



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Faculdade de Geologia
I Curso de Especialização em Gestão Hídrica

ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS DO MUNICÍPIO DE FORTALEZA - CEARÁ

MARIA DA CONCEIÇÃO RABELO GOMES

Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante – DEGEO/UFC

BELÉM – PARÁ

Fevereiro/2008

MARIA DA CONCEIÇÃO RABELO GOMES

**ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS DO MUNICÍPIO DE
FORTALEZA - CEARÁ**

Monografia de Especialização apresentada para obtenção do Título de Especialista em Gestão Hídrica pelo Instituto de Geociências/UFP

Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante (DEGEO/UFC).

BELÉM – PARÁ

Fevereiro/2008

MARIA DA CONCEIÇÃO RABELO GOMES

ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS DO MUNICÍPIO DE FORTALEZA - CEARÁ

Monografia de Especialização apresentada para obtenção do
Título de Especialista em Gestão Hídrica pelo Instituto de
Geociências/UFPA.

Data: 14 / 02 / 2008

Orientador: _____

Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante (DEGEO/UFC)

Primeiro membro: _____

Prof. Dr. George Satander S. Freire (DEGEO/UFC)

Segundo membro: _____

MSc. Napoleão Quesado Júnior (COGERH/SRH-CE)

“Quando a sabedoria entrar no teu coração e o conhecimento for agradável a tua alma, o bom senso te guardará e a inteligência te conservará (Provérbios 2:11-12)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais João Bosco e Maria de Lourdes, as minhas irmãs Naide, Corina e Socorro, a minha pequenina sobrinha Aparecida e a meu namorado e amigo Francisco Ferreira. Obrigada por fazerem parte de minha vida, pelo amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, acima de tudo, a Deus por ter me dado perseverança, coragem e determinação na realização deste Curso de Especialização a Distância e pela conclusão desta monografia.

Aos meus pais por terem acreditado em mim, não deixando de me apoiar nos momentos mais obscuro da minha vida acadêmica.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante (DEGEO/UFC) pela ajuda, esclarecimentos, dedicação e apoio oferecido ao longo do desenvolvimento desta monografia.

Ao Curso de Especialização em Gestão Hídrica (CG/UFPA), nas pessoas do Coordenador Pedagógico Prof. Dr. Milton Antonio da Silva Matta e do Prof. Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu, pela Bolsa de Estudos Integral pertinente ao Curso, a mim concedida .

A família Silva e Silva pela hospedagem e atenção em Belém/PA durante os momentos presenciais do Curso de Especialização.

Ao colega Geólogo Luís Carlos Freitas pela ajuda indispensável na elaboração do mapa de distribuição dos poços da área.

Aos colegas Geógrafo Franklin Andrade e graduanda em Geologia Sulani Pereira, pela ajuda nas etapas de campos realizados nos bairros Cristo Redentor, Barra do Ceará, Pirambu e Vicente Pizon.

Finalmente, na impossibilidade de elencar todos que direta, ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, mas ciente desse fato, deixo aqui meus sinceros agradecimentos.

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

A importância das águas subterrâneas vem despertando maior interesse, particularmente por apresentarem característica qualitativa, com algumas propriedades tornando o seu uso mais vantajoso em relação ao das águas superficiais, a exemplo: são filtradas e purificadas naturalmente através da percolação, determinando excelente qualidade e dispensando tratamentos prévios; não ocupam espaço em superfície; sofrem menor influência das variações climáticas; estão mais próximas em relação à demanda; possuem temperatura constante; têm maior quantidade de reservas; necessitam de custos menores com tratamento e adução; as suas reservas e captações não ocupam área superficial; apresentam grande proteção contra agentes poluidores. Em geral, o uso do recurso aumenta a reserva e melhora a qualidade e possibilita a implantação de projetos de abastecimento à medida da necessidade (GOMES, 2006).

Como em outras regiões metropolitanas ou capitais do Brasil, Fortaleza caracteriza-se por um conjunto de problemas decorrentes da concentração populacional e do acelerado desenvolvimento econômico/industrial, sendo hoje considerada a quarta cidade mais populosa do país, contando com um parque industrial significativo e uma economia que se fortalece a cada ano.

As águas subterrâneas do município de Fortaleza desempenham um papel importante como recurso complementar e estratégico de reconhecido valor sócio-econômico, pois metade da população se utiliza de água captada destes mananciais face ao baixo custo em relação à água da rede de distribuição e ao valor estratégico nos períodos de estiagem (TAJRA, 2001).

Sabe-se, que aproximadamente 80% do município de Fortaleza encontram-se assentados sobre formações geológicas sedimentares (Formação Barreiras, Dunas/Paleodunas e Aluviões) que constituem as unidades mais importantes em termos hidrogeológicos (QUESADO JUNIOR, 2008). Nos períodos de estiagem, a água de poços é usada como uma alternativa para suprir a demanda da população. Porém, a falta de critérios na construção destes poços, associada ao desconhecimento da geologia local, poderá aumentar o risco à contaminação bacteriológica nos aquíferos captados.

A finalidade desta pesquisa é uma avaliação hidrogeológica do município de Fortaleza, buscando destacar as características hidráulicas e físicas da obra de captação, além de estimar as reservas, potencialidades e a disponibilidades das águas subterrâneas.

1.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO A ÁREA DE ESTUDO

O município de Fortaleza está situado na zona litorânea da porção nordeste do estado do Ceará, Região Nordeste do Brasil, sendo delimitado pelas coordenadas geográficas 03°41'02'' a 03°53'11'' de latitude sul e 38°24'40'' a 38°39'15'' de longitude oeste de Greenwich, e incluso na folha AS-24-Z-C-IV – SUDENE, possuindo uma área de 313,8 km² e limitando-se ao norte pelo Oceano Atlântico e Caucaia; ao sul pelos municípios de Maracanaú, Pacatuba, Itaitinga e Eusébio; a leste por Eusébio, Aquiraz e Oceano Atlântico; a oeste por Caucaia e Maracanaú (Figura 01).

O acesso pode ser realizado pela extensa malha viária do Estado, contudo, existem rodovias principais que integram o município as demais regiões estaduais ou interestaduais, sendo elas; a BR 116 (sul), a BR 222 (oeste) e a CE 020 (leste), além de contar com acesso aéreo do Aeroporto Internacional Pinto Martins e o Porto do Mucuripe.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar os aspectos hidrogeológicos do município de Fortaleza, Ceará.

Como objetivos específicos, têm-se:

- ✓ Avaliar a situação das obras de captação;
- ✓ Elaborar uma Base Hidrogeológica Simplificada com Localização dos Poços;
- ✓ Elaborar Bases Temáticas de Zoneamento, baseando-se em dados de vazão, nível estático e profundidade dos poços;
- ✓ Estimar as reservas, potencialidades e a disponibilidade das águas subterrâneas na área de estudo.

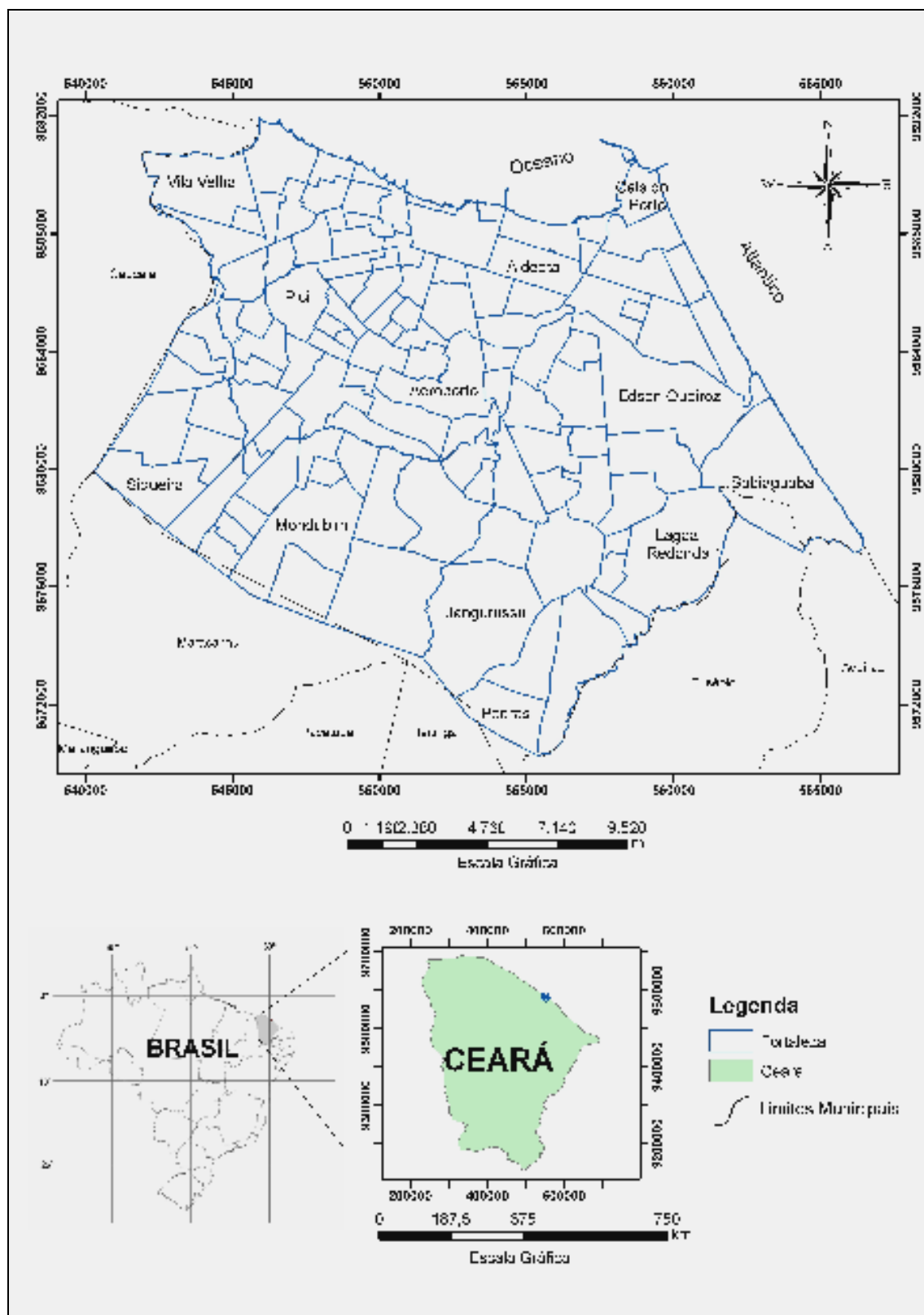


Figura 01- Localização do município de Fortaleza - Ceará

METODOLOGIA DE TRABALHO

2. METODOLOGIA DE TRABALHO

A metodologia adotada na elaboração deste trabalho segue um conjunto de atividades distintas, porém interrelacionadas seguindo uma seqüência lógica de conhecimentos, resultando, assim, na melhor interpretação de dados.

2.1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

O levantamento bibliográfico sobre a área de estudo constou da obtenção de dados referentes à geologia, hidrogeologia, aspectos socioeconômicos e geoambientais, além de mapas temáticos. Esta pesquisa foi realizada junto aos órgãos públicos como CPRM, FUNCEME, SOHIDRA, COGERH, CAGECE e IBGE, servindo esses dados para um melhor conhecimento das características da região e ajudando na elaboração de base preliminar de trabalho. Dentre os trabalhos pesquisados listados na bibliografia, destacam-se alguns de caráter hidrogeológico e ambiental, como veremos a seguir.

BIANCHI et al. (1984) desenvolveram o mapeamento hidrogeológico na escala de 1:20.000 da RMF objetivando estabelecer características de fundamental importância para a formulação estratégica do desenvolvimento metropolitano. Os autores concluíram sobre as vocações hidrogeológicas dos aquíferos, indicando suas possibilidades de uso pela população.

ARAÚJO & LEAL (1990) analisaram a qualidade das águas subterrâneas de Fortaleza, sua correlação com os aquíferos e sua aplicabilidade para consumo humano, industrial e irrigação. Os dados hidrogeológicos caracterizaram o Barreiras como aquífero de baixo potencial hidrogeológico, e os dados hidroquímicos indicaram águas de boa potabilidade. O Sistema Dunas/Paleodunas constituiu o melhor aquífero, tanto em vazão quanto em qualidade. As águas do cristalino, no geral, apresentam potabilidade passável e tendência corrosiva.

BRANDÃO et al. (1995) elaboraram um diagnóstico geoambiental com os principais problemas da ocupação do meio físico no município de Fortaleza. Como exemplos citam-se, a favelização das dunas, erosão da linha de costa, degradação das áreas de acumulação inundáveis, movimentos ou deslizamentos de massas e enchentes, que são processos naturais fazendo parte da evolução da paisagem, mas que muitas vezes são provocados ou acelerados pela atividade antrópica.

MARINHO (1998) estudou os impactos ambientais causados pela instalação inadequada de cemitérios em Fortaleza, destacando os impactos físicos, dentre os quais o mais importante é o risco de contaminação das águas subterrâneas por microorganismos. Realizou também estudos hidroquímicos e microbiológicos na área de influência destas necrópoles, relacionada à contaminação das águas subterrâneas e risco à saúde pública quando do uso das águas pela população. A pesquisa concluiu que, segundo as análises texturais e ensaios de permeabilidade, o solo é classificado como areia média, com alta permeabilidade, fato que propicia a passagem do líquido, gerada pela decomposição dos corpos, para as águas subterrâneas.

CAVALCANTE (1998) traçou diretrizes para otimizar o manejo integrado dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, apresentando fundamentos hidrogeológicos integrados ao uso e ocupação do meio físico. Trabalhou com mais de 1.400 análises físico-químicas e bacteriológicas, concluindo que a qualidade físico-química das águas subterrâneas é boa, não tendo problemas maiores em nível regional. Porém, localmente, existem elevadas concentrações de nitratos, cloretos e ferro, derivadas do ambiente hidrogeológico ou do uso inadequado e ocupação do meio físico. Em termos bacteriológicos existem problemas em função do uso e ocupação, associado aos problemas de falta de saneamento básico e não aplicação de cuidados quando na construção de poços, permitindo algumas vezes, a conexão com níveis superficiais poluídos.

BIASOLI (2000) relata a qualidade da água do município de Fortaleza relacionando a contaminação do lençol freático com a geração e perpetuação de muitas doenças de veiculação hídrica. Face a isto, trabalhou com 909 análises de água subterrânea no ano de 2000 e constatou que 21% não eram poluídas, 26% apresentaram poluição não fecal e 53% apresentava poluição fecal.

QUESADO JUNIOR & CAVALCANTE (2000) estudaram os sistemas hidrogeológicos de Fortaleza e definiram suas vocações hidrogeológicas segundo parâmetros hidrodinâmicos de transmissividade, condutividade hidráulica e vazão. Destacaram o Sistema Dunas/Paleodunas como promissor para captação de água subterrânea em relação ao Barreiras e ao meio cristalino.

QUESADO JUNIOR (2001) analisou a qualidade das águas subterrâneas do município de Fortaleza-Ceará, relacionando-a com os problemas das doenças de veiculação hídrica acometidas pela população. Trabalhou dados de 416 análises bacteriológicas de águas de poços tubulares e cacimbas de Fortaleza no período de 1990 a 2000, onde se demonstra que 34% das águas são potáveis e 66% não potáveis, apresentando contaminação por coliformes fecais, predominando as bactérias *Escherichia coli* (62%), *Pseudomonas sp* (16%) e

Klebsiella (13%). Constatou que 50% das doenças que acometem a população do município de Fortaleza são oriundas de águas poluídas, resultado direto de atividades antrópicas sobre o meio físico.

