrâneas à uma contaminação geral, podendo ser acoplado a um sistema de análise das cargas contaminantes, resultando em definições de riscos de poluição (HIRATA, op. cit.). É mais simples e adaptado para áreas com menos dados, onde se utiliza três parâmetros básicos: tipo de aquífero (*Groundwater occurrence*- G), visão global dos litotipos da zona não saturada (*Overall of lithology of aquiperm* - O) e a profundidade do nível d'água (*Depth* - D).

Na RMF existem quatro (4) sistemas aquíferos: dunas/paleodunas, aluviões, Barreiras e cristalino, com diferentes classes litológicas, porosidades e condutividades hidráulicas, posicionamento do nível estático, uso e ocupação do meio físico.

Sob o ponto de vista hidrogeológico (tipo de aquífero, litotipos da zona sub-saturada, posicionamento do nível d'água, porosidade eficaz e condutividade hidráulica) podem ser distinguidas quatro (4) classes de vulnerabilidade: **Extrema** - existente nos sistemas dunas/paleodunas e aluviões, onde o aquífero é susceptível à poluição, independente do tipo de carga contaminante ; **Alta** - existente no sistema cristalino, ou seja, nas áreas onde existe zonas fraturas abertas, interconectadas e associadas a área de recarga, possibilitando uma rápida migração e poluição pela maioria dos compostos; **Alta a Moderada** – existente no sistema Barreiras, onde o aquífero é susceptível à poluição por muitos tipos de contaminantes, exceto àqueles que são rapidamente absorvidos/adsorvidos ou transformados através de reações físico-químicas diversas e; **Baixa a Muito Baixa** – existente nas rochas não fraturadas do embasamento cristalino e/ou com fraturas fechadas, onde a porosidade e condutividade hidráulica são praticamente inexistentes e, portanto, não existindo praticamente condições de fluxo subterrâneo,

O risco potencial de poluição das águas subterrâneas é atribuído a interação entre dois (2) fatores fundamentais: a carga contaminante lançada no meio físico pelas atividades antrópicas e, ao grau de vulnerabilidade natural do sistema aquífero.

A velocidade de percolação das águas subterrâneas é lenta e complexa na dependência das condições hidrogeológicas locais. Independente das características do contaminante (tipo, modo de disposição, quantidade, tempo de exposição, etc), associada a capacidade de atenuação, absorção/adsorção do meio percolado, existe a possibilidade de migração da carga poluidora ao longo do tempo, gerando contaminação a longo prazo.

Avaliar os mecanismos de transporte e diagnosticar as transformações bio-físico-hidrogeoquímicas são pontos críticos na avaliação dos riscos de contaminação das águas subterrâneas e na implementação de medidas de gestão dos problemas em questão (REBOUÇAS, 1994).

É recomendável avaliar o grau de autodepuração existente na zona não saturada, considerada como o principal meio de retenção das cargas poluidoras. No geral, se trabalha com poluição e/ou contaminação das águas subterrâneas de modo efetivo, já que praticamente não existe o monitoramento preventivo na primeira zona (zona sub-saturada) a ser atravessada pela carga poluente.

Segundo REICHARD, 1990 (in REBOUÇAS, op. cit.), a tendência atual de avaliação dos riscos de contaminação das águas subterrâneas é da evolução da abordagem tecnológica (vulnerabilidade “*versus*” cargas contaminantes, ou de reservas/qualidade “*versus*” uso atual e/ou futuro) para uma avaliação dos riscos e definição das ações de gerenciamento desses riscos, em termos de saúde pública, nos limites tecnológicos disponíveis.

A gestão dos riscos significa o processo de avaliação e seleção dos instrumentos legais e institucionais para se trabalhar com prevenção, mitigação e correção dos efeitos danosos causados pelas ações antrópicas aos sistemas aquíferos, considerando-os como parte integrante do meio ambiente.

Considerando o grau de vulnerabilidade natural dos sistemas aquíferos da RMF, associado aos fatores de uso e ocupação do meio físico, funções dos aquíferos, uso atual da água e efeitos potenciais adversos à saúde pública, observa-se que as dunas/paleodunas possuem um risco muito elevado, chegando ao extremo de terem suas águas subterrâneas poluídas.

O sistema Barreiras, apesar de possuir sua área superficial densamente ocupada, possui níveis silto-argilosos que podem minimizar a migração de cargas poluidoras, e um nível d'água mais profundo que implica em um maior tempo de trânsito e, conseqüentemente, apresenta um risco moderado às cargas poluidoras.

O sistema cristalino possui um comportamento anisotrópico e heterogêneo, ficando sujeito a um moderado a alto risco de poluição em suas áreas fraturadas, desde que estas tenham fraturas abertas que possibilitem a percolação dos poluentes.

Convém ressaltar que podem existir sistemas aquíferos com um grau extremo de vulnerabilidade natural, porém com um risco muito baixo à poluição em função da inexistência de cargas poluidoras, ou vice-versa, áreas com um grau de vulnerabilidade muito baixo, porém submetidas a elevadas e constantes cargas poluidoras e que, ao longo do tempo venha a sofrer degradação na qualidade das águas subterrâneas.

Os campos de dunas/paleodunas ainda não ocupados pelo homem, representam o primeiro caso e podem constituir áreas de preservação ambiental. O segundo caso é representado pelas áreas do embasamento cristalino onde estão sendo instaladas fábricas diversas, inúmeras para trabalharem com produtos tóxicos, ou em áreas selecionadas para disposição de resíduos sólidos. É necessário o monitoramento qualitativo das águas subterrâneas a fim de se trabalhar em caráter preventivo caso ocorra modificações nos aspectos qualitativos.

4.6. Sistema de Abastecimento d'Água da Região Metropolitana de Fortaleza

Para subsidiar o entendimento e integração de informações a fim de se ter elementos para compor o estudo de gestão e planejamento integrado dos recursos hídricos da RMF, uma das necessidades básicas é o conhecimento sobre o sistema de abastecimento de água, que permitirá a visualização direta das ofertas e demandas atendidas, bem como dos planos governamentais utilizados quando a demanda supera a oferta.

A abordagem legal da legislação e proteção hidro-ambiental dos recursos hídricos do Estado do Ceará obedece a Legislação Federal, mas evoluiu a nível da Lei Estadual nº 10.148 de 02/12/87 que dispõe sobre a preservação e controle dos recursos hídricos cearenses. A Companhia de Água e Esgotos do Estado do Ceará - CAGECE foi criada pela Lei Estadual nº 9.499 de 10/06/71, sendo administrativamente vinculada a Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente do Estado do Ceará, e é responsável pelo fornecimento dos serviços públicos de água e esgoto a nível estadual.

O sistema de abastecimento de água para a RMF possui duas origens: água dos reservatórios superficiais e água subterrânea. O primeiro é constituído pelo sistema Pacoti-Riachão-Gavião (511.000.000 m³), açudes Pacajus (148.000.000 m³) e Acarape do Meio

(34.000.000 m³), e a lagoa do Catu (2.565.576 m³), que abastecem aproximadamente 65% da área. O segundo é representado, fundamentalmente, pelas unidades aquíferas dunas/paleodunas e Barreiras, captadas por poços tubulares de até 60 metros de profundidade e com vazões variáveis, atingindo até cerca de 15 m³/poço.

O Sistema Pacoti-Riachão-Gavião é interligado através de túneis e canais (Figura 14). A Estação de Tratamento d'Água - ETA está localizada próxima ao açude Gavião, distando aproximadamente 20 km da Grande Fortaleza, com capacidade atual para 5,16 m³/s e projeto de ampliação para 9,0 m³/s. Desta, a água é recalçada para o Reservatório do Ancuri (capacidade de 40.000 m³) de onde é distribuída para quinze (15) reservatórios setoriais principais (Tabela 22) e mais cinco (5) menores, todos localizados em Fortaleza, além de reservatórios situados nas sedes de Caucaia e Maracanaú.

Dados fornecidos em março/96 (Dados Operacionais - Sistema Gavião) pela CAGECE mostram que existe uma perda de 6,5% para Fortaleza, entre os volumes d'água produzido (12.864.590 m³/mês) e distribuído (12.023.531 m³/mês), e de 45,2% entre volumes distribuído e medido (6.587.649 m³/mês).

O consumo "per capita" médio encontrado em 1995 para as cidades de Aquiraz, Maranguape, Pacatuba e Guaiúba foi de 185 L/hab/dia, com máximo para Pacatuba (292 L/hab/dia) e mínimo para Maranguape (116,5 L/hab/dia). A média reflete um consumo dentro do admissível em projetos, ou seja, 200L/hab/dia.

As perdas d'água existem por falta de monitoramento dos sistemas de adução e implementação de medidas corretivas. Observa-se que em vários pontos ao longo do sistema existem áreas da adutora em avançado estado de oxidação, particularmente em pontos de solda, e que sua vida útil está no limite de duração. A partir daí, o risco de rompimento da tubulação e o vazamento d'água torna-se efetivo.

Tabela 22 - Reservatórios de distribuição operados pela CAGECE – RMF

Reservatório de Distribuição	Reservatório Enterrado (m ³)	Reservatório Elevado (m ³)	Volume Total (m ³)
Sargento Hermínio	33	--	33
Cel. Melquíades	191	--	191
Conj. Polar	200	--	200
Nova Assunção	200	--	200
Beira Rio	370	--	370
Conjunto Ceará	1.800	750	2.550
Vila Brasil	2.100	500	2.600
Distrito Industrial	4.000	300	4.300
Cocorote	13.500	1.000	14.500
Mucuripe	15.000	--	15.000
Expedicionários	20.000	1.800	21.800
Pici	25.000	1.200	26.200
Aldeota	30.000	2.750	32.750
Floresta	32.500	2.000	34.500
Benfica	40.000	2.000	42.000
TOTAL	182.794	12.300	197.194

Fonte: SIRAC, 1989

Na adutora do Acarape do Meio, responsável pelo abastecimento das cidades de Guaiúba, Pacatuba, Maranguape e Maracanaú, pontos com grandes vazamentos são comuns no trecho entre Mata Fresca e Itacima (município de Guaiúba) onde existiam, até dezembro/97, quinze (15) vazamentos que cediam uma vazão estimada de 400 m³/h, ou seja, 3,5 milhões de m³/ano (Fotos 18 e 19).

Considerando-se a taxa média de abastecimento d'água para a região (0,185 m³/hab/dia) (CAGECE, 1996), este volume é suficiente para atender 51.892 habitantes, ou seja, a população total do município de Guaiúba (17.658 habitantes) e 81,7% (34.234 habitantes) da população urbana de Pacatuba.

Os poços tubulares existentes no contexto destes municípios (embasamento cristalino) possuem vazão média de 2,5 m³/h. É necessário a perfuração de 480 poços que cedam esta vazão e que funcionem 8 horas/dia para se obter o volume d'água perdido por vazamentos no trecho entre Mata Fresca e Itacima.

4.6.1. Águas Superficiais

Na RMF, a demanda supera a oferta de água oriunda dos reservatórios superficiais, com o abastecimento à população agravando-se durante os períodos de longa estiagem, quando a falta de chuvas, associada a uma intensa evaporação, provoca uma drástica diminuição dos volumes armazenados.

Isto afeta particularmente os principais sistemas de captação existentes (Pacoti-Riachão-Gavião, Pacajus e Acarape do Meio). A tabela 23 ressalta a situação monitorada entre 1992/93 pela FUNCEME, retratando a diminuição sensível dos volumes estocados, parte bombeado para abastecimento público, parte perdido pela evaporação, chegando a 5,8% da capacidade máxima de armazenamento, ou seja, praticamente seco, ao ponto de nessa época se poder caminhar nas bacias hidráulicas.