TAJRA (2001) levantou o registro de 1.178 captações de água subterrânea no município de Fortaleza, onde foram analisados arquivos, fichas e perfis técnicos de 371 poços tubulares distribuídos nos cinco distritos que compõem a área. Com isso avaliou os aspectos técnico-construtivos dos poços tubulares, através um diagnóstico da atual situação destas obras cadastradas, relacionando-o às normas vigentes de construção nos diferentes âmbitos da abrangência legal e normativa. Os poços mal locados, construídos ou utilizados de forma pouco adequada podem se transformar em focos de contaminação do manancial explorado. Com vistas a garantir a proteção das captações por poços tubulares e dos próprios aquíferos da região de Fortaleza, a exigência e aplicação das normas da ABNT devem ser melhores apreciadas pelas entidades competentes.

GOMES (2006) estudou as águas subterrâneas do Campus Universitário do Pici - Fortaleza, procurando caracterizar o ambiente hidrogeológico e a qualidade das águas, culminando com o cálculo de reservas e disponibilidades.

LEMOS & MEDEIROS (2006) estudaram as águas subterrâneas de dois bairros de Fortaleza (Granja Portugal e Bom Jardim) integrando hidrogeologia e doenças de veiculação hídrica, mostrando que as águas mais superficiais estão poluídas por coliformes fecais e, parcialmente, por nitrato.

MAIA (2008) estudou a qualidade das águas subterrâneas e seus impactos na saúde pública no bairro de Messejana, Fortaleza-Ceará, resultando numa integração dos conhecimentos da hidrogeologia com os problemas de saúde relacionados às doenças associadas à água subterrânea no bairro, corroborando o observado por Lemos & Medeiros (2006).

QUESADO JUNIOR (2008) analisou os parâmetros físicos e hidrodinâmicos dos aquíferos localizados no município de Fortaleza, Estado do Ceará, acompanhando medidas telemétricas da vazão explorada e do nível d'água de poços tubulares no período de um ano.

2.2. CADASTRO DOS POÇOS

Esta etapa teve por finalidade a obtenção de 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 de estudo.

Nesta fase utilizou-se o cadastro do Projeto de Monitoramento/Gestão de Água Subterrânea de Micro-áreas Estratégicas da Região Metropolitana de Fortaleza desenvolvido pelo Consórcio GOLDER/PIVOT para a SRH no período de 2002, onde foram inventariados 7.281 poços. Vale ressaltar que alguns poços não possuem informações técnicas, tais como profundidade, nível estático e vazão, em função da ausência de relatórios técnicos.

2.3. ELABORAÇÃO DAS BASES TEMÁTICAS

O cadastro de poços realizado a partir da obtenção de fichas técnicas de construção possibilitou a formação de um arquivo de dados elaborado em planilha eletrônica no *Excel* (*Microsoft Office 2007 for Windows*) e gráficos dos parâmetros hidrogeológicos (vazão, nível estático, capacidade específica, dentre outros). Isto possibilitou um diagnóstico preliminar das condições de captação de água subterrânea no município.

Em seguida, foram integrados com os pontos georreferenciados dos poços cadastros, originando, assim, uma base preliminar de distribuição de pontos d'água na escala 1:100.000, utilizando o *Arc Gis* (Versão 9).

2.4. ETAPAS DE CAMPO

Os trabalhos de campo foram realizados em três campanhas (outubro, novembro e dezembro de 2007), no sentido de melhor se verificar a acuracidade dos dados cadastrados e/ou proceder ao levantamento de novas informações.

A etapa de campo teve como premissa básica à avaliação *in situ* das condições de uso dos poços tubulares cadastrados, assim como uma atualização do cadastro inicial com a localização dos poços com uso de GPS (*Garmim e Trex Summit*), com o intuito de complementar as informações do cadastro, e foram utilizados equipamentos portáteis de medição, a exemplo do medidor de nível d'água (Modelo MNJ, com alcance de fio de 100 metros).

Foi possível realizar também entrevistas com moradores de alguns bairros, o qual facilitou a aquisição de informações valiosas como, níveis estáticos, profundidade, vazão, qualidade e uso da água em épocas passadas e atualmente.

2.5. TRATAMENTO DOS DADOS

Foi realizada a compilação, análise e discussão dos dados obtidos no cadastro dos poços integralizando-os com a utilização de softwares *Word* (digitação dos textos), *Excel* (elaboração de planilhas e gráficos), *ArcGIS 9* (digitalização e confecção do mapa) e o *Surfer 8* (elaboração de contornos dos mapas de zoneamento).

As fichas dos 7.281 poços cadastrados foram tratadas estatisticamente no programa *Excel* e os dados de parâmetros hidrogeológicos (profundidade, nível estático, vazão e capacidade específica) foram transformados em gráficos.

2.6. ELABORAÇÃO DA MONOGRAFIA

Ao término do tratamento dos dados, foi realizada a redação da monografia, que constitui o requisito básico para receber o título de Especialista do Curso de Especialização em Gestão Hídrica da Universidade Federal do Pará.

ASPECTOS GEOAMBIENTAIS

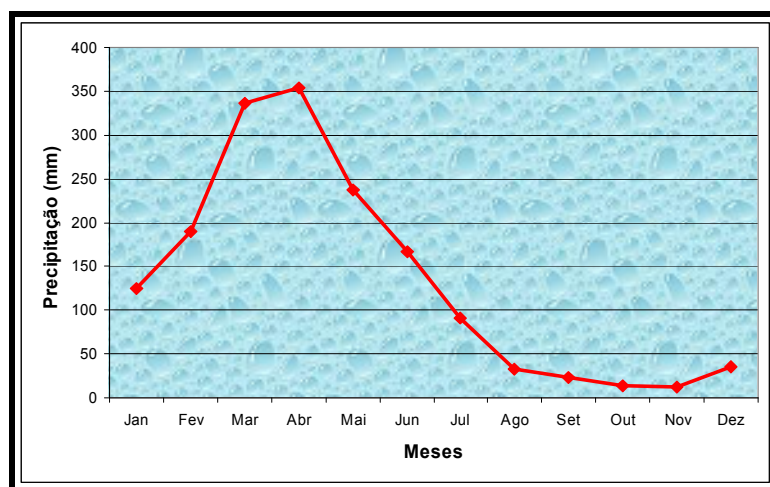
3. ASPECTOS GEOAMBIENTAIS

Neste capítulo são abordados os aspectos geoambientais da área de estudo, que envolvem clima, solos, vegetação, geomorfologia e hidrografia, itens de grande importância para a compreensão dos fenômenos e processos geomorfológicos atuais.

3.1. CLIMA

O município de Fortaleza apresenta clima classificado como “Macroclima da faixa costeira” do tipo AW’, segundo a classificação climática de KOPPEN (1948) *in* TAJRA (2001) e por estar situado na faixa costeira é influenciado pelas águas oceânicas. O clima é definido como quente e apresenta regime de chuvas tropicais com alternância de episódios secos ao longo do ano.

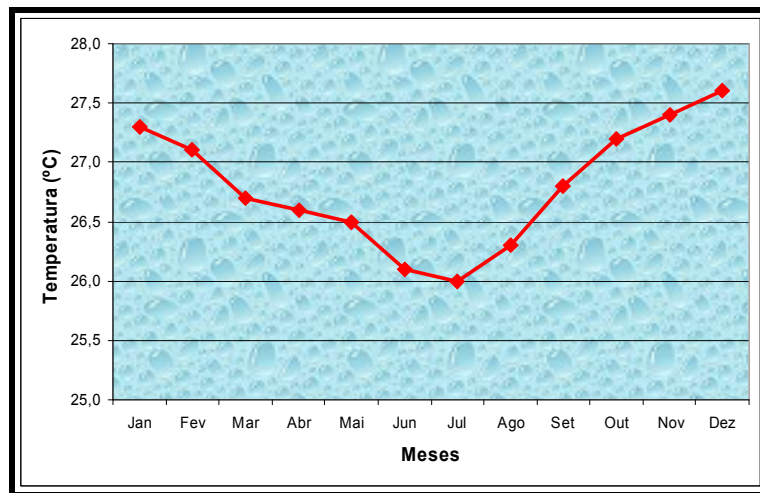
Segundo dados fornecidos pela FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, nos últimos 40 anos (1966 a 2006) os índices pluviométricos variaram, em média, entre o mínimo de 12,2 mm em novembro e o máximo de 354,5 mm em abril, comprovando que os meses de maiores precipitações são fevereiro, março, abril, maio e junho. Nos demais meses, as precipitações são escassas, com chuvas irregulares durante o resto do ano, de acordo com as características do clima semi-árido predominante na área (Figura 02).



Fonte: FUNCEME, 1966 a 2006 (Estação Meteorológica do Campus Pici /UFC)

Figura 02 - Médias mensais de precipitação pluviométrica no município de Fortaleza no período de 1966 a 2006.

De acordo com os dados da FUNCEME (2006), a temperatura média de Fortaleza se situa no faixa de 27,6°C (máxima) a 26,0°C (mínimo), onde a temperatura na região tende a aumentar no segundo semestre do ano (setembro a dezembro), sendo mais elevada nos meses de novembro e dezembro. No primeiro semestre, as temperaturas aumentam principalmente em janeiro e fevereiro e decrescem em março e abril, ocorrendo um aumento de temperatura em maio (Figura 03).



Fonte: FUNCEME, 1966 a 2006 (Estação Meteorológica do Campus Pici /UFC)

Figura 03 - Médias mensais de temperatura no município de Fortaleza no período de 1966 a 2006.

3.1.1. Balanço Hídrico

Balanço Hídrico é a operação que quantifica a diferença numérica entre as alimentações e as descargas de um sistema hídrico, numa região e num intervalo de tempo específico; é a soma das entradas (alimentações), das saídas (descargas) e das variações de armazenamento de um aquífero num intervalo de tempo definido.

Para a determinação do balanço hídrico na área de estudo foi utilizado o conhecimento de dados pluviométricos e temperaturas no período de 1966 a 2006, fornecidos pela FUNCEME; com estes dados foi possível fazer uma estimativa preliminar das reservas subterrâneas, determinando a parcela de precipitação que infiltra no subsolo, dando, assim, uma avaliação do processo de renovação das reservas de água subterrânea.

O cálculo do balanço hídrico foi realizado com a aplicação da fórmula de Thornthwaite, que considera as médias mensais de pluviometria (PPT) e temperatura (T), fornecendo a evapotranspiração potencial (ETP) e avaliação de evapotranspiração real (ETR) permitindo a obtenção da infiltração potencial (I).

A Fórmula de Thornthwaite para calcular a ETP é a seguinte:

$$ETP = 16 (10T / I)^a \times K$$

Onde:

ETP = Evapotranspiração Potencial (mm);

T = Temperatura média mensal em °C (referente ao período considerado);

I = Índice térmico anual;

K = fator de correção que depende da latitude do lugar e da insolação média mensal;

O índice térmico anual (I) é calculado pela expressão:

$$I = \sum_{i=1}^{12} I_i$$

Onde: $I_i = (T_i / 5)^{1,5}$

T = temperatura média de cada mês do ano;

i = índices térmicos mensais, que variam de 1 a 12 e somados dão o índice térmico anual (I).

a = constante obtida em função do índice térmico, sendo dado por:

$$a = 0,49239 + (1792 \times 10^{-5} I) - (771 \times 10^{-7} + I^2) + (675 \times 10^{-9} I^3);$$

Segundo VASCONCELOS (1999), o método proposto por Thornthwaite é considerado o mais adequado para áreas como Fortaleza, que apresenta alternância de estações secas e chuvosas bem distintas, permitindo uma correlação entre a precipitação e a evapotranspiração real, a partir de médias mensais de uma série histórica de dados.

Os valores da Evapotranspiração Potencial (ETP), de acordo com os cálculos obtidos, variaram de 124,9 mm em junho a 164,3 mm em dezembro. O valor obtido para o Índice

térmico (I) foi de 148,9 e para o fator (a) foi de 3,68; dados utilizados para os cálculos de ETP.

A evapotranspiração real (ETR) é calculada a partir da comparação entre evapotranspiração potencial (ETP) e a precipitação (PPT), considerando que o município tem uma capacidade de armazenamento (CA) de 100 mm, onde este valor é arbitrado como uma média, que podem variar com a natureza do terreno; 50 mm em solos arenosos e 200 mm em solos argilosos (VASCONCELOS, 1994) (Tabela 01 e Figura 04).

A evapotranspiração real anual média corresponde ao somatório das evapotranspirações médias mensais, de acordo com a Tabela 01, onde a Infiltração potencial média mensal é calculada pela seguinte equação:

$$I_e = P - ETR$$

Onde:

I_e = Infiltração potencial (ou efetiva);

P = Precipitação;

ETR = Evapotranspiração real.

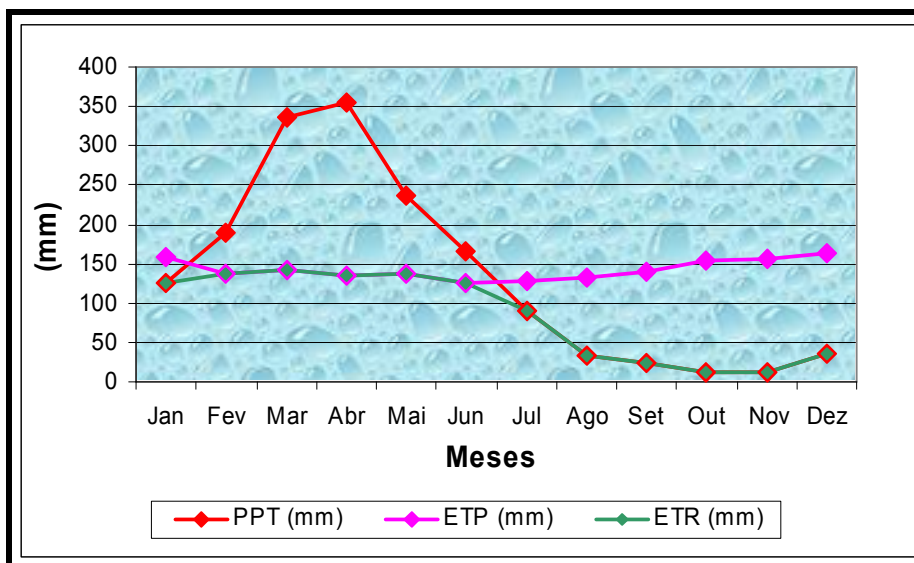
A partir desses cálculos, pode-se verificar que a infiltração potencial (I_e) anual é de 555 mm, representando 34% do total da média anual da precipitação pluviométrica, correspondendo assim a parcela de precipitação que contribui para a recarga subterrânea nos litótipos de porosidade primária. Para o sistema cristalino, essa parcela de precipitação contribui para uma recarga efetiva, pois nele a infiltração depende das fraturas abertas e do manto intempérico.

Tabela 01 - Valores para o balanço hídrico de Fortaleza-CE no período de 1966 a 2006, calculado pelo método de Thorntwaite.