Foto 18 – Vazamento na adutora do Acarape do Meio.
Localidade de Jatobá, Distrito de Itacima, Gaiúba/CE (Set/97)

Foto 19 – Vazamento na adutora do Acarape do Meio.
Distrito de Itacima, Gaiúba/CE (Set/97)

Tabela 23 - Monitoramento dos volumes armazenados em açudes - RMF

Açude	Município	Capacidade Máxima (m ³) x 10 ⁶	Monitoramento	Volume (m ³)	% da Capacidade Máxima
Pacoti Riachão Gavião	Pacoti, Pacatuba e Itaitinga	511	dez/91	214.620.000	42,0
			jan/92	209.393.000	41,0
			set/92	168.559.000	33,0
			out/92	149.439.000	29,2
			dez/92	114.000.000	22,3
			jan/93	104.137.478	20,3
			11/02/93	90.083.384	17,6
			30/03/93	73.287.374	14,3
			27/04/93	65.585.116	12,8
			27/05/93	52.872.009	10,3
			29/06/93	45.241.287	8,8
			15/07/93	34.856.058	6,8
			09/08/93	29.520.656	5,8
			31/05/95	511.000.000	100
			26/02/93	10.163.134	29,8
			31/03/93	8.774.758	25,7
			27/04/93	7.670.931	22,5
			30/05/93	6.847.291	20,0
Acarape do Meio	Pacajus	34	29/06/93	5.558.362	16,3
			15/07/93	5.569.300	16,3
			09/08/93	5.208.274	15,3
			25/10/93	3.075.280	9,0
			31/05/95	34.100.000	100

Fonte: FUNCEME, 1995

Na tabela 24 constam os potenciais de água superficial para cada bacia hidrográfica, conforme informações do Plano de Aproveitamento dos Recursos Hídricos da R.M.F - Fase II (AUMEF, 1984). A tabela 25 contém a capacidade dos reservatórios responsáveis pelo abastecimento de parte da Região Metropolitana de Fortaleza, com estocagem máxima de 693 hm³.

Tabela 24 - Bacias Hidrográficas da Região Metropolitana de Fortaleza

Bacia	Área (km ²)	Oferta Potencial (m ³ /ano) x 10 ⁶
Rio Caponga Funda	45,47	13,66
Rio Juá	102,67	34,95
Rio Catu	217,30	47,78
Rio Maranguape	235,05	56,90
Rio Cauípe	296,99	93,40
Rio Cocó	443,96	127,68
Rio São Gonçalo	464,59	56,86
Rio Ceará	568,73	154,92
Rio Pacoti	717,06	200,50
TOTAL	3.091,82	786,65

Fonte: AUMEF, 1984

Tabela 25 – Açúdes responsáveis pelo abastecimento de água da RMF

Açúdes	Capacidade Máxima de Armazenamento (m ³) x 10 ⁶	(%)
Acarape do Meio	34	4,9
Gavião	54	7,8
Riachão	87	12,5
Pacajus	148	21,4
Pacoti	370	53,4
TOTAL	693	100

Fonte: SRH, 1995

O reservatório Acarape do Meio está fora dos limites da área de estudo, constituindo uma transposição de bacias, realizada através de canais de transposição e adução com utilização de tubulações metálicas.

A população estimada para a RMF em 1994 era de 2.524.426 e pelos dados fornecidos pela Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará, 1.519.588 habitantes (60,2%) tinham água tratada da CAGECE.

Isto significa dizer que, com exceção do abastecimento complementar da lagoa do Catu (Aquiraz), o restante é realizado através de poços, o que demonstra a importância das águas subterrâneas no abastecimento urbano da RMF, atendendo a um mínimo de 635.031 habitantes (41,8%).

Entre todos os municípios, o de Eusébio é o único a não dispor do serviço de água tratada da CAGECE ou da Fundação Nacional de Saúde (FNS), sendo o serviço realizado por Sistema Autônomo. A tabela 26 mostra a relação população urbana/abastecimento nos municípios que integram a RMF.

Dados fornecidos pela CAGECE (1996), associados a população estimada para 1994 (Brandão et al, op. cit.) mostram que 66,3% (1.748.513 habitantes) da população não possuem serviço de água tratada.

Observa-se que o percentual de atendimento da população urbana com água tratada é muito variável, indo de 3,7% (Aquiraz) a 83,9% (Fortaleza). Quanto menor for este percentual, maior será a utilização das águas subterrâneas.

As águas do Sistema Pacoti-Riachão-Gavião respondem pelo abastecimento de 1.705.461 habitantes, 97,5% do contingente populacional abastecido pela CAGECE (1.748.513 habitantes), distribuídos nas cidades de Fortaleza, Caucaia e Maracanaú. O restante (2,5%) é abastecido pelo açude Acarape do Meio (Guaiúba, Maranguape, Pacatuba e parte de Maracanaú) e pela lagoa do Catu (Aquiraz), não existindo dados relativos a Eusébio (22.388 habitantes).

Tabela 26 - População abastecida com água tratada na RMF
(1º Semestre de 1996)

Município	População (hab)	População Urbana (hab)		População (hab)
		Abastecida	Não Abastecida	Atendimento (%)
Aquiraz	50.378*	1.859	48.519	3,7
Caucaia	186.858*	24.908	161.950	13,3
Eusébio	22.388*	---		
Fortaleza	1.985.481 **	1.665.705	319.776	83,9
Guaiuba	18.792*	5.661	13.131	30,1
Itaitinga	20.640*	3.115	17.525	15,1
Maracanaú	230.738 **	14.848	215.890	6,4
Maranguape	77.367*	25.075	52.292	32,4
Pacatuba	43.783*	7.342	36.441	16,7
TOTAL	2.636.425	1.748.513	865.524	66,3

Fontes: *Brandão et al, 1995 - ** CAGECE, março/96

Comparando-se a população atendida pela CAGECE constante na tabela 26, com a população total estimada para a RMF para 1995 (2.606.646 habitantes) proposta pelo IPLANCE (1996) observa-se que 858.133 (32,9%) não possuem serviço de água tratada, ou seja, somente 67,1% da população da RMF é beneficiada. Ressalta-se que os dados da CAGECE apresentados anteriormente são restritos a área urbana, deixando fora o contexto rural.

Excluindo-se os açudes operados pela CAGECE, a AUMEF (1984) ainda cadastrou na RMF mais 426, que juntos possuem 4.402 ha (44 km²) e armazenam um volume de 88,6 milhões de m³, conforme mostra a tabela 27.

Tabela 27 - Açudagem na Região Metropolitana de Fortaleza
(excluídos o Pacoti-Riachão-Gavião)

Bacia Hidrográfica	Nº de Açudes	Espelho d'Água (ha)	Volume Armazenado (m ³)
Guaribas	não existe açude		
Caponga Funda	02	3,6	32.692
Rio Juá	17	25,6	226.928
Cauípe	16	37,6	381.039
Rio Catu	12	37,6	443.226
Rio Maranguape	24	69,2	826.444
Rio Ceará	98	961,3	17.180.525
São Gonçalo	40	861,9	19.912.524
Rio Cocó	64	961,5	23.453.184
Rio Pacoti	153	1.444,2	26.184.098
TOTAL	426	4.402,5	88.640.660

Fonte: AUMEF, 1984

Ressalta-se que na RMF existem dezenove (19) açudes com capacidade máxima de armazenamento superior a um (1) milhão de m³/açude distribuídos, predominantemente, nas bacias hidrográficas do Rio Ceará (8), Pacoti (7) e São Gonçalo (4).

Destacam-se, além do Pacoti-Riachão-Gavião, o Amanari (espelho d'água de 270 ha e 7.512.206 m³) e Anil 2* (238 ha e 6.449.877 m³) na Bacia do São Gonçalo; açudes do Toque (117 ha e 2.687.819 m³) e Bom Princípio (94,5 ha e 2.067.282 m³) na Bacia do Cocó e o açude do Papara (180 ha e 4.653.949 m³) na Bacia do Pacoti.

A existência desses mananciais no âmbito da RMF, com espelho d'água de 4.402 ha e armazenamento de 88,6 milhões de m³, demonstra que existe um investimento direcionado para captação de água superficial, com aproveitamento das mínimas capacidades das drenagens intermitentes, procurando, desta forma, armazenar o maior volume hídrico possível dentro das limitações de custo/área hidráulica pertinentes a cada situação.

4.6.2. Águas Subterrâneas

As águas subterrâneas da RMF possuem uma função estratégica, servindo como alternativa no abastecimento humano e industrial, particularmente nos períodos críticos de falta d'água.

Remonta a 1867 o início da captação de água subterrânea por poços tubulares no Brasil, quando foi perfurado o primeiro poço no Ceará pela *Ceará Water Company* sob um contrato de risco, no município de Fortaleza (CEARÁ, 1992). Na realização do Plano Estadual dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará - PERH (CEARÁ, op. cit.), foram cadastrados 11.033 poços tubulares, com 3.759 (34%) deles no âmbito da RMF.

A utilização das águas subterrâneas na área de estudo é generalizada, sendo captada para abastecimento público, por solicitação de prefeituras municipais e órgãos estaduais, indústrias, condomínios, rede hoteleira, hospitais e creches/escolas, além de inúmeras outras destinações particulares.

Deve ser ressaltado a existência de duas baterias de poços tubulares rasos (8-15 metros), embora hoje estejam desativadas, localizadas sobre a unidade dunas/paleodunas, construídas à época para auxiliar no abastecimento público de Fortaleza.

A primeira, denominada “bateria de poços do Cocó”, encontra-se nas dunas próximas ao rio Cocó, bairro do Papicu - Fortaleza. Foi construída em 1965 pelo Serviço Autônomo de Abastecimento de Água e Esgoto do Ceará - SAAGEC, atualmente Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará - CAGECE, sendo constituída de 66 poços tubulares rasos (8-10 metros) e amazonas, que forneciam 5.500 m³/dia a Fortaleza, representando 19,3% da demanda atendida pela CAGECE na época (BELTRÃO & MANOEL FILHO, 1973).

A segunda bateria, denominada “bateria de poços da Abreulândia”, distando 18 km do local de demanda, foi construída em 1978 pela CAGECE na praia da Abreulândia, em Fortaleza, para ser operada pela Companhia de Habitação do Estado do Ceará - COHAB, e constava de 25 poços tubulares rasos (10 - 12 metros) que cediam uma vazão de 160 m³/h para o abastecimento do Conjunto Residencial José Walter, em Fortaleza.

No início da década de 80, com a entrada em operação do sistema Pacoti-Riachão-Gavião e associado a problemas derivados do bombeamento excessivo que causou rompimento de filtros, carreamento de areia para dentro dos poços e intrusão da cunha salina, a bateria de Abreulândia foi desativada.

Até agosto/89, quando foram cadastrados poços para o PERH, a RMF tinha 3.759 e destes, 2.520 (67%) em Fortaleza. O cadastro atualizado até 1995 demonstra que existem 4.465 poços tubulares para a RMF, com Fortaleza possuindo 2.916 (65,3%) (Tabela 28).

Tabela 28 - Cadastro de poços tubulares da RMF até 1995.

Município	Ano								
	PERH*	1989**	1990	1991	1992	1993	1994	1995	Total
Itaitinga	--	--	--	--	01	04	06	01	12
Guaiúba	07	--	--	01	--	04	01	--	13
Eusébio	39	01	03	04	07	03	05	02	64
Pacatuba	139	--	01	02	02	01	03	--	148
Maracanaú	87	01	04	08	12	48	06	10	176
Maranguape	182	01	--	01	06	04	01	03	188
Caucaia	372	--	05	22	24	22	17	02	465
Aquiraz	413	--	09	13	12	10	12	04	473
Fortaleza	2.520	39	32	37	60	135	58	35	2.916
TOTAL	3.759	42	54	88	124	231	109	57	4.465

* Cadastrados até agosto de 1989

** set. a dez/89

Isto demonstra que foram perfurados mais 706 poços, 18,8% em relação ao total cadastrado para o PERH. Comparativamente, destacam-se os municípios de Maracanaú, Eusébio e Caucaia, com aumentos de 102%, 64% e 25% em relação ao número de poços que tinham à época do PERH, enquanto Fortaleza teve somente 15,7%.

O aumento significativo (102%) de poços em Maracanaú no período de 1990 a 1995 é consequência da implantação de indústrias no I Distrito Industrial.

Após o PERH, o maior número de poços situa-se entre 1992/94, quando foram perfurados 464 (65,7%). Duas situações foram responsáveis por este fato: 1ª) um período com escassez de água na RMF, quando a CAGECE implantou um forte racionamento, e; 2ª) o

surgimento do surto epidêmico do cólera que assolou o Estado do Ceará. Consequentemente, a atividade da perfuração de poços cresceu bastante, à medida em que a população necessitava de água potável e via na água subterrânea a solução.

O cadastramento realizado após o PERH mostra que 85,6% dos poços destinam-se, preponderantemente, ao consumo humano, seja através do abastecimento público, condomínios, hotéis ou particulares (Tabela 29), demonstrando que a água subterrânea vem tendo uma procura maior a cada dia, em consequência do baixo custo envolvido na captação, melhor qualidade físico-química e necessidade crescente perante a prática de racionamento d'água pela companhia de abastecimento público.

Tabela 29 - Principais usos dos poços tubulares da RMF - Setembro/89 a 1995

Atividade	Nº de Poços	% em relação ao total
Granjas	05	0,7
Hospitais	10	1,4
Indústrias Diversas	87	12,3
Creche/Escola	103	14,6
Prefeituras Municipais/Chafarizes	118	16,7
Condomínios / Hotéis	176	24,9
Abast. particular/Sítios	207	29,4
TOTAL	706	100

CAVALCANTE et al (1996) consideram que de 40 a 60% da população fortalezense utiliza água subterrânea, captada por poços tubulares rasos (profundidade inferior a 20 metros), profundos (entre 20 - 80 metros) e cacimbas. Ressaltam que, além do percentual populacional não atendido pela CAGECE (33%), quase toda fábrica, condomínio, hospital, residências e estabelecimentos diversos utilizam água subterrânea para abastecimento principal ou complementar, e esta atividade não consta em nenhum cadastro.

4.7. Planos Emergenciais para Abastecimento de Água

Nos períodos de longas estiagens, nos quais falta água até para beber, o governo estadual implanta planos emergenciais para abastecimento, a fim de amenizar o problema, utilizando carros-pipa, perfuração de poços tubulares e construção do Canal do Trabalhador (1993).

Na implementação desses planos, o governo integra a Secretaria dos Recursos Hídricos, Superintendência de Obras Hidráulicas, Defesa Civil, DNOCS, o Batalhão de Engenharia do Exército no Ceará e a FUNCEME, que atua na área da pesquisa de reservatórios/obras alternativas e escolha de comunidades para implantação de sistemas de dessalinização por osmose reversa em poços tubulares.

4.7.1. Carros-Pipa

A distribuição de água com a utilização de carros-pipa se constitui em uma das práticas mais comuns no Ceará, aumentando consideravelmente em épocas de estiagens.

Os dados fornecidos pela Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH, 1995) demonstram que no decorrer de 1993/94, o governo estadual desenvolveu o abastecimento emergencial através deste sistema (média de 7.000 litros/carro) utilizando-se de 787 rotas no Estado, com um custo mensal de US\$ 1,200,000 (um milhão e duzentos mil dólares) para atender a 302.760 habitantes. As fontes hídricas utilizadas foram (57,3%), poços (32,9%) e rios (9,8%).

Na RMF existiam em 1993/94, 31 rotas (4% do total) que serviam para a distribuição de 5.437 m³ de água/mês, beneficiando a 10.785 pessoas (20 L/hab/dia), a um custo mensal de US\$ 12,772 (doze mil, setecentos e setenta e dois dólares), ou seja, US\$ 2,34/m³ (Tabela 30). Este valor é aproximadamente 580% superior ao custo médio (US\$/m³) da água pública tratada no Brasil (SRH, 1994), e 500% superior ao valor do m³ da água tratada cobrada em Fortaleza pela CAGECE (R\$ 0,47/m³).

Tabela 30 - Estimativa global do Programa Carros-Pipa na RMF. 1993/94

Município ou Distrito	Nº de Rotas	Consumo (m ³ /dia)	Pessoas Abastecidas	Percurso (km/dia)	Custo (rota/dia) US\$	Dias/mês
Caucaia	16	217,5	10.785	1.548	16,48	25
Maranguape	07					
Guaiúba	04					
Itaitinga	03					
Messejana	01					
TOTAL	31					

Fonte: SRH, 1995

A captação d'água de qualquer uma das fontes citadas não obedece os requisitos mínimos de qualidade estabelecidos em normas técnicas e, muito menos, de coleta e transporte até o local de demanda. Nessas épocas, pode-se observar carros-pipa serem abastecidos em locais efetivamente poluídos, particularmente por coliformes fecais, e o recurso hídrico captado não ser submetido, sequer, a uma simples cloração.

Disto advém as centenas de casos de doenças de veiculação hídrica existentes no Ceará, com dezenas de óbitos, particularmente na classe infantil. Ressalta-se a ocorrência epidêmica de cólera, agravada pelo problema de qualidade d'água, nos anos de 1993 e 1994 com, respectivamente, 12.522 e 12.331 casos em Fortaleza, representando 58% dos ocorridos no Ceará, além de 400 casos fatais no Estado (CAVALCANTE et al, 1996) (Tabela 31).

4.7.2. Poços Tubulares

A perfuração de poços tubulares no programa de Planos Emergenciais é realizada pela Superintendência de Obras Hidráulicas do Estado do Ceará – SOHIDRA, ou através de firmas particulares sob a fiscalização do governo.

Tabela 31 - Série evolutiva das doenças de veiculação hídrica em Fortaleza

Doença	Casos/ano							
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Cólera	0	0	0	0	0	208	12.522	12.311
Febre Tifóide	20	25	25	12	13	4	12	09
Hepatite	686	1.025	1.169	1.110	1.579	180	1.296	2.511
Leptospirose	47	81	62	26	53	17	13	50

Fonte: Departamento de Saúde Pública/Departamento de Epidemiologia, 1995

Nesses períodos a atividade é célere em função da necessidade de se fornecer água de boa qualidade a população, meta nem sempre alcançada pela não disponibilidade de tempo para a execução das ações tecnicamente corretas, a exemplo da perfuração precedida de criteriosa locação.

Em 1993, o governo estadual estabeleceu a perfuração de 17 poços tubulares associada ao programa de combate a cólera no município de Fortaleza. Acompanhando a execução das obras, verificamos que todas estavam vinculadas a escolas e creches comunitárias, nem sempre localizadas em locais potencialmente favoráveis a construção de um poço tubular, a exemplo de situações próximas a aterros sanitários, rios poluídos ou área de planície fluvial propícia a existência de água salgada.

Em nenhuma delas foi realizado, preliminarmente, trabalhos de locação ou, posteriormente, análises físico-química e bacteriológica da água.

Desta forma, uma obra que poderia ser responsável pelo abastecimento seguro de uma comunidade, passa a ser vista como um mero “buraco”, causando o descrédito a prática de construção de poços tubulares e ao governo.

É necessário a aplicação rigorosa de critérios hidrogeológicos à prática de locação e perfuração de poços tubulares e para isto tem que existir uma integração dos conhecimentos técnicos com os fundamentos políticos nas tomadas de decisão.

4.6.3.. Canal do Trabalhador

Com a escassez d'água em 1993, o abastecimento da RMF ficou gravemente comprometido. O volume armazenado no Sistema Pacoti-Riachão-Gavião era inferior a 10% de sua capacidade máxima. A previsão era de que o atendimento pela CAGECE atingiria até somente setembro/93 e, a partir daí, as cidades abastecidas pelo sistema entrariam em colapso total. Isto gerou uma política de racionamento de água entre final de março/93 até maio/94.

O governo estadual, procurando solucionar este problema construiu um canal para captar as águas do rio Jaguaribe, em Itaiçaba, e transportá-las para o açude Pacajus (Pacajus).

O canal percorre uma extensão de 115 km (101 km de Itaiçaba ao açude Pacajus e mais 14km deste ao açude Pacoti) com seção trapezoidal (12,5 m de base maior, 5,0 m de base menor e 2,5 m de profundidade), declividade de 1,2 cm/km, lâmina d'água de 2,36 metros, velocidade de fluxo de 0,30 m/s e vazão de 6,0 m³/s.

A partir do Pacajus, as águas chegam ao açude Pacoti através de canais e duas estações elevatórias e entram no sistema de abastecimento da RMF. O custo total da obra foi de US\$ 48,000,000 (quarenta e oito milhões de dolares) e o tempo necessário para execução foi de 90 dias (01/06 30/08/93).

A obra foi denominada “Canal do Trabalhador” em homenagem a mais de 5.000 trabalhadores que foram contratados para executá-la, sendo totalmente escavada e constituída

por cortes, aterros e sifões, revestida em concreto em uma área de 100.000 m² e mais 1.400.000 m² de manta asfáltica de 4 mm de espessura (Foto 20).

Em muitos trechos, a manta encontra-se rompida e as paredes do canal estão sulcadas pelo processo erosivo mais acentuado, situações que refletem a não adoção das medidas preventivas recomendadas pelos estudos ambientais.

Foto 20 – Canal do Trabalhador - Estado do Ceará

**5. DIRETRIZES PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
NO ÂMBITO DOS RECURSOS HÍDRICOS**

5. DIRETRIZES PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO ÂMBITO DOS RECURSOS HÍDRICOS

5.1. Caracterização do Tema

Os recursos hídricos representam um vetor de extrema importância no desenvolvimento político-sócioeconômico da humanidade. À medida em que aumenta a densidade populacional e industrial, aumenta a necessidade de água potável e os reservatórios de água superficial não conseguem atender a demanda solicitada.

Atualmente, a água subterrânea vêm sendo cada vez mais solicitada para consumo humano, indústria e agricultura. Na Europa, ela é utilizada com prioridade para abastecimento público, com índices de consumo entre 70 a 100% (Itália, Espanha, França, etc). Não obstante a importância que a água representa para a vida, ela vêm sendo intensamente degradada em seus aspectos qualitativos pela ação do homem, que no afã do desenvolvimento não respeita o meio hidro-ambiental.

A política do desenvolvimento sustentável no âmbito dos recursos hídricos busca a utilização racional da água, sob a ótica de um manejo integrado dos mananciais superficial e subterrâneo, associada de forma harmônica com o meio ambiente, de forma a garantir este recurso mineral com quantidade e qualidade para as gerações futuras. Os problemas advindos da utilização predatória do meio ambiente, particularmente da água, são discutidos a nível mundial na busca de soluções.

Na Carta Européia da Água (Conselho da Europa, França, 1968) surgiu o princípio de que *“a água é um recurso natural limitado, essencial à vida e ao desenvolvimento”*; totalmente reiterado em 1992 na Declaração de Dublin, Irlanda, pelas Nações Unidas (VIEIRA, 1994).

Desde a Conferência de Mar del Plata (1977), inúmeras conferências internacionais, congressos e encontros técnicos têm existido, gerando declarações dos direitos da água e propostas de ações para minimizar a crise da água. A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento - ECO 92 (Rio de Janeiro, 1992) produziu a Declaração do Rio e a Agenda 21.

O primeiro Diálogo Interamericano Sobre Administração de Águas (Miami, 1993) estabeleceu a Rede Interamericana de Recursos Hídricos – RIRH. A Conferência das Américas (Miami, 1994) propôs um Plano de Ação que visando a formação de Alianças para a Prevenção da Contaminação dos Recursos Hídricos e a Conferência sobre Avaliação e Manejo dos Recursos Hídricos na América Latina e no Caribe (San José, 1996) produziu a Declaração de San José e um Plano de Ações.

Em setembro de 1996 ocorreu em Buenos Aires o II Diálogo Interamericano Sobre Administração da Água, organizado pelo Instituto Nacional da Ciência e Tecnologia Hídrica (INCyTH) e pela Organização dos Estados Americanos (OEA), tendo como tema central a “*Gestão integrada dos recursos hídricos para o desenvolvimento sustentável nas Américas*”, buscando se chegar a um consenso sobre as ações mais necessárias e propor um número limitado de iniciativas específicas e, para isso, contou com representantes oficiais do governo de 22 países que integram a Rede Interamericana de Recursos Hídricos.

Finalmente, ocorreu no Rio de Janeiro (1997) a Rio 92 + 5, buscando se avaliar o que realmente se produziu desde a ECO 92, concluindo-se que muito pouco foi efetivamente realizado sobre todas as proposições tiradas em 1992.