Mês	PPT (mm)	T (°C)	I	K	ETP (mm)	PPT - ETP	C	ETR (mm)	Ie (mm)
Jan	125,1	27,3	12,75819	1,06	157,8	-32,72	0,0	125,1	0,0
Fev	189,6	27,1	12,61824	0,95	137,7	51,94	51,9	137,7	0,0
Mar	335,7	26,7	12,33991	1,04	142,7	193,02	100,0	142,7	193,0
Abr	354,5	26,6	12,27065	1,00	135,3	219,19	100,0	135,3	219,3
Mai	236,9	26,5	12,20152	1,02	136,1	100,79	100,0	136,1	100,8
Jun	166,8	26,1	11,9263	0,99	124,9	41,88	100,0	124,9	41,9
Jul	91,1	26,0	11,85782	1,02	126,9	-35,80	64,2	91,1	0,0
Ago	32,4	26,3	12,06365	1,03	133,7	-101,27	0,0	32,4	0,0
Set	23,7	26,8	12,40930	1,00	139,1	-115,39	0,0	23,7	0,0
Out	13	27,2	12,68815	1,05	154,2	-141,23	0,0	13,0	0,0
Nov	12,2	27,4	12,82835	1,03	155,4	-143,23	0,0	12,2	0,0
Dez	34,7	27,6	12,96906	1,06	164,3	-129,59	0,0	34,7	0,0
Total	1615,7	-	148,9311	-	1708,1	-	-	1008,9	555,0

Legenda: P = Precipitação; T = Temperatura; I = Índice térmico anual; K = fator de correção que depende da latitude do lugar; ETP = Evapotranspiração potencial; C = Capacidade de armazenamento; ETR = evapotranspiração real e Ie = Infiltração potencial.

A partir dos dados obtidos da Tabela 01, foi elaborado o gráfico do balanço hídrico (Figura 04) com três variáveis: precipitação, evapotranspiração potencial e evapotranspiração real, onde temos uma precipitação superior a evapotranspiração real somente durante o primeiro semestre do ano na quadra chuvosa que vai de fevereiro a maio, destacando bem o clima semi-árido predominante na região, que apresenta duas estações bem distintas: uma chuvosa no 1º semestre e outra seca no 2º semestre. No segundo semestre, ocorre um acréscimo das temperaturas onde a evapotranspiração potencial é pouco superior a evapotranspiração real que está relacionada com a precipitação e assim, toda a água precipitada é evaporada.



Fonte: Dados da FUNCEME, 1966 a 2006 (Estação Meteorológica do Campus Pici /UFC)

Figura 04 - Representação gráfica do balanço hídrico do município de Fortaleza, no período de 1966 a 2006.

3.2. SOLOS

Os solos originais de Fortaleza encontram-se substancialmente degradados devido à expansão urbana. Apesar disto, estão representados na região os tipos de solo: podzólico; planossol solódico; salonetz salodizado; solonchak solonétzico; aluvial eutrófico; litólico eutrófico e areias quartzosas marinhas distróficas (TAJRA, 2001).

O solo podzólico vermelho apresenta ocupação superficial bastante avançada, com predominância de argila de baixa atividade, bem desenvolvida e mediamente profunda, abrangendo 70% do território municipal.

O solo do tipo salonetz salodizado é originado pela associação do saprólito de gnaiss e apresenta-se raso, mal drenado e susceptível a erosão e pedregosidade. Usado localmente na exploração da argila para indústria de cerâmica.

Os solos halomórficos solonchak solonétzico são originados pela associação de depósitos fluviais com influência marinha dos rios Ceará, Cocó e Pacoti, sendo caracterizados por horizontes sálicos e camadas finas de sais cristalizados na superfície, com uma condutividade bastante elevada. É comum a ocorrência de campos de várzeas e florestas ribeirinhas de mangue com presença de carnaúba, apesar do avançado estágio da atividade extrativista madeireira.

O solo do tipo aluvial eutrófico engloba áreas de formação recente, como nas várzeas dos rios Maranguapinho, e parte dos rios Ceará e Cocó. Esse solo apresenta características morfotexturais variadas (areia até a argila) e profundidade de 0,8 a 2,0 metros. Neste solo ocorre o plantio de cana de açúcar e cultura frutífera, ao sul e sudeste da área.

O solo do tipo litólico eutrófico repousa sobre as rochas vulcânicas alcalinas e é recoberto com vegetação caatinga hipoxerófila. Ocorre ao sul do Serrote Ancuri, a sudoeste do município, e representa os materiais coluvionais do Complexo Gnaiss-Migmatítico.

As areias quartzosas marinhas distróficas estão distribuídas no litoral em forma de relevo variável, indo do plano ao fortemente ondulado e escarpado, e estão relacionadas a Formação Barreiras e aos sedimentos arenosos não consolidados das Dunas e Paleodunas. Sua cobertura vegetal é escassa e, quando presente é formada por espécies do estrato herbáceo e pela vegetação de encosta das Dunas.

3.3. VEGETAÇÃO

De acordo com a Síntese Diagnóstica do Município da Prefeitura de Fortaleza (2001) *in* TAJRA (2001), as unidades vegetacionais são caracterizadas e classificadas, conforme o Complexo Vegetacional Litorâneo do Município em: vegetação pioneira, mata a retaguarda de dunas, vegetação de tabuleiro litorâneo, vegetação de mangue, vegetação ribeirinha, vegetação aquática, vegetação antrópica.

A vegetação pioneira é encontrada no declive suave das dunas como espécies heliófitas herbáceas. Sua faixa de ocorrência vai da Praia das Goiabeiras, do Futuro até próximo ao rio Cocó e Sabiaguaba. Os principais representantes são: capim-barba-de-bode (*Remireae Marítima Aubi*); oró (*Phaseolus Panduratus Mart*) e salsa-praia (*Ipomoea pés-caprae Roth*).

A mata a retaguarda de dunas ocorre por trás das cristas de dunas distribuídas na faixa paralela ao mar no litoral leste da área (Praia do Futuro e Sabiaguaba). Os principais representantes são: quina-quina (*Coutarea Hexandra Schum*); João-mole (*Pisonia sp*); jucá (*Caesalpinia ferrea Mart*); juazeiro (*Zizyphus Joazene Mart*) e jurema-preta (*Mimosa Acutistipula Benth*).

Vegetação de tabuleiro litorâneo: a ocupação urbana provocou a descaracterização da fisionomia vegetal desta subunidade, sendo encontradas somente algumas manchas em áreas do Campus do Pici, Mondubim, Água Fria e parte leste e sul do município de Fortaleza. Os

principais representantes são: cajueiro (*Anarcadium Occidentale*); Angelim-da-praia (*Guettard Platypoda DC*) e caraíba (*Tabebuia Caraíba Bur*).

Vegetação de mangue: existem três grandes áreas de mangue no município e ocorrem relacionados aos rios Ceará, Cocó e Pacoti. Os principais representantes são: mangue ratinho (*Conocarpus Erecta Linn*); mangue vermelho (*Rhizophora Mangle Linn*) e mangue canoé (*Avicennia Nitida Jacq*).

Vegetação ribeirinha: ocorre no baixo curso dos rios Ceará e Cocó ocorrem o substrato arbóreo, dominado pela carnaúba (*Copernicia Cerifera Mart*); mulungu (*Erythrina Velutine Wild*); juazeiro (*Zizyphus Joazene Mart*) e oiticica (*Licania Rígida Benth*).

Vegetação aquática: ocorre na maioria das lagoas da área assumindo um papel fundamental no equilíbrio ecológico do ambiente lacustre. Os principais representantes são: aguapé (*Eichhornia Azurea Kunt*), bistorna (*polygonum Acre*) e canudo (*Ipomea Clarinicaubir Robinson*).

Vegetação antrópica: representa a cobertura vegetal do município que teve o homem como vetor de origem, constituindo extensos mangueirais, coqueiros e cajueiros.

3.4. GEOMORFOLOGIA

O município de Fortaleza é constituído basicamente por Planície Litorânea e Glacis Pré-Litorâneos, cujos limites sofrem influência da homogeneidade das formas de relevo, altimetria, estrutura geológica e das características do solo e vegetação.

A planície litorânea se caracteriza por altitudes inferiores a 200 metros, e compreende os campos dunares (Praia do Futuro, Cidade 2000 e Barra do Ceará), praias (em toda a orla costeira do município) e as planícies flúvio-marinhas (associada aos estuários dos rios Cocó, Ceará e Pacoti/Precabura). As dunas constituem-se por cordões quase contínuos paralelos à linha de costa, sendo, em alguns locais, interrompidos por cursos d'águas, planícies fluviais (associada aos rios Cocó, Ceará e Pacoti), flúvio-marinha e pela Formação Barreiras (ponta do Mucuripe).

Os Glacis Pré-litorâneos são formados por sedimentos pré-litorâneos da Formação Barreiras e distribuídas com uma faixa de largura variável que acompanha a linha de costa.

De acordo com CAJAZEIRAS & OLIVEIRA (2004), as condições favoráveis à percolação da água imprimem uma drenagem interna excessiva, que acentua os efeitos da lixiviação e limita o trabalho erosivo da pluviação. Na área de trabalho tem-se as planícies

fluviais dos rios Cocó, Ceará e uma planície fluvial situada no limite leste do município, no lugar denominado Lagoa Redonda (Precabura) e os tabuleiros pré-litorâneos que dispõem-se a retaguarda do cordão de dunas contactando, sem ruptura topográfica, com a depressão sertaneja.

3.5. HIDROGRAFIA

A rede hidrográfica do município de Fortaleza é caracterizada por cursos fluviais de pequeno porte e intermitentes, mas que representam uma importância relevante no abastecimento das populações ribeirinhas, salvo aquelas que moram já próximas ao mar.

As principais bacias hidrográficas que atravessam o município de Fortaleza são as Bacias da Vertente Marítima, a do Rio Cocó e a do Rio Maranguapinho, que juntas correspondem a uma área total de 336 km² e os seus rios de maior porte são Cocó, Ceará, Maranguapinho, Pacoti e Coaçu (Figura 05).

Bacia da Vertente Marítima: compreende a faixa localizada entre as desembocaduras dos rios Cocó e Ceará, com topografia favorável ao escoamento das águas para o mar, cujos principais mananciais são: lagoa do Mel; riacho Jacarecanga; riacho Pajeú e riacho Maceió-Papicu.

Bacia do Rio Cocó: o elemento principal é o rio Cocó que nasce na Serra da Pacatuba, no município homônimo, tendo um percurso total de cerca de 45 km, dos quais 25 km cortam todo o município de Fortaleza. Esta bacia é o principal recurso hídrico superficial da área e tem como elementos macrodrenantes secundários principais: lagoa da Parangaba; lagoa do Opaia; riacho do Açude Jangurussu; riacho Fernando Macedo; lagoa e riacho da Lagoa Grande; rio Coaçu; Açude Osmani Machado; riacho da Lagoa da Maraponga; riacho da Lagoa Itaoca; Açude Uirapuru; lagoa do Coité; riacho da Lagoa Redonda; riacho da Sapiranga; riacho da Lagoa de Ancuri; riacho do Açude Traíra; riacho do Açude Guarani I e Açude Precabura (PDD, 1998 *in* Tajra, 2001). No rio Cocó está contido um dos principais reservatórios do Sistema de Abastecimento de Água Bruta da Região Metropolitana de Fortaleza, açude Gavião, cuja bacia hidrográfica tem uma área de 99,35 km², correspondente a 33% da área total da bacia, e é responsável pelo abastecimento da ETA Gavião.

Bacia do Rio Maranguapinho: corresponde a uma faixa norte-sul do município que vai de um local próximo à foz do rio Ceará até o bairro Siqueira. O elemento principal é o rio Maranguapinho que nasce na Serra de Maranguape e percorre uma extensão de 42 km, dos

quais 15 km em Fortaleza, e possui 9 afluentes, 5 açudes e 9 lagoas, além de alguns mananciais menos expressivos e sem denominação oficial. Dentre os principais elementos drenantes desta bacia, estão: riacho Correntes; riacho da Lagoa da Parangaba; riacho do Açude João Lopes, riacho da Lagoa do Mondubim e o açude da Agronomia ou Santo Anastácio. Este rio conflui com o Rio Ceará pouco antes do encontro com o mar, compartilhando, portanto, da mesma foz. Apresenta suas nascentes em região serrana, o que implica em declividades acentuadas, ocasionando altas velocidades do rio e seus afluentes, nos altos cursos. Estas características do rio acentuam-se na estação chuvosa, época em que ocorrem deslizamentos da serra, os quais provocam assoreamento do seu leito natural e, conseqüentemente, transbordamentos e alagamentos de grandes proporções.

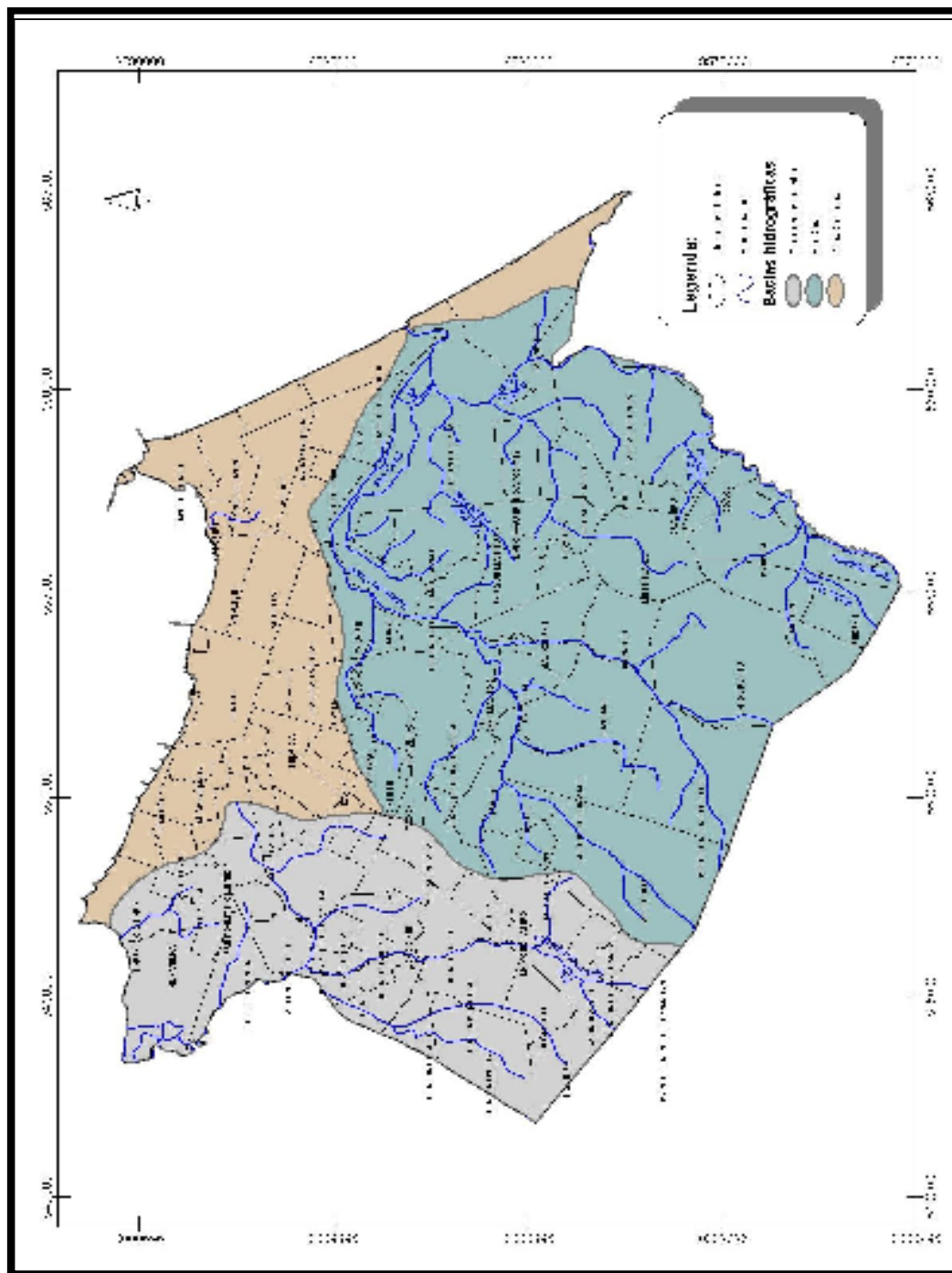


Figura 05 - Bacias Hidrográficas do município de Fortaleza - Ceará (Fonte: QUESADO JUNIOR, 2008)

ASPECTOS SÓCIOECONÔMICOS

4. ASPECTOS SÓCIOECONÔMICOS

De acordo com o censo demográfico de 2006 realizado pelo IBGE o município de Fortaleza, instalado em 1725, apresenta uma área de 313,8 km² com o total de 2.416.920 habitantes, com uma densidade demográfica de 6.855 hab/km², a uma taxa de crescimento anual de 2,15% representando uma taxa de urbanização de 100%.

A cidade de Fortaleza concentra 55,97 % do PIB (Produto Interno Bruto) do estado do Ceará, que conta com um parque industrial dos setores da construção civil, extrativismo mineral, transformação e utilidade pública (IPLANCE, 2000).

A renda *per capita* média do município cresceu 30,08%, passando de R\$ 235,77 em 1991 para R\$ 306,70 em 2000. A pobreza (medida pela proporção de pessoas com renda domiciliar *per capita* inferior a R\$ 75,50, equivalente à metade do salário mínimo vigente em agosto de 2000) diminuiu 19,53%, passando de 41,4% em 1991 para 33,3% em 2000.

As principais atividades econômicas do município de Fortaleza são a indústria (setor secundário) e os serviços (setor terciário); nestes ressalta-se os de infra-estrutura básica e turismo. O setor primário praticamente não existe no município, exceto pela pequena produção de hortaliças para atender o mercado local.

No período 1991-2000, a taxa de mortalidade infantil do município diminuiu 26,62%, passando de 47,11 (por mil nascidos vivos) em 1991 para 34,57 (por mil nascidos vivos) em 2000, e a esperança de vida ao nascer cresceu 3,68 anos, passando de 65,95 anos em 1991 para 69,63 anos em 2000 (IBGE, 2000).

Os principais indicadores da educação são taxa de analfabetismo de 16,8% e taxas de escolaridade, evasão e repetência, no ensino fundamental que é de 74,5%, 9,5% 10%, respectivamente (IBGE, 2000).

O abastecimento de água para população de Fortaleza, tanto residencial quanto comercial, é realizado pela Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE) através da captação das águas do açude Acarape do Meio, do sistema Pacoti-Riachão-Gavião e do Açude Pacajus, que juntos tem a capacidade de armazenar 693,1 milhões de m³, beneficiando 559.911 famílias, e o índice de cobertura com serviços de coleta de esgoto é de 60%.

Em 1996, neste município, foram criadas 06 (seis) Secretarias Executivas Regionais, com o objetivo de tornar o Poder Público mais acessível e próximo da população.

ASPECTOS GEOLÓGICOS

5. ASPECTOS GEOLÓGICOS

A caracterização geológica regional do município de Fortaleza é dada principalmente por expressões de sedimentos cenozóicos (Terciário, Tércio-Quaternário e Quaternário) e rochas pré-cambrianas (Tabela 02). A distribuição espacial das unidades geológicas na área pode ser considerada 80% para as unidades sedimentares e o restante para as unidades cristalinas, com cerca de 55 km².

Tabela 02 - Caracterização geológica do município de Fortaleza - Ceará

Era	Período	Unidade Lito-estratigráfica	Símbolo	Litologia
Cenozóica	Quaternário	Areias de praia Dunas móveis ou recentes	Qd	Areias de praia com granulação média predominante quartzo-feldspáticas, arenitos. As dunas são compostas por areias finas, quartzosas bem classificadas. De cores claras comumente esbranquiçadas.
		Depósitos Flúvio-Aluvionares e de Mangue	Qa	Cascalhos, areias grossas, siltes e argilas.
		Paleodunas	Qpd	Areias de grão fino a médio, raramente siltosas, coloração variando entre cinza claro e vermelho suave.
	Terciário quaternário	Coberturas Colúvio-Eluviais	TQc	Areias silte-argilosas, localmente lateritizadas.
		Formação Barreiras	TQb	Argilas, arenitos, cascalhos, conglomerados, todos diversos.
	Terciário	Vulcânicas Alcalinas	Tal	Fonolitos traquitóides, sodalita-fonolito-traquitóides e tufos.
Pré-Cambriana	Proterozóico inferior	Complexo Gnáissico-Migmatítico.	ρC gn-mgp	Domínio de biotita-gnaisses para e ortoderivados, anfibolitos, granadas e silimanita. Predominância de migmatitos.

Fonte: Elaborada com base em BRANDÃO (1995).

O arcabouço estrutural da Região Metropolitana de Fortaleza é caracterizado principalmente por um desenvolvimento tectônico polifásico, em que descontinuidades representadas por zonas de fraturas e falhas sucederam-se as estruturas resultantes de uma

tectônica dúctil, ou seja, resultantes de um comportamento composto por estiramento e deformações plásticas muitas vezes tendendo a se posicionar segundo as orientações das anisotropias pretéritas. Este comportamento dúctil está representado com mais evidência nos litocomponentes do Complexo Gnáissico-Migmatítico, que tem expressões aflorantes ao sul de Fortaleza (TAJRA, 2001).

5.1. COMPLEXO GNÁISSICO-MIGMATÍTICO

Na parte sul e sudeste do município, são encontradas rochas paraderivadas de natureza gnaisse-migmatítica, representadas por manifestações com provável posicionamento estratigráfico relacionado ao final do Proterozóico Inferior (BRANDÃO, 1995). Este conjunto de rochas foi originalmente individualizado por distintos autores, segundo o ponto de vista lito-estratigráfico, juntamente com expressões de granitóides, como unidades pertencentes ao Complexo Tamboril/Santa Quitéria e Complexo Caicó, respectivamente por MORAIS (1984) e BRANDÃO (1995). No entanto, neste trabalho adota-se a designação mais recente, fazendo-se ressalva que não ocorrem na área estudada a unidade de base formadora do Complexo Granitóide-Migmatítico.

5.2. VULCÂNICAS ALCALINAS

Na parte centro-leste à sudeste da área, próximo à foz do Rio Pacoti, foi cartografado um corpo circular sob a forma de *neck* ou *plug*, de composição rochosa vulcânica alcalina, sendo denominado na literatura por morrote Caruru. ALMEIDA, (1958 *in* BRANDÃO, *op. cit.*) associou-o, pela primeira vez, a grandes lineamentos estruturais relacionados ao vulcanismo terciário do arquipélago de Fernando de Noronha. Identificou-se ainda, a suíte rochosa do referido corpo, cuja datação marcou $28,6 \pm 9$ m.a, como fonolitos e traquitos de coloração cinza-esverdeado, com pórfiros feldspáticos de dimensões milimétricas numa matriz afanítica.

Associado a este evento ocorrem, ainda, os diques alcalinos que, com restrita representatividade ao sul do município, são constituídos por veios de sílica, pegmatitos e microgranitos filoneanos. BRANDÃO (1995) observou que estes diques ocorrem encaixados em biotita-gnaises e granitóides, permitindo deduzir a associação entre os citados litótipos.

5.3. COBERTURAS COLÚVIO-ELUVIAIS

Ocorrem no extremo sul e sudoeste da área como depósitos de material residual do intemperismo *in situ* das rochas pré-cambrianas, podendo também apresentarem localmente um pequeno deslocamento gravitacional. Estes depósitos estão representadas nas áreas “entre rios” da faixa sul.

Recebendo a denominação de coberturas, essa unidade caracteriza-se por formar pequenos tabuleiros aplainados com suaves ondulações e, apesar da restrita representação na área, ocorrem distinguindo a zona de transição crono-estratigráfica do cristalino para os sedimentos costeiros.

Aos sedimentos formadores desta unidade é conferida uma natureza imatura por não apresentarem estratificação, ter caráter arcoseano e possuírem grãos de quartzo mosqueados.

5.4. FORMAÇÃO BARREIRAS

Durante os trabalhos do Projeto Fortaleza, MORAIS (1984) utilizou a denominação de Grupo Barreiras Indiviso para uma seqüência de leitos e lentes de sedimentos clásticos pouco consolidados, desde conglomerados a arenitos de todas as granulométricas, sobrepondo a superfície de erosão das rochas pré-cambrianas de maneira discordante e sotopondo-se, também discordantemente, as coberturas formadas por dunas e sedimentos aluvionares.

Utilizando a denominação encontrada em BRANDÃO (1995), empregamos o termo Formação Barreiras para seqüência de sedimentos cenozóicos que ocorrem numa ampla faixa de largura variável acompanhando a linha de costa, atrás dos sedimentos eólicos antigos e atuais, e que penetra em direção ao interior da área estudada.

Essa seqüência, de espessura variável entre 20 e 50 metros, é constituída litologicamente por sedimentos areno-argilosos, pouco ou não litificados, de coloração avermelhadas, creme ou amarelada, muitas vezes com aspecto mosqueado horizontes conglomeráticos e níveis lateríticos. Tais níveis não apresentam cota definida e podem estar associados à percolação da água subterrânea que lixívia o elemento ferro, concentrando-o em determinados níveis (CAVALCANTE, 1998).

5.5. PALEODUNAS

Na área ocorrem corpos de sedimentos inconsolidados que repousam discordantemente sobre os sedimentos da Formação Barreiras, e representam depósitos eólicos antigos e mais oxidados que as dunas recentes. Estão localmente encobertos por aluviões, quando o nível de erosão provocado pelas drenagens assim permitem.

As paleodunas ocorrem distribuídas de forma quase contínua ao longo da linha costeira e por atrás do cordão de dunas móveis na direção praia-interior, sendo recortadas por rios e riachos que drenam a faixa do município.

Através da interpretação aerofotogrametria realizada pelo Projeto Fortaleza (MORAIS, 1984) nos setores leste, nordeste e extremo nordeste do município, os sedimentos denotam feições típicas de dunas parabólicas com eixos segundo a direção SE-NW, refletindo a predominância dos ventos que sopram de sudeste.

A espessura varia entre 10 a 15 metros, podendo atingir 30 metros, mostrando uma gradual redução em direção ao interior. Mostram boas exposições próximas a foz do rio Pacoti e nas salinas do rio Cocó.

5.6. DEPÓSITOS FLÚVIO-ALUVIONARES E DE MANGUES

Estão representados na área de pesquisa por depósitos sedimentares, compostos por areias, cascalhos, siltes e argilas, com ou sem matéria orgânica e compreendem os sedimentos fluviais, lacustres e estuarinos recentes.

Ao longo dos trechos onde a drenagem parece ser controlada por fraturas e falhas, com destaque aos trechos do rio Maranguapinho, os depósitos constituem estreitas faixas formadas por sedimentos de granulometria grosseira. Nas planícies de inundação os sedimentos apresentam uma constituição mais fina.

Ao cortarem as coberturas sedimentares, as drenagens locais propiciam a acumulação de maiores depósitos de areias finas, siltes e argilas, oriundos do retrabalhamento da Formação Barreiras e das dunas. Com relevância, cita-se as aluviões do rio Cocó que chegam a alcançar 1,3 km de largura e espessura entre 5 a 15 metros, que podem ser observados no quadrante nordeste da área.

Nos estuários ou nos ambientes de planície flúvio-marinhas formam-se depósitos de silte-argiloso, ricos em matéria orgânica que sustentam uma vegetação de mangue, destacando-se as áreas de mangues associados aos rios Cocó e Pacoti.

5.7. DUNAS RECENTES OU MÓVEIS E AS AREIAS DE PRAIA

As dunas recentes estão dispostas como cordões contínuos que ocorrem paralelamente a linha de costa, assemelhando-se a espigões longitudinais na porção NE da área e de contorno irregular do tipo “*seif*” na foz do rio Cocó. Estas feições são, no entanto, em alguns locais controladas pelas estruturas sotopostas formadas pelas dunas antigas (MORAIS, 1984). Possuem uma largura média de 1 km e espessuras variando entre 8 a 15 metros, podendo chegar até 30 metros. O cordão de dunas atinge 1,6 km de largura na porção oeste da área, faixa compreendida entre a Ponta do Mucuripe e a foz do rio Pacoti.

Os contatos com a geração de duna mais antigas da unidade sotoposta se dá de maneira abrupta, embora, por vezes, os sedimentos eólicos recentes podem ser encontrados capeando diretamente os sedimentos do Barreiras. Localmente, o processo natural de dinâmica eólica para a mineração das dunas móveis é atenuado, senão pela presença de vegetação e/ou fixação de um revestimento pioneiro, e pelo intenso processo de urbanização da cidade, normalmente nos setores nordeste, norte e leste da área.

As dunas recentes são constituídas litologicamente por areias esbranquiçadas, bem selecionados, de granulação fina a média, quartzosas, com grãos de quartzo fosco e arredondado. Apresentam, algumas vezes, raras concentrações ou leitos de minerais pesados principalmente a ilmenita.

As areias de praias são formadas pelos depósitos de areias contínuos e alongados por toda a extensão da costa, entre os limites de baixa maré e o início das dunas móveis. Nesta faixa é observado o fenômeno do aumento do nível estático das águas subterrâneas e a secagem das areias devido o constante trabalho eólico.

Neste contexto, são enquadrados os cordões de arenitos ou “*beach rocks*” de praia encontrados ao longo das praias de Sabiaguaba, Abreulândia e foz do rio Pacoti (MORAIS, 1984).

ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

6. ASPECTOS HIDROGEOLOGICOS

Neste capítulo adotaram-se os conceitos estabelecidos por CAVALCANTE (1998), quando foram analisadas as características dos dois sistemas aquíferos que integram a RMF (Sistema Aquífero Sedimentar e o Meio Cristalino) destacando-se principalmente os tipos, ocorrências, espessuras, recargas/descargas, propriedades hidrodinâmicas e qualidade das águas subterrâneas do contexto hidrogeológico regional.

6.1.SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS

No município de Fortaleza são encontrados 2 (dois) sistemas aquíferos: o sedimentar (constituído por Dunas/Paleodunas (99,4 km²), Barreiras (120,4 km²), Aluviões (38,55 km²)), e o Meio Cristalino (55,45 km²) (Tabela 03 e Apêndice A). São típicos do meio sedimentar os poços tubulares profundos (PTP), poços tubulares rasos (PTR), poços manuais (PM) e poços amazonas (PA), enquanto no meio cristalino ocorrem somente os poços tubulares profundos (PTP).

Tabela 03 - Área dos Aquíferos no município de Fortaleza - Ceará.