A área do Estado do Ceará é de 146.000 km², correspondendo a 9,4% da Região Nordeste do Brasil, com 93% inseridos no “Polígono das Secas”. A escassez de água se constitui em um problema crucial para o seu desenvolvimento sócioeconômico. Integrado a este fato, está a expansão urbana dispersa resultante do êxodo rural para os grandes centros urbanos e a conseqüente redução da qualidade de vida.

A Região Metropolitana de Fortaleza – RMF, área de principal concentração, apresenta os problemas derivados de um crescimento populacional a uma taxa anual de 3,5% (em 1970 possuía uma população de 1.036.779, em 1991 de 2.303.661 e estima-se para 1996 2.600.000 habitantes). A ocupação desordenada do meio físico e a crescente favelização, ausência de saneamento básico (18%), poluição dos recursos hídricos e uma oferta d’água tratada (67%) incapaz de atender totalmente a demanda solicitada pela população, faz com que uma boa parcela desta use, de forma primitiva, o manancial subterrâneo.

O abastecimento d'água da RMF é realizado pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE que opera, fundamentalmente, com um sistema de reservatórios superficiais composto pelos açudes Pacoti-Riachão-Gavião (capacidade máxima de armazenamento de 511 milhões de m³), Pacajus (148 milhões de m³) e o Acarape do Meio (34 milhões de m³), que em épocas de estiagens mais longas - dois a três anos - chegam a ficar com volumes armazenados inferiores a 10% da capacidade máxima.

Nestes períodos, os governos estadual e municipais implantam sistemas emergências complementares de abastecimento d'água mediante a construção de poços tubulares, pequenos reservatórios e distribuição de água utilizando carros-pipa. Em 1993, o governo estadual construiu um canal de 100 km de comprimento ("Canal do Trabalhador") com a função de transportar água do rio Jaguaribe, perenizado pelo açude Orós, para o açude Pacajus e, a partir daí, ser aduzida para a RMF.

Como não existe um controle adequado de qualidade da água distribuída, nem orientação para a coletividade sobre métodos simples de tratamento (p. ex. cloração), ocorre um aumento considerável de doenças de veiculação hídrica, a exemplo do cólera, febre tifóide e doenças diarreicas.

A população da classe média/alta busca nas águas subterrâneas a solução para o problema da "falta de água" por meio da perfuração de poços tubulares. Como o objetivo maior é a captação de água, quase sempre realizada de modo emergencial, nem sempre são obedecidas as normas técnicas que regem locação, perfuração e completação de poços tubulares. Como resultado, menos de 5% das fichas técnicas de poços cadastrados neste trabalho possuem dados sobre cimentação do poço e, no geral, o poço está praticamente colado a fossa séptica, ou à uma distância normalmente inferior a cinco (05) metros.

As águas subterrâneas na área em estudo estão submetidas aos impactos antrópicos negativos de poluição sanitária, ao uso e ocupação desordenada do espaço físico e da falta de aplicação dos critérios técnicos aos poços, tanto em termos de locação quanto de proteção, resultando no comprometimento do sistema aquífero.

Assim, ciente da importância do uso integrado das águas subterrâneas para o abastecimento complementar sazonal ou mesmo regular da RMF, esta pesquisa busca

caracterizar hidrogeologicamente o meio e fundamentar a utilização racional das unidades aquíferas associadas, de modo multidisciplinar, aos fatores físicos interferentes, estabelecendo o papel dos recursos hídricos subterrâneos no abastecimento da área metropolitana de Fortaleza.

5.2. Aspectos Sócioeconômicos

A Região Metropolitana de Fortaleza - RMF foi implantada em 02/03/73 pelo Governo do Estado do Ceará, através do Decreto Lei nº 10.243. Aos municípios de Fortaleza (1823), Caucaia (1938), Aquiraz (1699), Maranguape (1851) e Pacatuba (1869), que a formaram nos primeiros anos, seguiram-se os de Maracanaú (emancipado de Maranguape - 1985), Eusébio (emancipado de Aquiraz - 1987), Itaitinga (1992) e Guaiúba (1987)(emancipados de Pacatuba) (Figura 15).

Estabelecidas legalmente, em conformidade com as constituições estaduais, as regiões metropolitanas são definidas por um agregado de municípios limítrofes caracterizados por forte fluxo demográfico, uma estrutura ocupacional com acentuada predominância dos setores secundário e terciário e um sistema de integração que se traduz pelo movimento constante de pessoas entre as unidades que as compõem, complementando e suplementando o mercado de trabalho (IBGE, 1993).

Quando foi instalada, a RMF visava integrar os municípios que gravitavam em torno de Fortaleza, a capital do Estado. Uma diretriz comum à Região seria definida, com planos convergentes nas áreas de transporte, saneamento básico, política de emprego, além de outros, objetivando o desenvolvimento harmônico do contexto.

Apesar de sérios problemas no setor rural, a economia cearense demonstrou um considerável dinamismo na década de 80 em função da expansão significativa que teve, tanto no setor secundário industrial - particularmente nas indústrias alimentícia, têxteis, calçados e vestuários - quanto no setor terciário de serviços. Entre 1980 e 1990, esses setores de base urbana aumentaram sua participação no Produto Interno Bruto (PIB) do Estado de 85% para 91%, enquanto a participação do setor primário, o agrícola, caiu de 15% para 9%.

REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA

Municípios

Aquiraz	Fortaleza	Maracanaú	Sede municipal	Ferrovia
Caucaia	Guaiuba	Maranguape	Distrito/povoado	Rio/riacho
Eusébio	Itaitinga	Pacatuba	Rodovia	Açude
				D.I. Distrito Industrial

Figura 15 - Divisão municipal

No decorrer da década, o PIB cearense cresceu a uma taxa média anual de 4,1%, gerando um aumento anual de 2,4% na renda “per capita” Este crescimento, garantido pelas atividades secundárias, teve a sua base concentrada na RMF onde destacaram-se, dentre outros, os setores têxtil e de confecção, associados as indústrias metal-mecânica, cerâmica, naval e ao desempenho do setor terciário, ressaltando-se o comércio e, mais recentemente, a indústria turística.

O setor secundário tem suas atividades concentradas em Fortaleza, que representa um centro polarizador de primeira grandeza. Das 5.349 indústrias de transformação existentes no Ceará, a RMF possui 3.815, com 3.380 estabelecidas em Fortaleza, 164 em Maracanaú e 115 em Caucaia. Fortaleza concentra, atualmente, uma população estimada em 1.909.945, cerca de 1/3 do Estado, e é responsável por 72% da oferta de trabalho (IPLANCE, 1995).

O Estado pode crescer mais rápido em termos sócio-econômico, melhorando a tecnologia empregada na lavoura, a qualificação da mão-de-obra, e empregando técnicas que aumentam a produtividade dos solos, além de trabalhar para a redução dos elevados níveis de exclusão social. Seis (6) municípios, dos nove (9) que integram a RMF, possuem uma taxa de analfabetismo inferior à média estadual (37,4%), com Fortaleza registrando o menor índice (16,8%).

O Censo Demográfico de 1991 registrou uma população de 6,6 milhões de habitantes para o Ceará, que cresceu a uma taxa de 1,7% ao ano, cuja concentração populacional predominante ocorreu na RMF (36,2%) com um crescimento a uma taxa anual de 3,5%, sobressaindo-se em segundo lugar no Brasil (Tabela 32).

Estima-se que atualmente possua um contingente populacional de 2.600.000 habitantes, o que representa 38% do total estimado para o Ceará (6.811.132).

A RMF vem sofrendo um grande adensamento populacional em suas áreas urbanas, decorrente de um acentuado movimento migratório da população rural para os centros urbanos mais desenvolvidos.

A recente expansão da Região Metropolitana, com 1.000 hab/km², aliada a sua vocação natural para as atividades turísticas, tem sido um dos principais motivos de atração às

populações interioranas. Com isso, cidades como Maracanaú (2.362,2 hab/km²), Pacatuba (310,5 hab/km²) e Caucaia (144,5 hab/km²) sofrem pressões de ocupação e adensamento populacional, destacando-se Fortaleza com 5.684,4 hab/km².

Tabela 32 - Evolução populacional na Região Metropolitana de Fortaleza

Município	População Rural			População Urbana			População Prevista Ano 2000	
	1970	1980	1991	1970	1980	1991	Rural	Urbana
Aquiraz	7.135	7.359	5.520	25.372	37.752	40.705	71.999	45.805
Caucaia	19.359	20.777	17.504	35.395	73.331	147.411	24.000	228.360
Eusébio	-	-	-	-	-	20.388	--	43.030
Fortaleza	0	0	0	857.980	1.307.611	1.765.794	--	2.405.480
Guaiúba	-	-	7.497	-	-	10.161	15.161	20.240
Itaitinga	-	-	826	-	-	11.632	--	--
Maracanaú	-	-	747	-	-	156.282	2.960	168.345
Maranguape	35.610	33.160	19.701	24.012	57.996	51.927	41.065	98.885
Pacatuba	13.915	17.301	5.697	18.001	24.809	41.869	94.235	29.570

Fonte: IPLANCE, 1993

Maracanaú apresenta uma grande concentração de indústrias e conjuntos habitacionais, funcionando como a primeira cidade dormitório da RMF e sediando o I Distrito Industrial de Fortaleza, com infra-estrutura necessária ao funcionamento de um parque industrial. Atualmente esse município concentra as maiores indústrias do Estado, a exemplo dos Grupos Vicunha e Gerdau, encontrando-se em funcionamento indústrias dos ramos de metalurgia, fiação e tecelagem, confecções, couros e peles, calçados, químicas, alimentares e de bebidas.

A RMF dispõe de uma rede bancária constituída de aproximadamente 180 agências, predominando as nacionais. Possui quatro (4) universidades: Federal (Universidade federal do Ceará), estadual (Universidade Estadual do Ceará), particular (Universidade de Fortaleza - UNIFOR) e a Universidade de Teologia, administrada pela Igreja Católica. Em Fortaleza, a rede de ensino do 1^o e 2^o Graus é constituída de 971 estabelecimentos, contando com 125 bibliotecas (BNB, 1993).

Atualmente estão em implantação cursos setoriais de graduação vinculados a universidades particulares nacionais. Existem cinco (5) canais de televisão, dezoito (18) estações de radiodifusão, além de teatros, cinemas e um variado parque de diversões adaptado

a indústria turística, contando com mais de 60 hotéis distribuídos predominantemente na faixa costeira.

Em termos de saneamento básico, somente 20% da população possui serviços da rede de esgoto. Fortaleza conta com 341 km de rede, porém o governo estadual implementou o Programa de Saneamento Básico de Fortaleza - SANEAR pretendendo aumentar para 1.025 km, beneficiando 740.000 habitantes. A inexistência de saneamento básico é agravada porque as águas servidas são geralmente jogadas na rede de drenagem superficial e lagoas, que transformam-se em canais de esgoto a céu aberto e depósitos de rejeitos líquidos indesejáveis.

Na RMF, o sistema mais comum é o da fossa séptica (54,4%), sendo esse método utilizado com ou sem sumidouro. Tal problema agrava-se seriamente pela existência de mais de 400 favelas, das quais 355 em Fortaleza (em 1991) com 544.730 habitantes, localizados geralmente às margens da rede de drenagem e/ou nas áreas de recarga da unidade dunas/paleodunas. Tal fenômeno favorece o agravamento do números de casos de doenças de veiculação hídrica em toda a RMF.

Atualmente, a RMF dispõe de três (3) aterros sanitários, estando eles localizados em Fortaleza (Jangurussu), Caucaia e Maracanaú. Está prevista a construção do Aterro Sanitário de Aquiraz e a desativação do Lixão de Jangurussu, ficando o aterro de Caucaia com a função de servir também a Fortaleza.

A produção mineral está intrinsicamente relacionada a construção civil, onde destaca-se a exploração de argila (retirada das calhas de rios/riachos de Pacatuba, Guaiúba, Eusébio e Caucaia), diatomita (retirada de praticamente todas as lagoas da RMF), areias de granulações diversas (retiradas das dunas existentes na RMF) e granitos das pedreiras existentes em Itaitinga, Caucaia, Pacatuba e Maranguape.