Aquífero	Área (km²)	Porcentagem (%)
Dunas/Paleodunas	99,4	31,68
Barreiras	120,4	38,37
Aluviões	38,55	12,28
Cristalino	55,45	17,67
Total	313,8	100

6.1.1. Sistema Aquífero Sedimentar

O Sistema Aquífero Sedimentar corresponde aos sedimentos clásticos do meio sedimentar, estando o aquífero representado pela porosidade intergranular primária, com possibilidade hidrogeológicas muito variáveis e na dependência da litologia, espessura,

morfologia e posicionamento estratigráfico das camadas. Esse sistema engloba três unidades aquíferas: Dunas/Paleodunas, Barreiras e Aluviões (Apêndice A).

6.1.1.1. Dunas/Paleodunas

Esse conjunto foi considerado, para efeito de estudo, como um sistema aquífero único, em função das características litológicas e hidrodinâmicas serem similares. Ocorre bordejando a orla da área do município, sendo que, localmente, observa-se que adentram ao continente na porção leste e oeste, mais precisamente na Praia do Futuro e Barra do Ceará.

Esse aquífero é constituído por campo dunares homogêneos, recortados, ocasionalmente pela rede de drenagem (Rios Cocó e Ceará) que, quando anastomosada, favorece o surgimento de lagoas interdunares.

As Dunas/Paleodunas são compostas por areias pouco consolidadas e extremamente homogênea, finas, com diâmetro efetivo de 0,15 a 0,25 mm e espessura entre 15 a 25 metros. Por vezes, ocorrem níveis síltico-argilosos a argilosos, oriundos da própria variação da energia de deposição dos grãos. Geralmente se encontram sobrejacente a Formação Barreiras e as aluviões.

Esse sistema constitui o melhor potencial hidrogeológico da área (CAVALCANTE, 1998), tendo características de aquífero livre, com espessura saturada oscilando de 3 a 10 metros, e que pode funcionar como uma unidade aquífera principal e/ou de transferência, quando conduz água para os aquíferos sotopostos, Barreiras e aluviões.

A recarga de todo esse pacote de sedimentos se dá por infiltração pluvial direta e, embora a pluviometria média sobre a área aflorante seja considerável, parte desta água facilmente os efeitos da evapotranspiração, já que o nível das águas subterrâneas neste sistema é subaflorante, especialmente nas zonas de menores cotas altimétricas. De acordo com CAVALCANTE (1998), o nível estático regional é, em média, de 6 metros e a vazão média obtida a partir de poços tubulares rasos é de 6,0 m³/h.

Os exutórios principais são as drenagens dos rios Cocó, Pacoti e Ceará, as lagoas interdunares, o mar e a evapotranspiração.

A qualidade das águas é geralmente boa, exceto em alguns locais onde as análises físico-químicas apresentam elevadas concentrações de cloretos, a exemplo da bateria de poços de Abreulândia, à sudeste da área (CAVALCANTE, 1998).

6.1.1.2. Barreiras

O Barreiras no contexto regional, não é considerada por muitos autores como um aquífero, e sim aquítarde, já que possui porosidade e permeabilidade baixas e condutividade hidráulica estimada em $1,8 \times 10^{-6}$ m/s. Possui uma grande variação de fácies, com espessura oscilando de 20 a 60 metros. Esta formação apresenta intercalações diferenciadas de níveis síltico-argilo-arenosos, que condicionam esta formação a ter diferentes parâmetros hidrodinâmicos (permeabilidade, porosidade e transmissividade), tanto vertical quanto horizontalmente.

CAVALCANTE (1998) encontrou, a partir de poços analisados da RMF, valores para o rebaixamento do nível d'água em torno de 5 a 30 metros, com mínima de 1,2 metros e a máxima de 47 metros. No município de Fortaleza esta tendência de distribuição pode ser confirmada, considerando-se 20 metros para o rebaixamento médio nos poços que captam o aquífero Barreiras. O nível estático d'água na área ocorre com valores inferiores a 15 metros.

A vazão chega até 12 m³/h, com predominância para o intervalo entre 1,2 a 3,5 m³/h, sendo que as maiores vazões foram encontradas nos bairros de Fortaleza, tais como Conjunto Palmeiras (porção sul), Pirambu e Álvaro Weyne (porção noroeste).

O maior armazenamento neste depósito está localizado no fácies arenosos e a recarga é feita por infiltração das águas das chuvas, das drenagens influentes, através do sistema Dunas/Paleodunas e aluviões (TAJRA, 2001).

Como exutórios naturais, as águas subterrâneas do Barreiras tem, de maneira geral, a rede de drenagem e as lagoas. Em locais de contato com o meio cristalino sotoposto, o escoamento destas águas se faz através das fraturas, desde que existam as características propícias à circulação e o armazenamento.

Para efeito de caracterização da qualidade das águas no Barreiras, CAVALCANTE (1998) demonstrou que os padrões de portabilidade variam de boa a medíocre, e as águas são predominantemente bicarbonatadas sódicas a cloretadas sódicas.

6.1.1.3 Aluviões

As aluviões constituem aquíferos livres que ocorrem ao longo dos principais rios de Fortaleza (Cocó, Ceará e Maranguapinho). Os sedimentos aluvionares são geralmente porosos, permeáveis, de pequenas e médias espessuras, com nível estático em torno de 2 metros e profundidade moderada, onde a máxima é de 15 metros.

Segundo CAVALCANTE (1998), as águas subterrâneas das aluviões dos rios Cocó e Maranguapinho estão comprometidas com a poluição derivada de esgotos domésticos e industriais, considerando como impróprias para consumo e uso humano ou animal.

A recarga se faz por infiltração das águas de chuvas e pela drenagem influente que, no período de estiagem, passam a funcionar como o exutório, além da evapotranspiração. Conhecidos como “riachos fendas”, ou linhas de drenagem encaixadas em fraturas do embasamento, juntamente com as aluviões e a eles associados, estes elementos constituem importantes condutos de recarga para a alimentação do aquífero cristalino servindo de guias na prospecção de água subterrânea, sendo as águas subterrâneas nas aluviões predominantemente cloretadas sódicas.

6.1.2. Meio Cristalino

Esse contexto engloba os litótipos ígneos, metamórficos e as vulcânicas alcalinas. No município de Fortaleza o embasamento cristalino não é aflorante, mas localmente, nos bairros Bom Jardim e Granja Portugal, situa-se a alguns metros abaixo da superfície do terreno (Apêndice A).

No contexto regional é constatado pouca, ou praticamente nenhuma, vocação para armazenamento e captação nesse sistema cristalino, comparativamente ao meio sedimentar; mas, considerando que em situações de *déficit* hídrico nos períodos de estiagem a que é submetido o município em apreço, o abastecimento domiciliar e industrial é, muitas vezes, a fonte alternativa, reconhecendo sua importância hidrogeológica (TAJRA, 2001).

Considerando que as condições de infiltração, armazenamento e circulação das águas nos aquíferos fissurais estão limitadas às zonas de fraturas, na medida em que estas estejam intrinsecamente relacionadas às aberturas e a interconectação com as áreas de recarga, admite-se então o enquadramento desta unidade litológica como aquífero.

No quadrante sudoeste de Fortaleza ocorrem às rochas cristalinas contíguas ao curso médio do rio Maranguapinho, e em parte do eixo sul-norte do rio Cocó. A presença e recarga de água em subsuperfície estão condicionadas a existência de falhas, fraturas e fendas, ocasionalmente abertas e quase sempre recobertas por depósitos aluvionares de razoável grandeza.

CAVALCANTE (1998) mostra que os poços no contexto cristalino da RMF possuem uma profundidade predominantemente de 50 a 60 metros, podendo atingir até 80 metros; o nível estático entre 0,7 a 15 metros e o rebaixamento entre 5 e 35 metros, dependendo do tipo de equipamento usado para o teste de produção e do tempo de bombeamento, enquanto as vazões são em torno de $2\text{m}^3/\text{h}$ e a capacidade específica inferior a $1[(\text{m}^3/\text{h})/\text{m}]$.

Na análise de 101 fichas de poços realizadas pelo Projeto Fortaleza (MORAIS, 1984) se confirma esta tendência do comportamento da vazão para Fortaleza, com exceção dos poços localizados nos bairros Conjunto Palmeiras (Sul) e Granja Portugal (Oeste), onde as vazões atingiram valores de até $12\text{m}^3/\text{h}$.

A recarga dos aquíferos fissurais de Fortaleza é realizada pela infiltração direta da água de chuva ou indiretamente através dos depósitos aluvionares dos rios Ceará, Cocó, Maranguapinho e Pacoti. O armazenamento pode estar restrito ao pacote de rochas alteradas ao longo das fraturas e/ou fendas.

O comportamento hidráulico do meio fissural é diferente dos meios porosos. Ressalta-se o caráter primário dos parâmetros de porosidade e condutividade hidráulica, distinto das rochas sedimentares, facilitando-lhes melhores condições de armazenamento e fluxo d'água. No meio cristalino, o armazenamento e fluxo ocorrem associados às fraturas, interconectadas e abertas e, portanto, de maneira indireta ou secundária (CAVALCANTE, *op.cit.*).

A classificação da água no cristalino, utilizando-se o diagrama de Scholler & Berkloff, mostra termos passáveis a não passáveis refletindo elevadas concentrações de cloretos, variando de 80 a 4.500 mg/L .

**SITUAÇÃO DAS OBRAS
DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

7. SITUAÇÃO DAS OBRAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

No levantamento realizado até maio de 2002 pela GOLDER & PIVOT para a SRH/COGERH (Projeto de monitoramento/gestão de água subterrânea em micro-áreas estratégicas da Região Metropolitana de Fortaleza) foram cadastrados no município de Fortaleza 7.281 poços, sendo 6.519 particulares, 695 públicos e 67 sem informação (Figura 06).

Quanto ao diagnóstico da situação dos poços, foi possível identificar (6.933 dados) a seguinte situação: 4.698 poços em uso, 1.514 desativados, 637 abandonados, 82 não instalados, 2 em construção e 348 sem informação. Pode-se constatar que a predominância é para os poços em uso (64%) a aqueles desativados (21%), com menores percentuais para os abandonados (9%), não instalados (1%) e sem informação (5%).

A situação dessas obras, levando em conta o caráter particular e público, e de acordo 6.885 dados mostra que: 4.458 (72%), dos poços particulares (privados) estão em uso, 1.211 (19%) são desativados, 515 (8%) abandonados, 48 (1%) não instalados e 2 poços em construção, enquanto que os públicos apresentam 234 (36%) poços em uso, 275 (42%) desativados, 109 (17%) abandonados e 33 (5%) não instalados (Tabela 04). Observa-se que no município há uma predominância maior de poços particulares em uso (65%) do que poços públicos (35%) em uso, ou seja, mais de 50 % dos poços em Fortaleza são de domínio privado, utilizados nas indústrias, hotelarias hospitais e escolas. Somente 8% (particular) e 17% (público) dos poços estão abandonados por motivos diversos (água salgada, secos, entupidos, etc.).

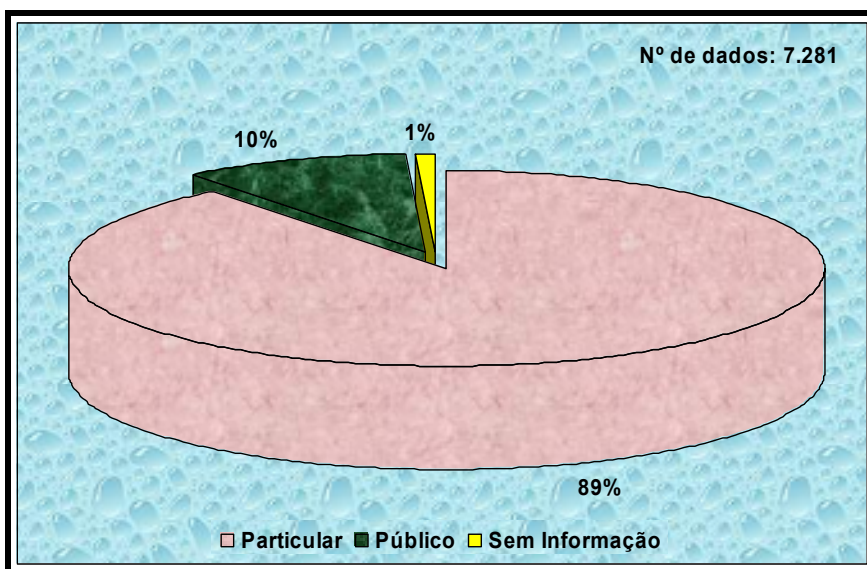


Figura 06 - Situação dos poços em Fortaleza - Ceará

Tabela 04 - Situação dos poços cadastrados em Fortaleza - Ceará

Situação	Particular		Público	
	Nº de Poços	Frequência (%)	Nº de Poços	Frequência (%)
Em uso	4.458	72	234	36
Desativado	1.211	19	275	42
Abandonado	515	8	109	17
Não instalado	48	1	33	5
Em construção	2	0	-	-
Total	6.234	100	651	100

7.1. DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DOS POÇOS

A distribuição temporal dos 3.131 poços cadastrados é bastante ampla, abrangendo o período de 1971 a 2002. A figura 07 mostra que nas últimas três décadas existiu um forte crescimento desta atividade, ressaltando-se que dos 3.131 poços com dados de construção, 2.644 (84%) foram construídos nos últimos 29 anos. Isto mostra a importância que a água subterrânea vem tendo para a população de Fortaleza, associada a uma crescente deterioração qualitativa e/ou escassez das águas superficiais. Obras com mais de 29 anos de construção aparecem em pequena escala (16%), em relação aquelas posteriores a 1971, havendo, no entanto, um considerável número de poços sem informações sobre a data de construção (57%).

A Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) esteve em 1981 à beira de um colapso total no abastecimento de água, em virtude do período de seca que ocorreu iniciado, em 1979 e prolongando-se até 1983. Por falta de recarga hídrica decorrente da prolongada estiagem, a situação tornou-se calamitosa no segundo semestre de 1983; neste período, a escassa oferta hídrica era obtida de bombeamento dos porões dos reservatórios, sendo, obviamente, de má qualidade química. A normalidade da estação de chuvas nos anos seguintes, com inclusive a grande cheia de 1985 (2.418 mm), mascarou a situação, ocasionando o “esquecimento” do problema (CAJAZEIRAS & OLIVEIRA, 2004).