5.3. Funções dos Aquíferos

Até o início da década de setenta, as formações aquíferas sempre foram tratadas como unidades que tinham como única função a estocagem e liberação de água captadas

através de poços tubulares, quer para abastecimento público, quer para outras múltiplas aplicações, a exemplo do uso industrial e agrícola.

Com o reconhecimento maior de suas propriedades físicas, hidrodinâmicas e qualitativas, posicionamento estratégico perante o local da demanda e o baixo custo de implementação das obras de captação, comparativamente as águas superficiais e associada, ainda, a rápida e crescente deterioração qualitativa das águas superficiais, tornou-se mister uma abordagem dos aquíferos sob uma visão de planejamento e gestão integrada com o meio ambiente.

Analisando as múltiplas, porém integradas, funções que uma unidade aquífera pode desempenhar, e adotando a terminologia proposta por REBOUÇAS (1995, 1996, 1997), foram definidas as seguintes funções aquíferas na área: Produção; Estocagem, Filtro e Regularização; Estratégica, e; Hidro-Ambiental.

5.3.1 Função Produção

É evidente que esta é a função mais conhecida e divulgada para as unidades litológicas armazenadoras de água subterrânea, explotada, no geral, para abastecimento público, industrial e agrícola.

Relatórios da UNESCO, 1992 (in REBOUÇAS, 1996) estimam que 300 milhões de poços tubulares foram perfurados no mundo somente nos últimos 25 anos e que mais de 50% da água consumida pela população é de origem subterrânea, e que em 1/3 (90.000.000 ha) dos hectares irrigados se utiliza água subterrânea.

No Brasil, inúmeras são as cidades abastecidas predominantemente por água subterrânea, a exemplo de São Luís - MA (85 milhões de m³/ano), Natal - RN (65 milhões de m³/ano), Maceió - AL (75 milhões de m³/ano) e Região Metropolitana de Recife - PE (63 milhões de m³/ano) (ARIDAS/PR, 1995), além de 75% das cidades do Estado de São Paulo e 90% das cidades do Paraná, dentre outras (REBOUÇAS, 1996).

No Estado do Ceará, apesar de existir mais de 10.000 reservatórios de águas superficiais, dos quais 7.227 com mais de 1.000.000 m³/reservatório (açude), 43,8% (63) dos

municípios são totalmente abastecidos por água subterrânea captada através de poços tubulares (ANDRADE et al., 1995), a exemplo de Crato, Juazeiro e Barbalha que utilizam poços com profundidades de 40 até 300 metros e vazões que oscilam de 10 a 250 m³/h.

Segundo consta no Cadastro Nacional de Irrigantes (1986), o volume de água subterrânea explotado no Ceará para uso na irrigação em períodos pluviométricos normais é de 293,4 milhões de m³/ano, representando 48% do volume hídrico total utilizado, aumentando nos períodos de estiagem para 522 milhões de m³/ano (LEITE, 1994), decorrente da escassez de água superficial.

Na Região Metropolitana de Fortaleza, 67% (1.746.453) da população estimada para 1995 (IPLANCE, 1996) possuem serviço de abastecimento de água tratada oriunda do sistema de reservatórios superficiais, ficando 33% (860.193 habitantes) se auto-abastecendo com água subterrânea. Considerando que praticamente todo condomínio, hospital, indústria, residências da classe “A”, inúmeras escolas, campus universitários (Federal, estadual e particular) utilizam água subterrânea como fonte complementar ou principal, pode-se admitir que de 40 a 60% da população consome água subterrânea e/ou a utiliza em suas inúmeras atividades do dia-a-dia.

Na região costeira, as dunas/paleodunas são explotadas através de poços tubulares rasos (10 a 15 metros de profundidade e vazão média de 6,0 m³/h) para abastecimento público. O potencial liberado por este sistema aquífero é de seis (6) milhões de m³/ano, do qual somente os sistemas de Cocó e Abreulândia, ambos situados a nível de RMF e antes de serem desativados, extraíam 2,9 milhões de m³/ano (Tabela 33)

5.3.2 Funções de Estocagem, Filtro e Regularização

A função de estocagem e regularização corresponde à utilização do aquífero para armazenar excedentes de água decorrentes das enchentes dos rios, que correspondem à capacidade máxima das estações de tratamento durante os períodos de baixa demanda, ou referente ao reuso de efluentes domésticos e/ou industriais tratados, enquanto a função filtro corresponde à utilização da capacidade filtrante e de depuração bio-geoquímica do maciço natural permeável (REBOUÇAS, 1996).

Tabela 33 - Volumes extraídos das dunas por poços rasos

Local	Município	Número de Poços	Q (m ³ /h)	Q (m ³ /ano) x 10 ⁶
Cocó	Fortaleza	30	180,0	1,57
Abreulândia	Fortaleza	25	160,0	1,40
Caponga	Cascavel	11	33,0	0,29
Pecém	Pecém	09	27,7	0,24
S.G. Amarante	S.G. Amarante	03	26,0	0,23
Paracuru	Paracuru	11	66,0	0,58
Beberibe	Beberibe	17	41,5	0,36
Aracati	Aracati	12	150,0	1,31
Trairi	Trairi	05	12,0	0,10
	TOTAL	123	696,2	6,08

Fonte: CAMPOS & MENEZES, 1992

A maior parte da rede de drenagem da RMF ocorre sobre o embasamento cristalino. São rios, em sua maioria, intermitentes, rasos e com área de atuação restrita à calha fluvial, ou às pequenas manchas aluvionares. O problema de enchentes é setorial, associada a ocupação e assoreamento da drenagem impedindo o fluxo natural, restrito às margens dos rios Cocó e Ceará e em algumas lagoas, a exemplo da Opaia e Porangaba (Fortaleza).

A nível de RMF, as unidades aquíferas sedimentares que poderiam, inicialmente, ser utilizadas com a função estocagem, filtro e regularização são as dunas/paleodunas e Barreiras. Dentre os municípios da RMF, Fortaleza é o que apresenta os maiores problemas decorrentes das chuvas torrenciais e da poluição das águas superficiais por efluentes domésticos e/ou industriais.

Considerando-se uma precipitação média anual de 1.300 mm para Fortaleza, o volume precipitado sobre esta região é de 436,8 milhões de m³/ano. Existindo um sistema eficiente de canais de drenagem, mesmo considerando-se as perdas por evapotranspiração e infiltração, grande parte deste volume pode ser captado, armazenado, tratado e distribuído à população para uso menos nobre que o consumo humano, se este fosse o caso.

As dunas/paleodunas possuem características hidrogeológicas (porosidade eficaz, permeabilidade e transmissividade) que as favorecem para exercer as funções de estocagem, filtro e regularização. Porém, detém pequenas espessuras e no período de recarga natural (fevereiro a maio) o sistema fica totalmente saturado, não permitindo nenhuma recarga

adicional, comprovado pela presença do nível estático que fica sub-aflorante, ou aflorando para formar as lagoas interdunares.

A diminuição de espessura da zona saturada ocorre no verão. Neste a época, este sistema poderá ser utilizado para estocagem das águas pluviais retidas preliminarmente e/ou dos efluentes domésticos tratados, quando o aquífero desenvolverá a função depuradora. A função regularização é exercida pelo aquífero à medida em mantém o caráter influente perante as lagoas interdunares, ou drenagens efluentes, possibilitando a regularização da recarga.

O sistema hidrogeológico Barreiras possui maiores espessuras e áreas de exposição do que as dunas/paleodunas, podendo funcionar como um sistema natural de estocagem, filtro e regularização. Em função de sua composição mineralógica, apresentará melhor rendimento nos aspectos de filtração/depuração, já que as camadas silticas/argilosas possuem melhor poder de adsorção/absorção dos que as areias.

A estocagem de qualquer fluido nos sistemas aquíferos, poderá ser realizada através de bacias de espalhamento e/ou poços de injeção. Porém, deve ser precedida de criterioso estudo hidrogeológico que definirá a área mais favorável, compatível com os perímetros de proteção de poço, área de recarga/descarga, velocidade e direção de fluxo subterrâneo, gradiente hidráulico, características físico-química e bacteriológica do fluido a ser utilizado e, principalmente, distância dos poços existentes.

A função estocagem e regularização é amplamente utilizada no Centro-Oeste Americano, Califórnia, Israel, Austrália, Espanha e outros contextos de clima árido a semi-árido (MARGAT, 1990), enquanto a função filtro é bem utilizada nos países mais desenvolvidos da Comunidade Econômica Européia (OECD, 1989) (in REBOUÇAS, op. cit.).

5.3.3 Função Estratégica

Segundo REBOUÇAS (op. cit.), esta função corresponde ao gerenciamento integrado das águas superficiais e subterrâneas de áreas metropolitanas, inclusive mediante práticas de recarga artificial com excedentes da capacidade das estações de tratamento, os quais ocorrem durante os períodos de menor consumo, com infiltração de águas pluviais e efluentes líquidos tratados.

Na RMF, as águas subterrâneas respondem pelo abastecimento de aproximadamente 35% da população. A função estratégica dos sistemas aquíferos é bem desenvolvida nos períodos de longa estiagem, quando são requisitados à atender picos sazonais de demandas, seja através da captação das águas subterrâneas por particulares ou pelo governo.

Exemplo da importância do uso estratégico das águas subterrâneas pode ser citado a nível de Fortaleza, quando em 1993 o governo estadual mandou perfurar poços tubulares (17) com o objetivo de captar água potável para distribuição às populações carentes, por ocasião do surto epidêmico do cólera e escassez de água tratada.

Ainda não existe o gerenciamento integrado dos recursos hídricos porém, a COGERH e a Secretaria dos Recursos Hídricos estão implantando projetos de monitoramento de açudes e poços tubulares visando obter um maior conhecimento das águas a serem distribuídas a população.

5.3.4 Função Hidro-Ambiental

Nas últimas décadas a hidrogeologia evoluiu do enfoque naturalista tradicional para a abrangência multi-disciplinar, integrada aos aspectos do uso racional dos recursos hídricos, ocupação do meio físico e processos interativos bio-hidrogeoquímicos.

A percepção de que os processos de degradação da qualidade das águas superficiais também podem atingir os sistemas aquíferos, é relativamente recente – década de 70 nos Estados Unidos e Canadá e década de 80 na Comunidade Econômica Européia (REBOUÇAS, op. cit.).

Desta forma, cresceu a necessidade de se conhecer melhor os processos de atenuação e/ou retenção de elementos contaminantes em sub-superfície, aumentando as pesquisas para a zona sub-saturada e relações do binômio solo-água.

A partir do começo desta década é que os sistemas aquíferos da RMF começaram a ser estudados sob aspectos de poluição, particularmente em Fortaleza. Existem, atualmente,

projetos a nível de pós-graduação com enfoque sobre a poluição das águas subterrâneas por cemitérios, lixões e derivados de petróleo.

À medida em que ocorre a conscientização de que deve existir projetos multi-disciplinares e multi-institucionais, integrando o conhecimento sobre as águas subterrâneas e suas relações hidro-ambientais existirá, conseqüentemente, a minimização dos impactos antrópicos decorrentes do mau uso do solo e poluição das águas subterrâneas.

5.4 Arcabouço Legal e Institucional

Como recurso mineral esgotável, vulnerável e essencial a sobrevivência das espécies, a água necessita de um aparato legal capaz de garantir a equidade dos direitos sobre ela.

A Legislação Federal referencia preceitos básicos para as águas subterrâneas desde a vigência do Código Civil em 1916, passando pelo Código das Águas (1934), até o Código de Mineração (1967) quando recomenda o seu disciplinamento por lei especial (BARTH et al., 1987).

Referências não menos importantes à necessidade de uma legislação própria para as águas subterrâneas foram objeto de destaque durante a apresentação do Relatório da Organização da Alimentação e Agricultura - FAO apresentado em Madrid, em 1963 (REBOUÇAS & PACHECO, 1984) e em trabalhos realizados por PACHECO (1984), REBOUÇAS (1996), CAVALCANTE et al (1997), DUARTE (1997), dentre outros.

A atual Constituição Federal foi recentemente regulamentada em seus artigos específicos aos recursos hídricos pela Lei n ° 9.433 de 08 de janeiro de 1997. Com isto, ocorreu uma significativa modificação ao texto básico do Código de Águas, elevando os recursos hídricos a uma condição de estadualidade e municipalidade no direito de dispor sobre as águas, que se represam ou se estendem sobre os seus territórios (C.F. Art. 26, I), embora tenha se reservado à União a competência privativa de legislar sobre os recursos hídricos (C.F. Art. 22, VI). Assim, as águas subterrâneas passaram a ser bens exclusivos dos Estados.

Em função do fato de serem detentores de um domínio sobre as águas, vários estados possuem suas leis de organização administrativa para o setor de recursos hídricos, a exemplo do Ceará, São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Bahia, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pará e Pernambuco, além do Distrito Federal.

A Política de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, não obstante, principia normas e padrões de descentralização. O princípio da democracia, envolvendo os usos múltiplos e as diferentes formas de compartilhamento, também é assumido.

A legislação estadual trata das disposições sobre os usos, conservação, proteção e controle dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, conferindo aos municípios a obrigatoriedade de leis próprias.

Em 1992, pelo o Decreto da Lei n.º 11.996, a Política Estadual foi reforçada com a instituição do Sistema Integrado de Gestão dos Recursos Hídricos - SIGERH atendendo aos princípios fundamentais de gerenciamento, planejamento, cobrança do uso, outorga; princípios de aproveitamento e gestão dos recursos hídricos.

A instrumentalização do gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos é tratada pela Política Estadual de maneira conjunta aos recursos hídricos superficiais, e o faz através da outorga de direito de uso para a “implantação de qualquer empreendimento” que consuma estes bens (Lei n.º 11.996, Art. 4º). Neste ritmo define, dentre outras coisas, como infração às normas de utilização, o ato de *“perfurar poços para extração de água subterrânea ou a operá-la sem a devida autorização”* (Art. 4º, V).

O Decreto Lei n.º 23.067, de 11 de fevereiro de 1994, regulamenta o Art. 4º da Lei n.º 11.996, no que tange a outorga do direito de uso dos recursos hídricos baseando-se em princípios gerais, e define pontos técnicos básicos merecedores de destaque, tais como: *“a não dissociação das fases meteorológicas, de superfície e subterrânea para efeito de outorga”* (Art. 5º); *“período de 24 horas para a descarga regularizadora da vazão nominal de teste de poço”* (Art.6º, III) e a *“capacidade de reserva do aquífero como sendo a reposição sazonal da água retirada ou evadida de reserva subterrânea”*.

Uma regulamentação relevante contida neste Decreto são as condições de “não

outorga para os lançamentos de poluentes nas águas subterrâneas” (Art. 9º). Para poços tubulares, o estabelecimento da base quantitativa para a “*concessão de outorga somente para aqueles que tiverem vazões à partir de 2 m³/h*”, sendo “*insignificante qualquer consumo abaixo desta*” (Art. 36), coloca em risco a manutenção do Banco de Dados Estadual de Poços Tubulares perante a Secretaria dos Recursos Hídricos, haja vista que 75% da área estadual é representada pelo embasamento cristalino, onde a vazão média é de 2,5 m³/h. Ressalta-se a existência de programas estaduais com governos internacionais, a exemplo do Programa KFW realizado entre CAGECE/Governo Alemão, para abastecer pequenas comunidades (população inferior a 2.000 habitantes) situadas no contexto cristalino através destes poços tubulares.

São também apontadas neste instrumento jurídico da atual legislação estadual, as condições de fiscalização, infração e penalidades, embora em caráter genérico, para os casos de recursos hídricos subterrâneos e superficiais.

A evolução do sistema de gerenciamento dos recursos hídricos no Ceará ocorre através da Portaria n.º 68/94 de 15 de abril de 1994, da Secretaria dos Recursos Hídricos, em consonância com os artigos 4º e 40º da Lei n.º 11.996/93 do Estado do Ceará, que aprovam a perfuração de poços com aproveitamento para fins de uso e aplicação e controle de qualidade, desde que tenha licença especial a ser fornecida pela Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará, cuja finalidade é disciplinar as atividades de exploração das águas subterrâneas no Estado do Ceará.

Sabe-se, entretanto, que a administração das águas subterrâneas nos seus aspectos de competência, controle quantitativo e qualitativo, uso (projetos e obras de captação, extração, outorga, fiscalização, retribuições e sanções) será contemplada legalmente pelo Projeto de Lei N.º 7.127/86, que ora tramita no Congresso Nacional (STUDART & VIEIRA, 1996).

No Estado do Ceará, o arcabouço institucional desenvolvido para atuar na área dos recursos hídricos é essencial, à medida em que integra e desenvolve ações tendo por princípio básico o conhecimento de que a água é recurso fundamental ao desenvolvimento e a sobrevivência.

A Secretaria dos Recursos Hídricos - SRH/CE foi criada em 01 de abril de 1987 pela Lei Estadual n.º 11.306, reestruturada pelo Decreto n.º 11.404 de 31 de maio de 1991 e regulamentada pelo Decreto n.º 22.485 de 20 de abril de 1993, como um órgão da Administração Direta do Estado, cuja responsabilidade principal é promover a utilização racional e integrada dos recursos hídricos do Estado, além de coordenar, gerenciar e operacionalizar estudos, pesquisas, programas, projetos e serviços tocantes a recursos hídricos; e promover a articulação dos órgãos e entidades estaduais do setor com os federais e municipais.

A partir da criação da SRH, sucederam-se um conjunto de leis e medidas legais definindo e instituindo as políticas públicas estaduais relativas aos recursos hídricos, cabendo destacar-se:

- a) A criação da Superintendência de Obras Hidráulicas - SOHIDRA (Lei n.º 11.380/87), com a finalidade de planejar e executar obras e serviços no campo da engenharia hidráulica;
- b) Vinculação da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME à SRH (Lei n.º 11.380/87);
- c) aprovação da Lei n.º 11.996 de 24/07/92, dispondo sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e instituindo o Sistema Integrado de Recursos Hídricos - SIGERH;
- d) criação da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará - COGERH (Lei n.º 12.217 de 18/11/93), vinculada a SRH e tendo por finalidade gerenciar os recursos hídricos constante dos corpos d'água superficiais e subterrâneos de domínio do Estado, visando equacionar questões referentes ao aproveitamento e controle;
- e) aprovação da Lei n.º 12.245 de 30/12/93, dispondo sobre o Fundo Estadual de Recursos Hídricos.

Uma das medidas mais importantes adotadas pela SRH foi a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH, realizado no período de 1989 a 1992, que lançou as bases políticas de planejamento que foi adotada pelo setor.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A Região Metropolitana de Fortaleza abrange uma área de 3.500 km², na qual estão inseridos nove (9) municípios. Todos possuem problemas de abastecimento de água, principalmente em períodos de estiagem, quando o governo estadual implementa sistemas emergenciais através da perfuração de poços tubulares, construção de pequenos açudes e distribuição de água através de carros-pipa.

Na crise de água que aconteceu em 1993/94, foi construído o “Canal do Trabalhador” (115 km de extensão) para aduzir águas do rio Jaguaribe, pelo açude Orós, para Fortaleza, que estava na iminência de colapso total.

Estas soluções, apesar de emergenciais são, em sua maioria, paliativas. Existe o problema da falta d'água no Ceará há séculos, mas ainda não existem programas efetivos de cunho técnico preventivo, embora se conheça a situação. No geral, aguarda-se a crise d'água para se trabalhar de modo corretivo, nem sempre alcançado em seus objetivos maiores.

O planejamento e gestão integrada de recursos hídricos superficial e subterrâneo, associados a uma política de uso e ocupação racional do meio físico e proteção dos recursos hídricos, pode ser a base para o desenvolvimento harmônico entre o homem e o meio ambiente.

O abastecimento de 65% da população urbana da RMF é realizado a partir dos açudes Pacoti-Riachão-Gavião (511 hm³), Pacajus (148 hm³) e Acarape do Meio (34 hm³). Porém, em épocas de estiagens estes reservatórios são insuficientes para o atendimento normal da demanda requerida, quando a taxa de capacidade máxima de armazenamento fica, muitas vezes, inferior a 15%. Nesses períodos, o usuário se auto-abastece pela captação da água subterrânea, com a construção dos poços quase sempre não obedecendo aos critérios técnicos dos aspectos envolvidos na locação e construção da obra.

A área de estudo está representada litologicamente pelas coberturas aluvionares, dunas/paleodunas, clásticos da Formação Barreiras e rochas do embasamento Precambriano, caracterizadas pelos Complexos Gnaíssico-Migmatítico e Granítico, além de afloramentos

pontuais de piroxenitos, mármore, fonolitos e rochas ultrabásicas. Estruturalmente, existem zonas de fraturas e dobras sinformes, antiformes e recumbentes.

Na RMF existem nove (9) bacias hidrográficas (São Gonçalo, Cauípe, Juá, Ceará, Maranguape, Cocó, Pacoti, Catu e Caponga Funda) para as quais foram cadastradas 309 lagoas com área total de espelho d'água de 2.105 ha e um volume armazenado de 16,4 hm³. Este volume representa somente 2,4% da capacidade máxima de armazenamento dos açudes que abastecem a RMF, refletindo a pequena lâmina d'água existente nas lagoas e, conseqüentemente, a fragilidade destes sistemas perante a taxa de evaporação da área.

Hidrogeologicamente foram definidos quatro (4) sistemas aquíferos: aluviões, dunas/paleodunas, Barreiras e meio fraturado das rochas do embasamento Precambriano. As águas captadas dos últimos três (3) abastecem, em média, 35% da população da RMF.

O sistema dunas/paleodunas possui a melhor vocação aquífera, representado um aquífero livre, captado por poços tubulares rasos (profundidades no geral inferiores a 15 metros), espessura saturada média de 6,0 metros e vazão média de 6,0 m³/h/poço.

As aluviões não são utilizadas para exploração de águas subterrâneas, em função de estarem poluídas por efluentes domésticos e/ou industriais. O sistema Barreiras representa um aquífero livre, localmente semi-confinado, e possui significativa importância para o contexto, pois apesar de ceder pequenas vazões (no geral oscila de 1,0 a 3,0 m³/h/poço) é essencial para a população que explora suas águas subterrâneas, representando um recurso hídrico alternativo e estratégico.

As rochas do embasamento cristalino só representam um meio aquífero quando possuem zonas com fraturas abertas, interconectadas e associadas a zona de recarga. Os poços sobre este sistema possuem profundidades oscilando predominantemente entre 50 e 60 metros, cedendo vazões que variam, no geral, entre 1,0 a 2,5 m³/h.

O cálculo das reservas de águas subterrâneas da RMF basearam-se nos dados dos sistemas aquíferos dunas/paleodunas e Barreiras, não sendo abordados os sistemas aluviões e rochas do embasamento cristalino, em função da ausência de dados.

Existe uma reserva hídrica subterrânea na RMF de 695 milhões de m³, com reservas renováveis de 41,5 e 15,3 milhões de m³/ano para as dunas/paleodunas e Barreiras, respectivamente. Os recursos exploráveis são apresentados em termos de disponibilidades, existindo disponibilidade potencial mínima de 190 e milhões de m³/ano e efetiva de 23,6 milhões de m³.

Observa-se que ao adotar-se uma taxa de abastecimento “per capita” de 200 L/hab/dia, somente a reserva renovável daria para atender uma população de 778.082 habitantes. A disponibilidade efetiva corresponde a 41,5% da reserva renovável e a 3,4% das reservas totais, demonstrando que somente um pequeno percentual das águas subterrâneas é aproveitado.

Estas reservas podem aumentar, se considerarmos que as águas subterrâneas participam efetivamente do meio ambiente. Nesta caso, a espessura saturada oscila sazonalmente, podendo ser influenciada pelas variações climáticas locais, indução de recarga por inversão de gradientes hidráulicos e/ou recarga artificial. Desta forma, uma espessura saturada que atualmente é mínima, pode, posteriormente, atingir seu máximo valor e vice-versa.