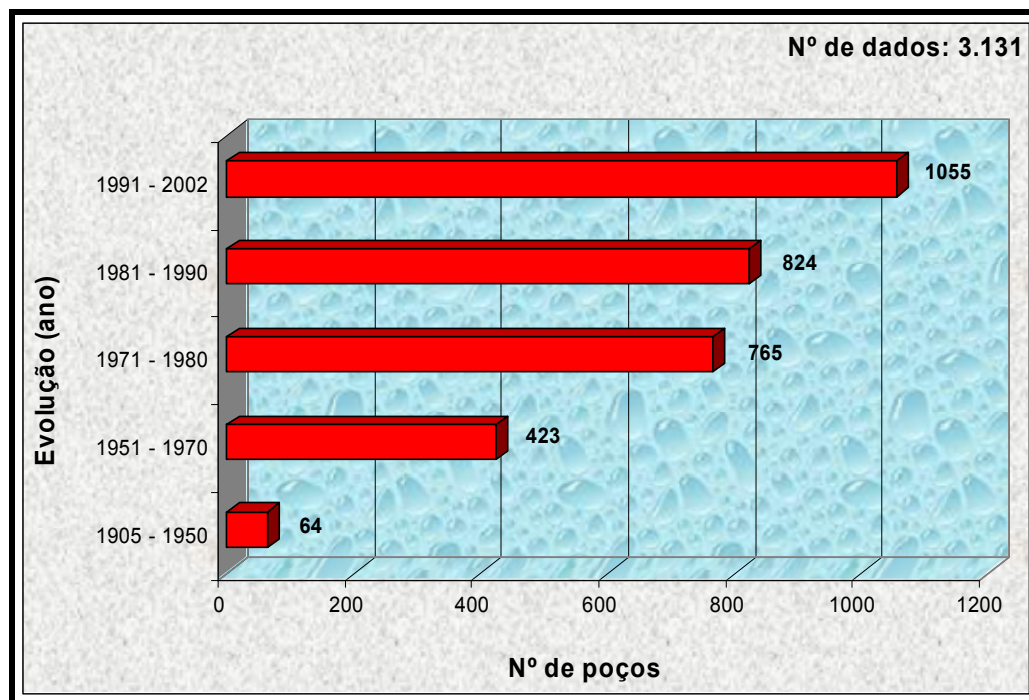


Figura 07 – Evolução temporal da construção de poços em Fortaleza - Ceará

7.2. CLASSIFICAÇÃO DOS POÇOS

Foi utilizado neste trabalho o cadastro CEARÁ/SRH (2002), onde foi adotada a classificação técnica da SRH para a classificação dos poços localizados no município.

Assim, os poços foram classificados em 5 (cinco) tipos:

PTP - Poço Tubular Profundo (Poço tubular com mais de 20 m de profundidade); incluso neste tipo: poços mediantemente profundos (20 - 50 m) a poços profundos (> 50 m);

PTR - Poço Tubular Raso (Poço com menos de 20 m de profundidade) pode ser: PTRP - Poço Tubular Raso Perfurado a máquina e PTRT - Poço Tubular Raso a Trado;

PA - Poço Amazonas (Poço com diâmetro superior a 4 m);

PM - Poço Manual (cacimba) (Poço com diâmetro inferior a 4 m);

PTNC – Poço Tubular Não Classificado.

O município de Fortaleza possui 7.281 poços, com uma predominância de 2.451 (33 %) poços tubulares profundos, seguida de 189 (3%) poços tubulares rasos, com 196 (3%) poços perfurados a máquina e 2.473 (34%) perfurados a trado, totalizando 2.858 poços rasos, enquanto que os poços manuais (cacimbas) perfazem 980 (13%) e 9 poços amazonas. Já os poços tubulares não classificados foram em torno de 983 (14%) (Figura 08).

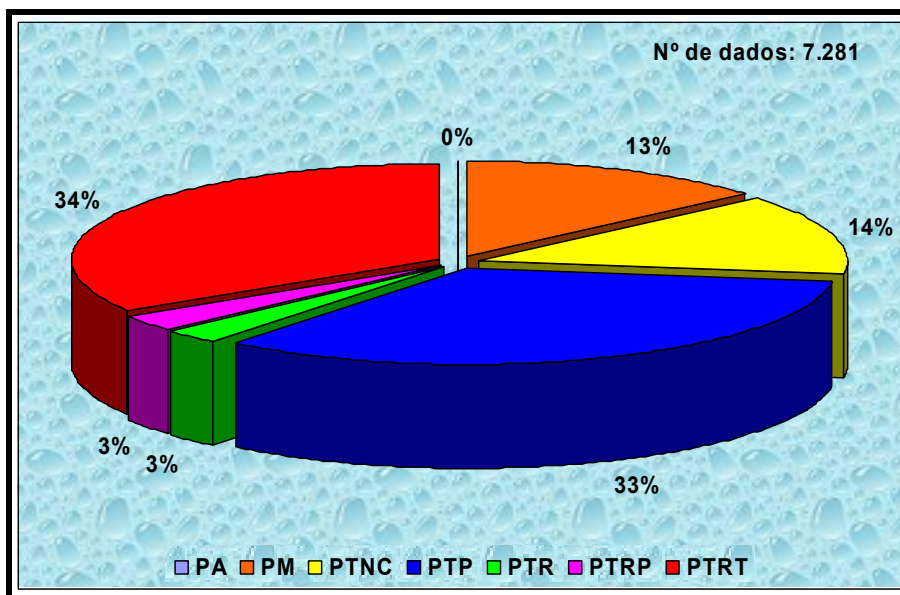


Figura 08 - Classificação dos poços no município de Fortaleza - Ceará (O valor do gráfico igual a 0% equivale realmente a 0,12%)

O número significativo de poços tubulares rasos perfurados a trado ou a máquina (perfuratriz ou sonda) é comum em áreas sedimentares costeiras da área, tanto em função da rapidez na construção da obra, pois geralmente possuem pequena profundidade, quanto pelo menor preço comparativamente aos poços construídos com maquinário pesado. Como exemplo de poço tubular raso ativo, temos o poço localizado no bairro Vicente Pizon (porção litorânea de Fortaleza), que apresenta uma profundidade de 10 metros e o nível estático de 3,3 metros. A água desse manancial é usada para fins domésticos e comerciais (Lava jato) (Foto 01).



Foto 01 – Poço tubular raso (PTR) localizado no bairro Vicente Pizon, Fortaleza/CE.
(Novembro/2007)

Nas zonas de recarga dos aquíferos, os poços construídos devem obedecer às exigências de proteção, tanto durante a construção como para manutenção destes, caso contrário tornam-se verdadeiros condutos direto de contaminantes para o aquífero.

A forma adequada para a proteção sanitária de poços seria, segundo as normas da ABNT (NB 1290), que o poço tenha uma laje de proteção com declividade do centro para a borda, espessura mínima de 15 cm e área não inferior a 1 m². A coluna do tubo deve ficar saliente no mínimo 50 cm sobre a laje.

Os poços localizado no Colégio Estadual Sebastião Aldigueri (Foto 02) e Escola Estadual de Alagoas (Foto 03) apresentam uma laje de cimentação e abrigo para a bomba, mas não com declividade mínima estabelecida pela ABNT. Esses poços tubulares tem profundidades de 30 a 35m, respectivamente, são utilizados para o abastecimento do colégio, além da CAGECE.

A ocorrência de poços manuais (cacimbas) no município de Fortaleza é de 13 %, ou seja, 980 cacimbas distribuídas em toda a área. Essa concentração ocorre principalmente em bairros carentes de Fortaleza, como exemplo, o poço localizado no bairro Vicente Pizon (Morro Santa Terezinha), que se apresenta revestido de concreto, com 6m de profundidade e com nível d'água de 2,5 m. A água desse poço é utilizada para abastecimento, onde muitas

vezes as famílias não têm conhecimento sobre a qualidade de água que estão consumindo (Foto 04).



Foto 02 – Poço tubular mediano profundo localizado no bairro Cristo Redentor, Fortaleza/CE.
(Novembro/2007)



Foto 03 – Poço tubular mediano profundo localizado no bairro Barra do Ceará, Fortaleza/CE.
(Novembro/2007)



Foto 04 – Poço manual (PM) localizado no bairro Vicente Pizon, Fortaleza/CE. (Novembro/2007)

Com relação à finalidade dessas obras, 3.990 destinam-se ao uso doméstico, 258 têm emprego nas indústrias, 141 destinam-se a atividades recreativas, 107 são utilizados para a agricultura, 25 na pecuária e 51 possuem múltiplas funções (abastecimento humano e animal, agricultura e/ou recreação, irrigação de jardins, construção e carros pipas). Sem informações sobre sua finalidade foram cadastrados, ainda, 2.709 poços (Figura 09).

A figura 10 mostra, de um modo geral, a profundidade dos poços na área, parâmetro importante para captação de água na unidade aquífera associado aos custos envolvidos. Observa-se que dos 4.940 poços com dados de profundidade, 4.114 (84%) possuem profundidade inferior a 50 metros, reflexo da presença de camadas sedimentares com espessuras geralmente inferiores a este valor. Os poços tubulares construídos no meio cristalino na área possuem, no geral, profundidade de 60 metros.

A profundidade média dos poços tubulares é de 46,8 metros, alcançando o máximo de 140 metros (profundo) e o mínimo de 20 metros (mediamente profundo), enquanto a média dos poços tubulares rasos é 9,0 metros, com 20 e 2,0 metros sendo o máximo e mínimo, respectivamente. Os poços amazonas (PA) apresentam uma profundidade média 15,5 metros, com 5 a 50 metros, máximo e mínimo, respectivamente. Já os poços manuais (PM) possuem uma média de 13,2 metros (2 a 50 metros, mínimo e máximo, respectivamente).

A figura 11 mostra que, dos 1.991 dados sobre nível estático na área, 1.637 (82%) estão a profundidades inferiores ou iguais a 10 metros, e apenas 354 (18%) com valores superiores a este. Tais dados refletem predominantemente o comportamento das águas nos sistemas hidrogeológicos Dunas/Paleodunas e Barreiras, enquanto que, no geral, as águas do Cristalino estão a maiores profundidades.

Vale salientar que os dados hidráulicos de poços, principalmente os relacionados ao nível estático, constituem uma série temporal e, portanto, a variável está associada a uma incerteza não-sistemática condicionada por outras variáveis hidrológicas (pluviometria e escoamento superficial), geológicas (fluxo subterrâneo e taxa de infiltração) e técnicas, no sentido de construção dos poços.

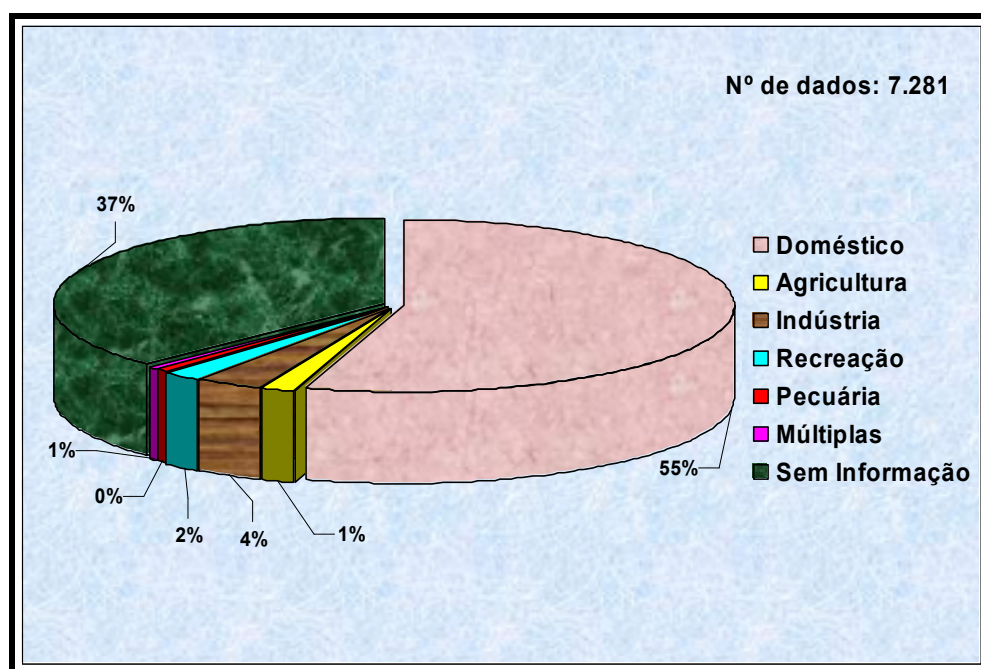


Figura 09 - Finalidade dos poços cadastrados no município de Fortaleza - Ceará (O valor do gráfico igual a 0% equivale realmente a 0,34%)

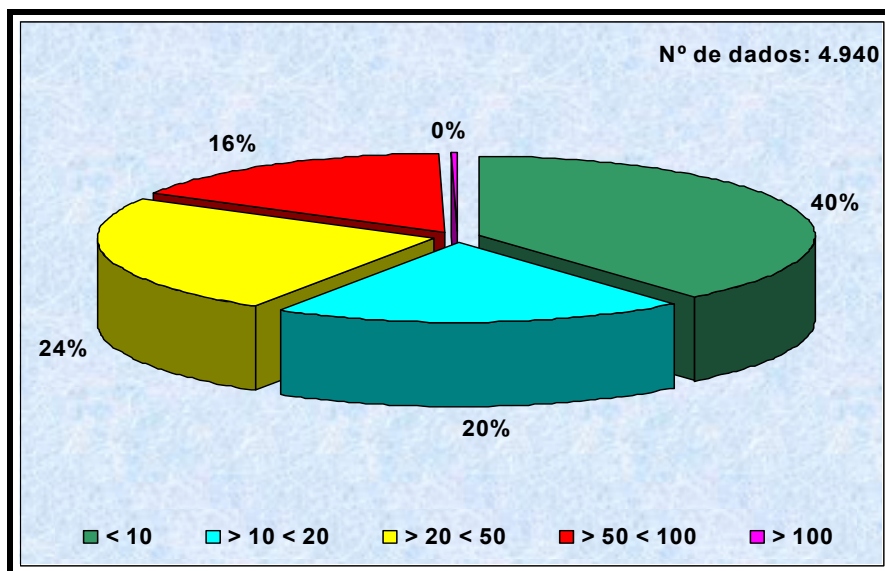


Figura 10 - Profundidade (m) dos poços no município de Fortaleza - Ceará (O valor do gráfico igual a 0% equivale realmente a 0,26%)

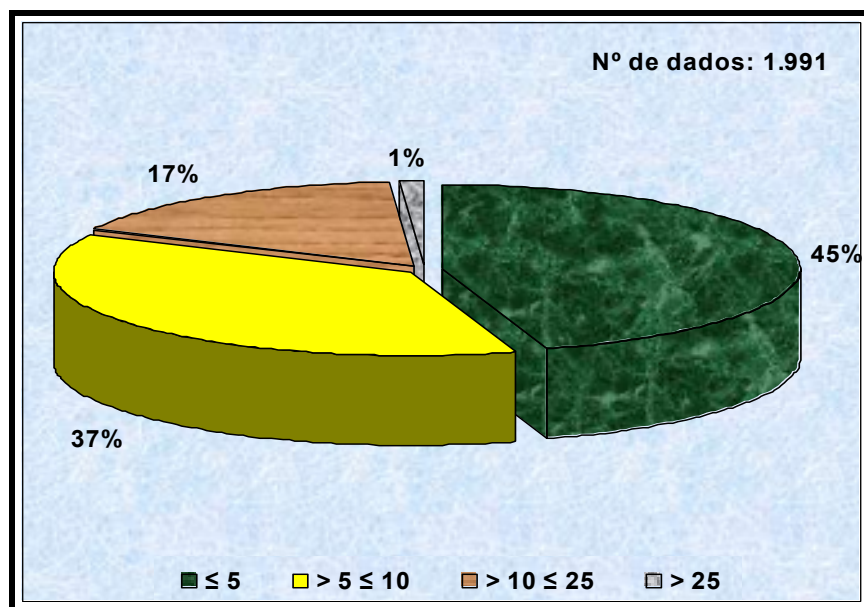


Figura 11 – Nível estático (m) dos poços no município de Fortaleza - Ceará

A potencialidade efetiva de um sistema hidrogeológico é primeiramente observada pela vazão do poço que capta tal sistema, tornando-se referencial para o entendimento, no geral da vocação aquífera.

Dos 1.227 dados obtidos sobre este parâmetro, observa-se que 868 (71%) refletem valores predominantemente iguais ou inferiores a 5,0 m³/h, 270 (22%) iguais ou inferiores a 10 m³/h e apenas 89 (7%) dos poços apresentam vazões superiores a 10 m³/h (Figura 12).

As vazões de poços tubulares profundos (PTP) possuem média 4,1 m³/h, variando de 0,01 m³/h (mínimo) a 52,8 m³/h (máximo), enquanto os tubulares rasos (PTR) possuem vazão média de 1,5 m³/h, variando de 0,3 m³/h (mínimo) a 3,0 m³/h (máximo). Já os poços amazonas (PA) e os poços manuais (PM) apresentam vazão média de 3,8 m³/h e 3,0 m³/h, respectivamente.

A capacidade específica de um poço é uma medida de eficiência da obra, dependendo de inúmeros fatores tais como sistema aquífero captado, projeto do poço e tempo de bombeamento, dentre outros. A figura 13 mostra que a capacidade específica dos 1.220 poços do município de Fortaleza é pequena, com predomínio de 814 (66%) com valores inferiores ou iguais a 0,5 [(m³/h)/m], seguida de 164 (14%) com valores inferiores ou iguais a 1,0 [(m³/h)/m] e 242 (20%) com valores acima de 1,0 [(m³/h)/m].

A figura 14 mostra os diferentes tipos de revestimentos utilizados para os poços no município, refletindo o predomínio do uso de PVC (83%) comparativamente aos demais materiais utilizados nos poços tubulares profundos e rasos. Revestimento de ferro era o material usado em poços tubulares profundos até a década de 60, hoje inteiramente substituído pelo PVC, enquanto que o concreto (material pré-moldado) e tijolo são utilizados em poços manuais (cacimbas) e poços amazonas.

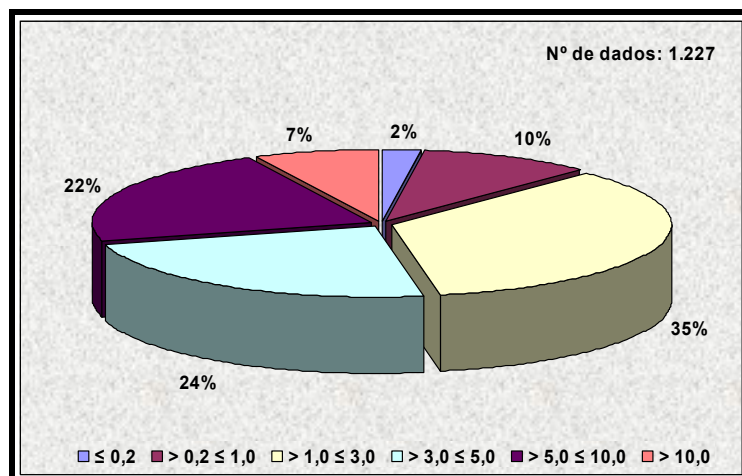


Figura 12 - Vazão (m³/h) dos poços no município de Fortaleza - Ceará

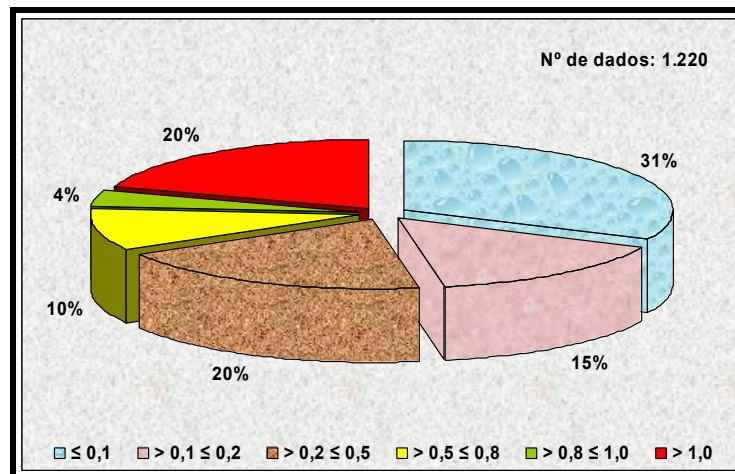


Figura 13 – Capacidade Específica [(m³/h)/m] dos poços no município de Fortaleza - Ceará

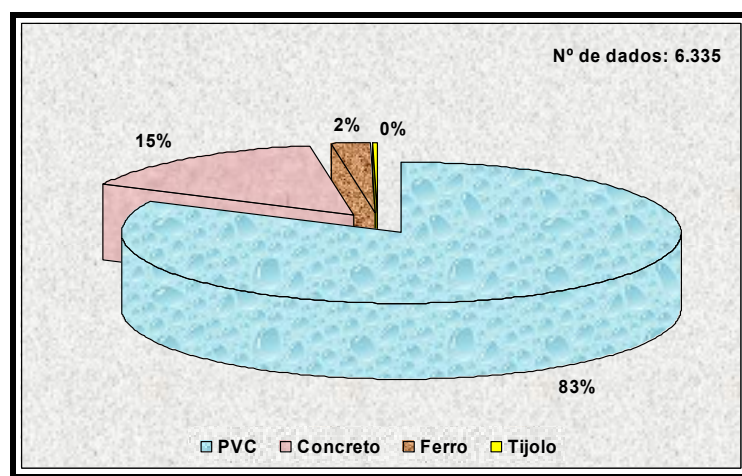


Figura 14 - Tipo de revestimento dos poços no município de Fortaleza - Ceará (O valor do gráfico igual a 0% equivale realmente a 0,25%)

ZONEAMENTO TEMÁTICO

8. ZONEAMENTO TEMÁTICO

No capítulo anterior foram discutidos vários parâmetros de acordo com o tipo de poço (PTP, PTR, PA e PM). Agora na tentativa de fazer uma avaliação espacial do comportamento dos principais parâmetros hidrogeológicos, foram construídos mapas de isolinhas baseados nos valores de vazão, nível estático e profundidade dos poços.

O tratamento geoestatístico, mediante krigagem de dados, possibilitou tornar mais precisa a interpolação da variável. Os dados primários foram interpretados e analisados com o *software Surfer for Windows*, versão 8.0, que permitiu a obtenção do mapa de isolinhas, tendo sido a organização dos dados de entrada no *software Excel MS-Office-2000*.

8.1. ZONEAMENTO DA PROFUNDIDADE DOS POÇOS

Observando a Figura 15, verifica-se que a principal característica da área é o predomínio da faixa de profundidade de 20 a 50 metros (84%), identificando-se estes poços como “mediamente profundos” segundo o Decreto Nº 23.068, de 11 de fevereiro de 1994 da SRH, sendo encontrados pequenos núcleos pontuais com profundidades menores que 20 metros (rasos) no extremo norte-este, e na área central do mapa.

Isso reflete que, nas áreas de domínio sedimentar, as águas subterrâneas são encontradas em menores profundidades que em domínio cristalino, particularmente nos Sistemas Dunas/Paleodunas onde a profundidade do nível estático é mínima, sub-aflorante, com pequenas espessuras saturadas e que permite a construção dos poços mais rasos da área, com predominância para profundidades inferiores a 20 metros.

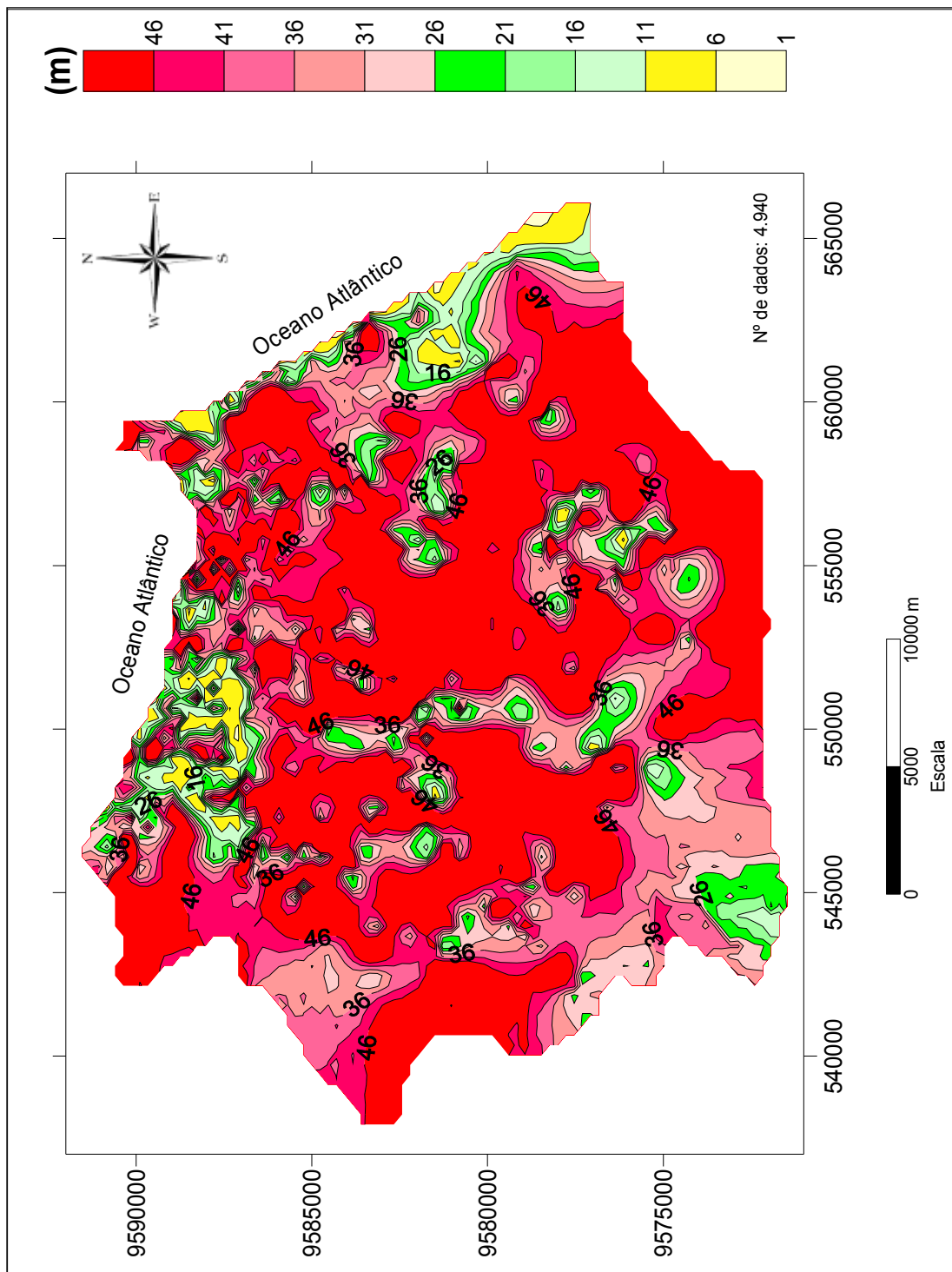


Figura 15 – Mapa de isolinhas das profundidades dos poços no município de Fortaleza - Ceará

8.2. ZONEAMENTO DO NÍVEL ESTÁTICO

Observando a Figura 16, verifica-se que a principal característica da área é o predomínio de profundidade do nível estático menor que 12 metros (82%) em toda a faixa do mapa, com exceção da porção nordeste, e um núcleo isolado no extremo leste e centro do mapa.

Verifica-se que o mapa de zoneamento de profundidade dos poços assemelha-se com o mapa de zoneamento do nível d' água, isso ocorre devido que os poços ditos rasos a mediamente profundos apresentam também níveis d'águas rasos a mediamente profundos, principalmente no Sistema Dunas/Paleodunas onde a profundidade do nível estático é mínima.

Salienta-se que os dados do nível estático, já comentado no capítulo anterior, constituem uma série temporal e, portanto, a variável está associada a uma incerteza não-sistemática condicionada por outras variáveis hidrológicas, geológicas e técnicas, no sentido de construção dos poços.

8.3. ZONEAMENTO DAS VAZÕES DOS POÇOS

O zoneamento das vazões dos poços foi elaborado com os dados de produtividade de poços, sendo que apenas 1.227 possuem informações sobre vazão, sendo os outros classificados como secos ou sem dados.

Com base na classificação da Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará (Capítulo IV Artigo 4º. Decreto nº 23.608 de 11/02/ 1994), foi possível também classificar de forma detalhada, os poços quanto a vazão nominal.

Observando-se a Figura 17, verifica-se que no município de Fortaleza há predominância de vazões no intervalo de 2 a 5m³/h, correlacionada aos poços tubulares rasos a mediamente profundos da área, dispersos pontualmente em toda a área e uma menor proporção de poços com vazões maiores do que 5m³/h, destacando-se na porção nordeste.

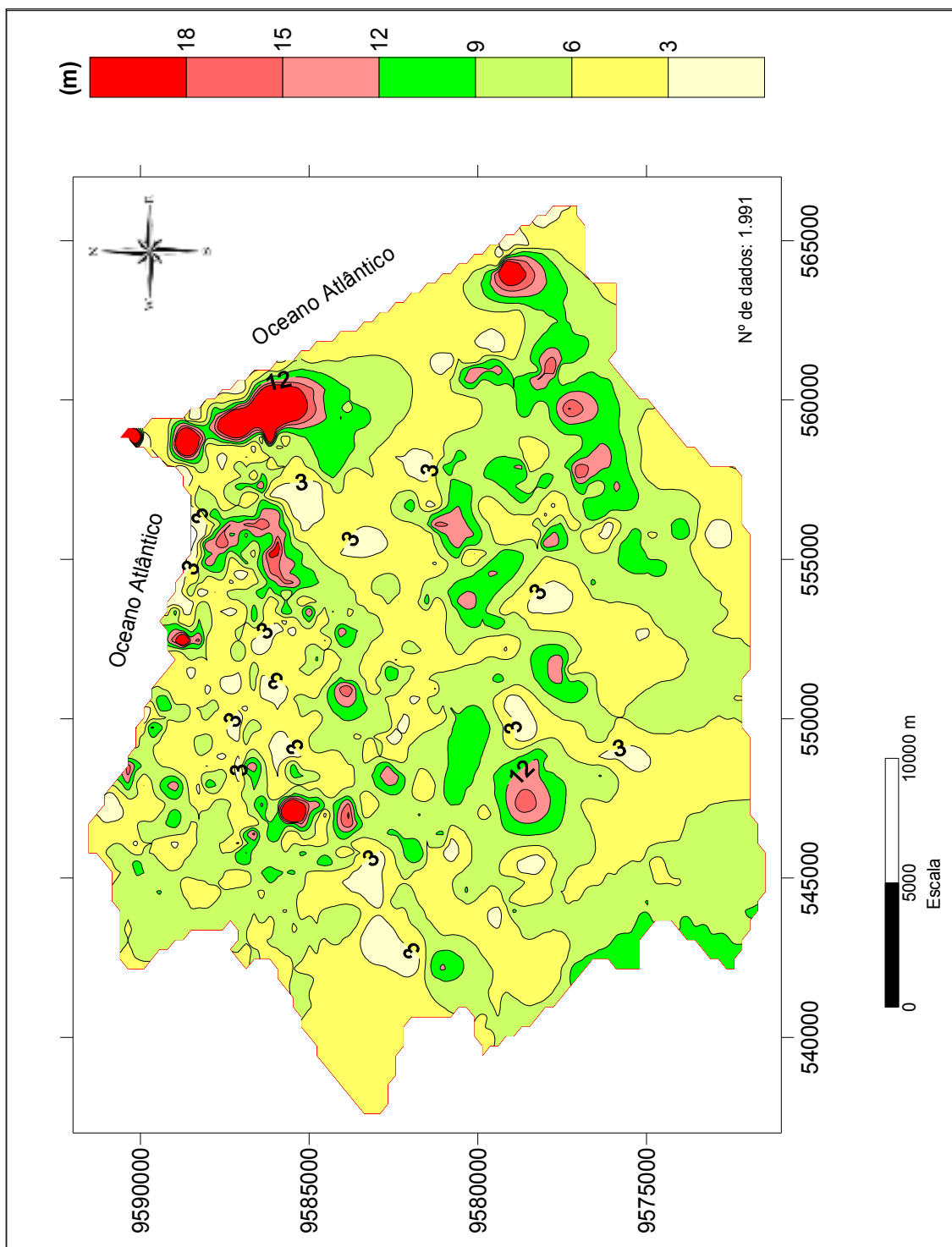


Figura 16 – Mapa de isolinhas dos níveis estáticos dos poços no município de Fortaleza - Ceará