A taxa de aproveitamento das águas subterrâneas da RMF pode aumentar consideravelmente à medida em que foram construídos mais poços tubulares, porém com a utilização das recomendações técnicas pertinentes a locação, perfuração e completação das obras. Medidas preventivas devem ser adotadas quanto a instalação de baterias de poços nas áreas de dunas/paleodunas, a fim de resguardar o potencial quantitativo e qualitativo do sistema aquífero.

A qualidade físico-química das águas subterrâneas é boa, não tendo problemas maiores a nível regional e existindo a predominância de águas cloretadas-sódicas. Porém, localmente pode existir elevadas concentrações de nitratos, cloretos e/ou ferro, derivadas do ambiente hidrogeológico e/ou do uso e ocupação do meio físico. Bacteriologicamente existem problemas em função deste uso e ocupação, associado aos problemas de falta de saneamento básico e não aplicação de cuidados quando na completação dos poços, permitindo, algumas vezes, a conexão com níveis superficiais poluídos.

Isto demonstra mais uma vez a necessidade da implementação de medidas técnicas relativas a construção dos poços tubulares, trabalhando-se dentro do conceito de que um poço tubular é uma obra de engenharia hidrogeológica.

As fontes potenciais de poluição para as águas subterrâneas são representadas pela intrusão salina, sistema de esgotamento sanitário, águas superficiais poluídas, postos de serviço, lixões e/ou aterros sanitários, cemitérios e construção de poços tubulares sem a adoção de medidas técnicas corretas. Todas elas coexistem dentro de um espaço urbano, que aumenta diariamente em proporção ao desenvolvimento da RMF, fazendo com que seja requerido maior disciplinamento quanto ao uso do meio físico, para que haja a convivência harmônica entre o homem e o meio ambiente, dentro da concepção de desenvolvimento sustentável.

As perdas de água são relevantes, com uma taxa de 45,2% entre os volumes distribuído (12.023.531 m³/mês) e medido (6.587.649 m³/mês). É necessário a adoção de medidas corretivas e preventivas para redução desta taxa, com a vedação dos pontos de vazamentos e conscientização do consumidor quanto a importância da água.

É necessário que os sistemas aquíferos sejam utilizados dentro de uma concepção mais atual, fugindo um pouco à clássica que aborda somente a utilização como unidade produtora de água subterrânea. Para os sistemas dunas/paleodunas e Barreiras foram definidas as funções produção, estocagem, filtro e regularização, estratégica e hidro-ambiental, com uma abordagem integrada das características hidrogeológicas com o uso e ocupação do meio físico.

Existe um elevado a extremo grau de vulnerabilidade natural para as formações aquíferas clásticas da RMF, com um fator de risco variável. É recomendável a observação das características hidrogeológicas antes do processo de ocupação, utilizando-se mapas de vulnerabilidade natural e risco dos sistemas aquíferos à poluição, imprescindíveis ao desenvolvimento do meio físico.

Apesar da existência de toda infra-estrutura legal concernente aos recursos hídricos do Estado do Ceará, ainda falta legislação atualizada sobre as águas subterrâneas, que possibilite o uso racional e preservando um recurso estratégico a população cearense.

7. BIBLIOGRAFIA

8. BIBLIOGRAFIA

- ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J. H.; PETTY, R. J. - 1985 - A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potencial Using Hydrogeologic Settings. U.S. EPA/600/2-85/018. Ada, OK.
- ANDRADE, F.P.P. de; LEITE, C.E.S.; SABADIA, J.A.B.; LIMA, M.A.O.; CORDEIRO, W. - 1995 - Água subterrânea e o desenvolvimento sustentável. Projeto Áridas. Grupo de Recursos Hídricos. Fortaleza-CE. 86 p.
- BARTH, F.T.; POMPEU, C.T.; FILL, H.D.; TUCCI, C.E.M.; KELMAN, J.; BRAGA Jr., B.P.F. - 1987 - Modelos para gerenciamento de recursos hídricos. Vol. 1. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. Nobel/ABRH. 526 p.
- BELTRÃO, A.E. & MANOEL FILHO, J. - 1973 - Abastecimento de água da área metropolitana da cidade de Fortaleza - CE. SUDENE. Série Hidrogeológica 44, Recife - PE. 294 p.
- BEZERRA, E.C. - 1989 - Balanço Hídrico. *In*: CEARÁ. Secretaria de Planejamento e Coordenação. Atlas do Ceará. Fortaleza. IPLANCE-SEPLAN, p. 20-21.
- BEZERRA, E.C. - 1995 - Balanço Hídrico. *In*: CEARÁ. Secretaria de Planejamento e Coordenação. Atlas do Ceará. Fortaleza. IPLANCE-SEPLAN, 22 p..
- BIANCHI, L.; MORAES, J.B.A.; GURGEL Jr, J.B. - 1985 - Diretrizes para exploração das águas subterrâneas da RMF. *In*: AUMEF. Secretaria do Planejamento e Coordenação. Plano de Aproveitamento dos Recursos Hídricos da R.M.F. - Fase II. Fortaleza. SEPLAN-AUMEF, 1985. Fase II. 63 p.
- BIANCHI, L.; PADILHA, M.W.M.; TEIXEIRA, J.E.M. - 1984 - Recursos de água subterrânea na R.M.F. Fatores Condicionantes. *In*: Plano de aproveitamento dos Recursos Hídricos na R.M.F. - Fase I. Fortaleza. SEPLAN - AUMEF, v. 1, 139 p.
- BNB. Banco do Nordeste do Brasil - 1993 - Consumo de produtos industriais na cidade de Fortaleza. BNB. Fortaleza - CE. 189 p.
- BRANDÃO, R. de L. - 1995 - Mapa Geológico da Região Metropolitana de Fortaleza. Texto Explicativo. Escala 1:100.000. Projeto SINFOR. CPRM. Fortaleza - CE. 32 p.
- BRANDÃO, R. de L.; CAVALCANTE, I.N.; SOUZA, M.N. - 1995 - Diagnóstico geoambiental e os principais problemas de ocupação do meio físico da Região Metropolitana de Fortaleza. Projeto SINFOR. Informações Básicas para Gestão Territorial. CPRM. Fortaleza. CE. 88 p.
- BRASIL. Projeto RADAMBRASIL - 1981 - Levantamento de recursos naturais. Folha Jaguaribe. SB. 24. Rio de Janeiro. RADAMBRASIL.

- BUTLER, K.S. – 1987 – Urban growth management and groundwater protection. Austin, Texas. Cap. 9 - Planning for groundwater protection. Academic Press, Inc. p. 261 – 287
- CAGECE. Companhia de Água e Esgoto do Ceará. - 1995 - Dados operacionais - indicadores de desempenho. Fortaleza - CE.
- CAGECE. Companhia de Água e Esgoto do Ceará. - 1996 - Dados operacionais indicadores de desempenho. Fortaleza - CE.
- CAICEDO, N.L. – 1996 – Águas subterrâneas: contaminação e remediação. XI Seminário – Curso Problemas da qualidade e quantidade de água em regiões semi-áridas. Centro Interamericano de Recursos da Água. Salvador-BA. p. 373 –391.
- CAMPOS, L.A.S. & MENEZES, M.A.S. - 1982 - Pesquisa e aproveitamento de água subterrânea para abastecimento urbano nas dunas costeiras do Ceará. II congresso Bras. de Águas Subterrâneas. ABAS. ANAIS. Salvador - BA. p. 29-42.
- CAVALCANTE, I.N. - 1986 - Caracterização hidroquímica preliminar da captação de Abreulândia - Fortaleza/CE. Seminário. IG/USP. 24 p.
- CAVALCANTE, I.N. - 1990 – Estudo hidrogeológico de terrenos cristalinos com manto de intemperismo – Área piloto de Atibaia-SP. Dissertação de Mestrado. IG/USP. Inédita. São Paulo-SP. 123 p.
- CAVALCANTE, I.N. - 1993 - Qualidade das águas do município de Fortaleza - Ceará. GEOPLAN - Geologia e Planejamento Ltda. Projeto SANEAR. Fortaleza - CE. 22 p.
- CAVALCANTE, I.N. - 1997 – Hidrogeologia de meios fissurados. III Curso de Especialização em Hidrogeologia Aplicada – CEHA. IG/UFGA. 25 p.
- CAVALCANTE, I.N. & SABADIA, J.A.B. - 1992 - Potencial hídrico subterrâneo: um bem mineral ameaçado pela poluição antrópica. Rev. de Geologia. DEGEO/UFC. Fortaleza – CE. p. 115 - 124.
- CAVALCANTE, I.N.; ARAUJO, A. L.; LEAL, S.E.C.; VASCONCELOS, S.A.; BIANCHI, L. - 1990 - Qualidade das águas subterrâneas de Fortaleza - CE. Revista de Geologia da UFC, Fortaleza – CE. v. 3. p. 89-97.
- CAVALCANTE, I.N.; REBOUÇAS, A.C.; VERÍSSIMO, L.S. -1996 - As águas subterrâneas do município de Fortaleza. IX Congresso Bras. de Águas Subterrâneas. ANAIS. ABAS. Salvador - BA. 15 p.
- CAVALCANTE, I.N.; TAJRA, A.A.; FRANGIPANI, A.; VERÍSSIMO, L.S. -1997 - As águas subterrâneas do Estado do Ceará. I Fórum Interamericano de Gestão de Recursos Hídricos. SRH/MMA/IICA. Fortaleza - CE. 12 p.
- CEARÁ. Secretaria de Agricultura e Reforma Agrária- 1989 - Zoneamento Agrícola. Fortaleza, 67 p.
- CETESB – 1990 – Compilação de padrões ambientais. São Paulo-SP.

- CNP. Conselho Nacional de Petróleo - 1989 - Sistemas de postos revendedores. Relatório 011FDP23. Fortaleza - CE.
- COLARES, J.Q.S. - 1996 - Mapeamento geotécnico preliminar da Região Metropolitana de Fortaleza. Dissertação de Mestrado. UNESP. Inédita. Rio Claro - SP. Mapas.
- CONAMA - 1986 - Resolução CONAMA Nº. 20 (Junho/86) SEMA. Brasília - DF. 92 p.
- COSTA, W.D. - 1997 - Estudo da disponibilidade hídrica da Lagoa do Bonfim no município de Nisia Floresta - RN. SERHID/COSTA Consultoria e Serviços Técnicos e Ambientais Ltda. Natal/RN. 83 p.
- COSTA, W.D. - 1997 - Uso e gestão de água subterrânea. In: FEITOSA, F.A.C. & MANUEL FILHO, J. (1997) - Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. CPRM. Cap. 14. p. 341 - 365.
- CUSTÓDIO, E. - 1994 - La protección de las aguas subterráneas en el contexto del desarrollo y del uso sostenible. 2º Congresso Latinoamericano de Hidrologia subterránea. ALHSUD. Vol. 1. Santiago, Chile. p. 171 - 188.
- DRISCOLL, F.G. - 1986 - Groundwater and wells. 2ª Ed. Minnesota, H.N. Smyth Comp., Inc. 1089 p.
- FENZEL, N. - 1988 - Introdução à hidrogeoquímica. UFPA. Gráfica e Ed. Universitária. 1ª. Edição. Belém - PA. 189 p.
- FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C.; ROCHA, G.A. - 1988 - Riscos de poluição de águas subterrâneas: uma proposta metodológica de avaliação regional. 5º Congresso Bras. de Águas Subterrâneas. ABAS. ANAIS. São Paulo - SP. p. 175 - 185
- FOSTER, S.S.D. & HIRATA, R.C. - 1991 - Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas - una metodología basada en dados existentes. CEPIS. HPE/OPS/WHO. Lima, Peru. 81 p.
- FRANGIPANI, A. - 1985 - Revisão da literatura internacional sobre água subterrânea em rochas fraturadas. I Simpósio Nacional de Água Subterrânea em Rochas Fraturadas. ANAIS. ABAS/MG. Belo Horizonte - MG, p. 1 - 28.
- FREIRE, G.S.S. & MAIA, L.P. - 1991 c - Frente salina e balanço do sal no estuário do rio Pacoti - Ceará. Rev. de Geologia. DEGEO/UFC. Fortaleza - CE. vol. 4. p. 33 - 41.
- FREIRE, G.S.S.; MAIA, L.P.; BRANCO, M.P.N.C. - 1991 b - Regime hidrodinâmico do estuário do rio Pacoti - Ceará. Rev. de Geologia. DEGEO/UFC. Fortaleza - CE. vol. 4. p. 29 - 32.
- FREIRE, G.S.S.; MAIA, L.P.; MEIRELES, A.J.A.; MOTA, R.F. - 1991 a - Natureza do material em suspensão do estuário do rio Pacoti. Revista de Geologia. DEGEO/UFC. Fortaleza - CE. vol. 4. p. 12 - 20.

- GUIMARÃES, E.M.M. & LIMA, H.F.A. – 1994 – Aspectos geológicos e hidrogeológicos da região de Aquiraz/CE. Relatório de Graduação. DEGEO/UFC. Fortaleza – CE. 102 p.
- GUPTA, A.D. – 1990 – Modelling of groundwater overdraft and related environmental consequences. Chapter 9 *in*: BISWAS, A.K.; KHOSHOO, T.N.; KHOSLA, A. – Environmental modelling for developing countries. Tycooly Publishing. p. 84 – 119.
- HEM, J.D. – 1985 – Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. 3^a Ed. Geological Survey Water. Paper 1473. Washington. 363 p.
- HIRATA, C.A.H. – 1994 – Fundamentos e estratégias da proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas. Estudos de casos no Estado de São Paulo. Tese de Doutorado. IG/USP. Inédita. São Paulo - SP. 195 p.
- HIRATA, C.A.H. & REBOUÇAS, A.C. – 1996 – Técnicas e estratégias para proteção dos recursos hídricos subterrâneos. 3^o Congresso Latinoamericano de Hidrologia Subterrânea. ALHSUD. MEMORIAS. San Luis Potosi, México. Parte 6. p. 53 – 67.
- IPLANCE. Secretaria do Planejamento e Coordenação. Fundação Instituto de Planejamento do Ceará - 1995 - Atlas do Ceará. Fortaleza. 64 p.
- KLIMAS, A.A. – 1995 – Impacts of urbanisation and protection of water resources in the Vilnius District, Lithuania. Hydrogeology Journal, v. 3, n^o. 1. p. 24 – 35.
- KOPPELMAN, L.E. – 1987 – Long Island Case Study. cap. 6. *in*: PAGE, G.W. – Planning for Groundwater Protection. Academia Press, Inc. p. 157 – 203
- LEITE, C.E.S. – 1994 – Uso da água subterrânea na agricultura irrigada do Estado do Ceará. II Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. ABRH. ANAIS. Fortaleza - CE, p. 284 – 291.
- MANUEL FILHO, J. – 1997 – Contaminação das águas subterrâneas. *In*: FEITOSA, F.A.C. & MANUEL FILHO, J. (1997) – Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. CPRM. Cap. 6. p. 109 – 132.
- MATHESS, G. – 1982 – The properties of groundwater. 1^a Ed. John Willey & Sons, 406 p.
- MAVIGNIER, A.L. – 1992 – Estudo físico, químico e bacteriológico do rio Cocó. Dissertação de Mestrado-Departamento de Hidráulica/Escola de Engenharia. Universidade Federal do Ceará. Inédita. Fortaleza - CE, 108 p.
- MELO, J.G. de – 1995 – Impactos do desenvolvimento urbano nas águas subterrâneas de Natal/RN. Tese de Doutorado. IG/USP. Inédita. São Paulo - SP, 196 p.
- MENEZES, M.A.S. & ARAUJO, J.R. – 1988 – Causas da salinização dos poços da praia de Abreulândia em Fortaleza - Ceará. V Congresso Bras. de Águas Subterrâneas. ABAS. ANAIS. São Paulo - SP. p. 165 - 174.

- MESTRINHO, S.S.P. – 1994 – Fundamentos da Hidrogeoquímica. Curso Pré-Congresso – Metodologias de Avaliação de Sistemas Aquíferos. 2º Congresso Latino-americano de Hidrologia Subterrânea. ALHSUD. Santiago/Chile. 35 p.
- MIGLIORINI, R.B. – 1994 – Cemitérios como fonte de poluição em aquíferos. Estudo do Cemitério Vila Formosa na Bacia Sedimentar de São Paulo. Dissertação de Mestrado, IG/USP. Inédita. São Paulo - SP. 74 p.
- MORAIS, J.B.A.; SAMPAIO, T. de Q.; SALES, J.W.M.- 1984 - Projeto Fortaleza. Hidrogeologia e Controle Tecnológico nas Perfurações de Poços Tubulares no Município de Fortaleza - CE. Relatório Final. Fortaleza CE. DNPM/CPRM, vol.1, 208 p.
- MS/FNS/CNE . Ministério da Saúde/Fundação Nacional da Saúde/Centro Nacional de Epidemiologia - 1993 - Manual de cólera - subsídios para a vigilância epidemiológica. 35 p.
- NIMER, E.- 1978 - Climatologia Dinâmica. *In*: Revista Brasileira de Geografia. Rio de Janeiro- RJ. vol.2.
- OLIVEIRA, E. de - 1992 - Contaminação de aquíferos por hidrocarbonetos provenientes de vazamentos de tanques de armazenamento subterrâneo. Dissertação de Mestrado. Inédita. IG/USP. São Paulo - SP. 112 p.
- OLIVEIRA, E.; CLEARY, R.W.; CUNHA, R.C.A.; PACHECO, A. – 1991 – Gasoline hydrocarbons: groundwater pollution potencial in metropolitan region São Paulo. *Wat. Sci. Tech.*, vol. 24 nº. 11, 189 – 200 p.
- PACHECO, A. – 1984 – Análise das características técnicas e da legislação para uso e proteção das águas subterrâneas em meio urbano (município de São Paulo). Tese de Doutorado. IG/USP. Inédita. São Paulo - SP. Mapas. 174 p.
- PACHECO, A. – 1986 – Os cemitérios como risco potencial para as águas de abastecimento. *Rev. Sist. Planej. Adm. Metropolitana*. p. 17 – 25.
- PACHECO, A.; MENDES, J.M.B. – 1990 – Cemitérios podem contaminar as águas subterrâneas. *Rev. Saneamento Ambiental*, julho, nº. 6, p. 31 – 33.
- PACHECO, A.; MENDES, J.M.B.; HASSUDA, S.; – 1988 – O problema geoambiental da localização de cemitérios em meio urbano. 5º Congresso Bras. de Águas Subterrâneas. ANAIS. São Paulo - SP. p. 207 – 215.
- PACHECO, A.; MENDES, J.M.B.; MARTINS, M.T.; HASSUDA, S.; KIMMELMANN, A.A. – 1990 – Cemeteries – a potential risk to ground water. *Preprints International Seminar of Pollution, Protection and Control of Groundwater*. Porto Alegre/RS. p. 85 –91.
- PACHECO, A.; PELLIZARI, V.H.; MIDORI, D.; TORRES, S.; MENDES, J.M.B. – 1992 – Os perímetros de proteção sanitária em cemitérios e sua importância para as águas subterrâneas de abastecimento. Estudo preliminar. 7º Congresso Bras. de Águas Subterrâneas. ANAIS. Belo Horizonte/MG. p. 119 – 122.

- PAGE, G.W. – 1987 – Drinking water and health. Cap.3 Planning for ground water protection. Academic Press, Inc. p. 69 – 87.
- PLANAT – 1987 – Captação de Abreulândia. Relatório final de construção dos poços e definição das condições de exploração. Inédito. CAGECE. Fortaleza - CE. 245 p.
- REBOUÇAS, A.C. – 1973 – La problême de l'eau dans la zona semi-aride du Brésil – Evaluation des ressources, orientation pour la mise en valeur. Thèse de Docteur. L'Université Louis Pasteur de Strasbourg. France. Inédito. 291 p.
- REBOUÇAS, A.C. – 1980 – Estágio atual dos conhecimentos sobre as águas subterrâneas do Brasil. Revista Técnica e Científica. ABAS. vol. II. nº. 1, p. 1 - 10.
- REBOUÇAS, A.C. – 1986 – Gestão de Aquífero. Notas de aulas. Curso de Pós-Graduação – IG/USP – São Paulo - SP.
- REBOUÇAS, A.C. – 1994 – Fundamentos de Gestão de Aquíferos. Curso Pré-Congresso – 2º Congresso Latino-Americano de Hidrologia Subterrânea. ALHSUD. Santiago/Chile. 35 p.
- REBOUÇAS, A.C. – 1997 – Gestão de Recursos Hídricos. Curso Técnico. SBG. Fortaleza - CE. Notas de aula. 20 p.
- REBOUÇAS, A.C. & CAVALCANTE, I.N. - 1987 – Hydrogeology of crystalline rocks in Brazil. Proceedings of the workshop held in Harare, Zimbabwe. Vol. 1. Sessions 1 to 5. Series Number CSC (89) WUR – 13. Technical Paper. p. 273. 103 – 126.
- RIBEIRO, J.A.P. – 1985 – Projeto Fortaleza. Hidrogeologia e Controle Tecnológico nas Perfurações de Poços Tubulares no Município de Fortaleza - CE. Relatório Final. Fortaleza – CE. DNPM/CPRM. vol. II Anexos. 23 p.
- RIBEIRO, J.A.P.; COLARES, J.Q.S.; CAVALCANTE, V.M.M.; SENA, R.B. – 1997 – Mapa Geológico da Região Metropolitana de Fortaleza. Escala 1:100.000 – DNPM/CPRM. Fortaleza –CE (Prelo).
- SANTOS, A.C. – 1997 – Noções de hidroquímica. In: FEITOSA, F.A.C. & MANUEL FILHO, J. (1997) – Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. CPRM. Cap. 5. p. 81 – 108.
- SANTOS, J.P. dos; AZEVEDO, S.G.; MISTRETA, G. – 1984 – Novos aspectos da salinização das águas subterrâneas do cristalino no Rio Grande do Norte. IPT. Comunicação Técnica. São Paulo - SP. 27 p.
- SCHOLLER, H. – 1962 – Les eaux souterraines. Masson & Cia., Ed. Paris, 624 p.
- SEMACE. Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente - 1993 - Levantamento das fontes potencialmente poluidoras da Região Metropolitana de Fortaleza. Programa de infra-estrutura básica. Saneamento de Fortaleza - SANEAR. Fortaleza. S.D.U/SEMACE. Fortaleza – CE. 48 p.

- SIRAC. Serviços Integrados de Assessoria e Consultoria Ltda. - 1989 - Proposta de consultoria técnica de gerenciamento das obras de ampliação do sistema de esgotamento sanitário de Fortaleza. PROPOSTA TÉCNICA. 105 p.
- SOUZA, M.J.N. de. - 1995 - Geomorfologia. *In*: CEARÁ. Secretaria de Planejamento e Coordenação. Atlas do Ceará. Fortaleza - CE. SEPLAN-IPLANCE. p. 14-15.
- SRH. Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará- 1992 - Plano Estadual de Recursos Hídricos.. SRH. 4 vol. Fortaleza - CE.
- SRH. Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará - 1995 - Relatório síntese do levantamento das rotas dos carros- pipa. Fortaleza - CE. 21 p.
- SUDEC - 1986 - Resultados de trabalhos da SUDEC na área de proteção ambiental. Fortaleza. DRN-SUDEC, 68 p.
- SUDENE/ASMIC - 1967 - Estudo geral de base do vale do Jaguaribe. Hidrologia. vol. III. GVI. Recife - PE. 221 p.
- SZIKSZAY, M. - 1986 - Geoquímica das águas. Notas de Aulas. Curso de Pós-Graduação. IG/USP. São Paulo - SP.
- TANCREDI, A.C.F.N.S. - 1996 - Recursos hídricos subterrâneos de Santarém. Fundamentos para uso e proteção. Tese de Doutorado. CG/UFPA. Inédita. Belém - PA. 153 p.
- WARD, C.H.; GIGER, W.; Mc CARTY, P.L. - 1985 - Groundwater quality. John Willey & Sons, New York, 547 p.