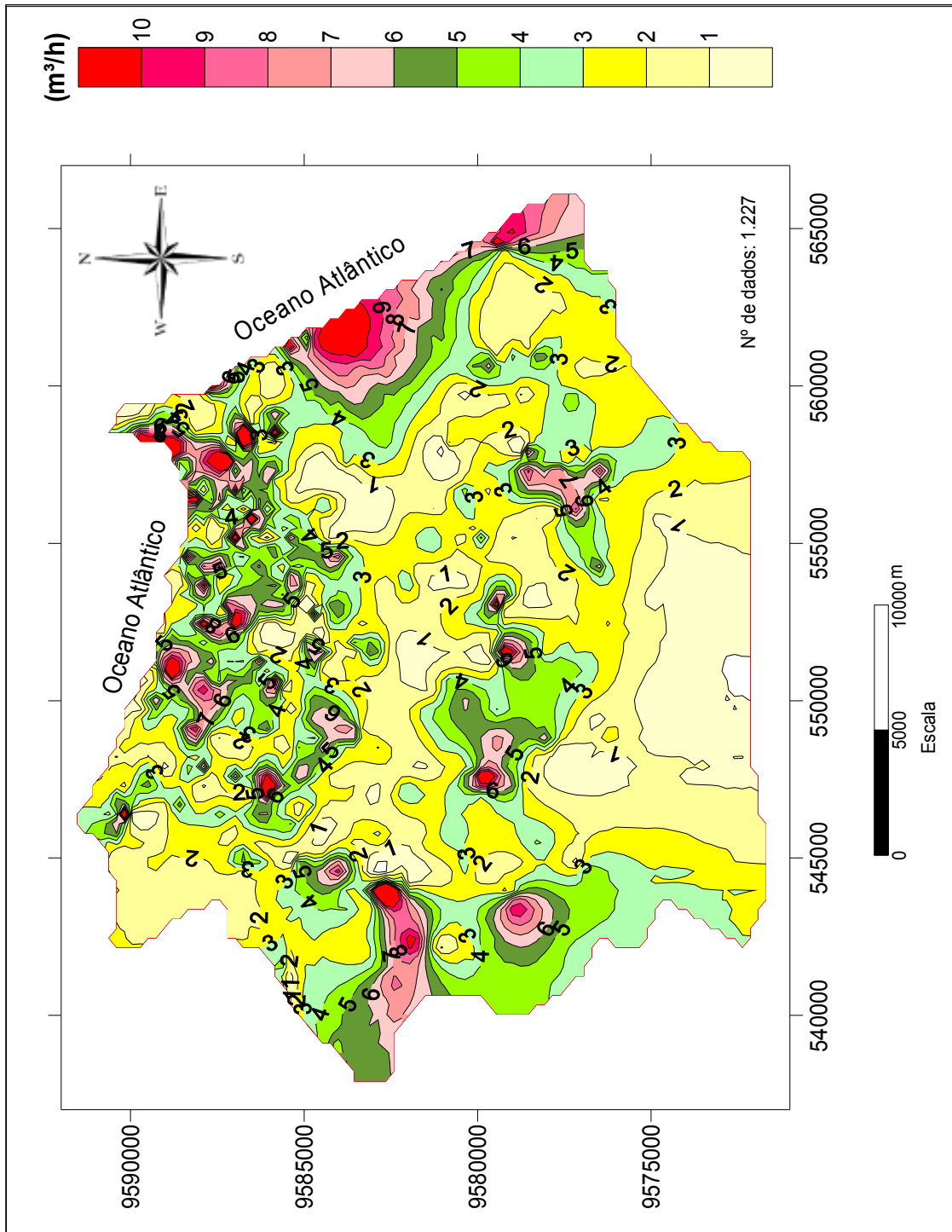


Figura 17 – Mapa de isolinhas das vazões dos poços no município de Fortaleza - Ceará

**RESERVAS, POTENCIALIDADES E
DISPONIBILIDADES DAS
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

9. RESERVAS, POTENCIALIDADES E DISPONIBILIDADES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.

Depois das considerações feitas sobre os sistemas hidrogeológicos, seguidas da abordagem geral sobre a situação dos poços existentes na área, tem-se a integração dessas informações, culminando com a estimativa das reservas hídricas subterrâneas, assim como as potencialidades e disponibilidades.

Os conceitos adotados para o cálculo de reservas foram baseados em CAVALCANTE (1998) e, mais recentemente, ratificados por RIBEIRO (2001). Esses conceitos incluem além das reservas (reguladora, permanente e total), a potencialidade e a disponibilidade (potencial e efetiva) hídrica subterrânea.

9.1. ASPECTOS GERAIS

As reservas de água subterrânea são definidas como sendo a quantidade de água armazenada e disponível nos aquíferos. Os principais parâmetros que influenciam o cálculo das reservas envolvem basicamente as características dimensionais do meio, a precipitação pluviométrica, a porosidade eficaz, o coeficiente de armazenamento ou espessura saturada (RIBEIRO, 2001).

Elas são classificadas como renováveis (Dinâmicas ou reguladoras), permanentes (Estáticas ou geológicas) e totais (Potenciais). Do ponto de vista de oferta d'água para atendimento à demanda e para os diversos tipos de uso a que as águas subterrâneas se destinam, há que se considerar dois outros termos que estão estreitamente relacionados as reservas: potencialidade e disponibilidade.

No município de Fortaleza ocorrem dois contextos litológicos distintos: o sedimentar representado pelas Dunas/Paleodunas, Barreiras e Aluviões, e o meio Cristalino representado pelo Complexo Gnáissico-Migmatítico.

As rochas sedimentares possuem porosidade e condutividade hidráulica primárias decorrentes da própria diagênese, condicionando o armazenamento e fluxo d'água, e enquanto que 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 extremamente complexo, necessitando de um número significativo de dados seguros.

Logo, em função das condições existentes, os cálculos de reservas renováveis, permanentes e totais serão efetuados somente para os Sistemas Dunas/Paleodunas e Barreiras.

Segundo CAVALCANTE (1998), as manchas aluvionares encontram total restrição a captação de águas subterrâneas em virtude do altíssimo grau de poluição a que estão submetidas pelas águas superficiais, e o cristalino em razão de possuir um comportamento heterogêneo e anisotrópico que impossibilita o cálculo de reservas renováveis, permanentes e totais.

9.2. RESERVAS RENOVÁVEIS (Rr)

As reservas renováveis são representadas pelo volume de águas armazenadas no meio aquífero, em função da porosidade eficaz ou do coeficiente de armazenamento, que varia anualmente em decorrência dos aportes sazonais de água (superficial e pluviométrica), do escoamento subterrâneo e dos exutórios, tendo como limite os níveis de flutuação máximo e mínimo da água dos aquíferos livres (CAVALCANTE, 1998).

O cálculo das reservas renováveis ou reguladoras pode ser feito de diferentes formas. Neste trabalho, será usado o método volumétrico, tendo por base a flutuação (Δh) dos níveis de água dos aquíferos livres, sendo utilizada a seguinte equação:

$$\mathbf{Rr = A \times \Delta h \times \eta e} \quad (01)$$

Onde:

Rr = Reservas renováveis (m³/ano)

A = Área de ocorrência do aquífero (m²)

Δh = Variação do nível d'água (m)

ηe = Porosidade efetiva (adimensional).

➤ Dunas/Paleodunas

As Dunas/Paleodunas ocupam uma área de 99,4 km² (99,4 x 10⁶ m²), uma variação média do nível d'água (Δh) igual a 1,5m e porosidade efetiva (ηe) de 15% (CAVALCANTE, 1998), logo as reservas renováveis é de 22,4 x 10⁶ m³/ano (Tabela 05).

➤ Barreiras

O Barreiras ocupam uma área de 120,4 km² (120,4 x 10⁶ m²), uma variação média do nível d'água (Δh) igual a 0,5m e porosidade efetiva (η_e) de 5% (CAVALCANTE, 1998), logo as reservas renováveis é de 3,0 x 10⁶ m³/ano (Tabela 05).

As reservas renováveis para os Sistema Dunas/Paleodunas e Barreiras são de 25,4 x 10⁶ m³/ano, volume esse capaz de atender 2.416,920 hab/dia/ano, projetando-se uma demanda de 0,20 m³/hab/dia (200 L/dia).

9.3. RESERVAS PERMANENTES (Rp)

As reservas permanentes representam o volume de água subterrânea contida nos aquíferos, em função da porosidade eficaz ou do coeficiente de armazenamento e que não varia em função das variações sazonais, ou seja, que participa do ciclo hidrológico numa escala de tempo plurianual, centenária ou milenar. Corresponde a água permanentemente presente no aquífero, localizada abaixo da zona de flutuação do nível estático (CAVALCANTE, 1998).

O cálculo destas reservas foi realizado através do método volumétrico, utilizando a equação 02:

$$R_p = A \cdot h_o \cdot \eta_e$$

(02)

Onde:

R_p = Reservas permanentes (m³)

A = Área de ocorrência do aquífero (m²)

h_o = Espessura média saturada (m)

η_e = Porosidade efetiva (adimensional).

➤ Dunas/Paleodunas

As Dunas/Paleodunas ocupam uma área de 99,4 km² (99,4 x 10⁶ m²), espessura média saturada 6,4m e porosidade efetiva (η_e) de 15% (CAVALCANTE, 1998).

Logo, substituindo na equação 02, tem-se para a reserva permanente do Sistema Dunas/Paleodunas o volume de 95,4 x 10⁶ m³ (Tabela 05).

➤ Barreiras

O Barreiras ocupa $120,4 \text{ km}^2$ ($120,4 \times 10^6 \text{ m}^2$), com espessura saturada média de 15 m e porosidade efetiva (η_e) de 5% (CAVALCANTE, 1998).

Logo, substituindo na equação 02, tem-se o volume para a reserva permanente de $90,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Tabela 05).

9.4. RESERVAS TOTAIS (R_t)

As reservas totais de um sistema representam o somatório das reservas renováveis e permanentes, consistindo, assim, a totalidade das águas subterrâneas que estão armazenadas no aquífero ou em um sistema hidrogeológico.

O cálculo destas reservas é efetuado através da equação 03:

$$R_t = R_r + R_p$$

(03)

Onde:

R_t = Reservas Totais (m^3)

R_r = Reservas Renováveis (m^3/ano)

R_p = Reservas Permanentes (m^3).

➤ Dunas/Paleodunas

Para as Dunas/Paleodunas têm-se reservas renováveis de $22,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ e permanentes de $95,4 \times 10^6 \text{ m}^3$, logo as reservas totais desse Sistema é de $117,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Tabela 05).

➤ Barreiras

Para o Sistema Barreiras têm-se reservas renováveis de $3,0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ e permanentes de $90,3 \times 10^6 \text{ m}^3$, resultando para as reservas totais $93,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Tabela 05).

9.5. POTENCIALIDADES HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS

Potencialidade constitui o volume hídrico que pode ser utilizado anualmente incluindo, eventualmente, uma parcela das reservas permanentes passível de ser explorada, com descarga constante, durante um determinado tempo (VERÍSSIMO, 1999 *in* DIAS, 2004).

Segundo COSTA (2000), para o cálculo da potencialidade admite-se, sem prejuízo para o aquífero, que seja possível extrair toda a reserva reguladora, representada pela recarga anual do aquífero, mais uma parcela das reservas permanentes, que representem no período de 50 anos um percentual de 30% das reservas.

Esse percentual de 30% em 50 anos implica em 0,6% ao ano, percentual que poderia até induzir um aumento da infiltração, já que parte dela, ao atingir a cota máxima de descarga para a rede de drenagem superficial é normalmente escoada para a superfície (COSTA, *op. cit.*).

Assim, para o cálculo da potencialidade foi utilizada a equação 04:

$$P = (R_p \cdot i) + R_r$$

Onde:
 (04) P = Potencialidade (m³/ano)
 R_p = Reserva permanente (m³)
 R_r = Reserva reguladora (m³/ano)
 i = Percentual da reserva permanente a ser utilizado (%).

Da mesma forma que as reservas, o cálculo para potencialidade foi efetuado somente para os Sistemas Dunas/paleodunas e Barreiras utilizando o mesmo percentual de reserva permanente proposto por COSTA (*op. Cit.*).

➤ Dunas/Paleodunas

Sendo assim, utilizando-se a equação 04, tem-se: $P = (95,4 \times 10^6 \times 0,006) + 22,4 \times 10^6$, logo o volume hídrico que pode ser utilizado anualmente na área é de $22,9 \times 10^6$ m³/ano (Tabela 05).

➤ Barreiras

Utilizando-se a equação 04, temos: $P = (90,3 \times 10^6 \times 0,006) + 3,0 \times 10^6$, logo a potencialidade para o Sistema é de $3,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ (Tabela 05).

9.6. DISPONIBILIDADES HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS

A disponibilidade corresponde aos recursos hídricos exploráveis que estão disponíveis e que não comprometem as reservas do aquífero nem o meio ambiente e que pode ser dividida em potencial e efetiva (CAVALCANTE, 1998). Neste trabalho será calculado somente a disponibilidade potencial devido a ausência de informação na planilha de cadastro sobre o tempo de bombeamento dos poços em uso, pois a disponibilidade efetiva é resultante do número de poços em uso verso vazão média verso a média do tempo de bombeamento dos poços.

9.6.1. DISPONIBILIDADE POTENCIAL (Dp)

A Disponibilidade Potencial é o volume total da reserva renovável que não produz diminuição da reserva permanente. Tal fato poderá ocorrer quando existir a possibilidade de que uma parcela utilizada da reserva permanente venha a ser resposta naturalmente ou sob a forma de recarga induzida (CAVALCANTE, 1998).

Na prática, o cálculo para a disponibilidade potencial é obtido através da equação 05:

$$\mathbf{Dp = Rr + 1/3 \times Rt}$$

(05)

Onde:

Dp = Disponibilidade potencial (m^3/ano)

Rr = Reservas Renováveis (m^3/ano)

$1/3 \times Rt$ = Reservas Totais (m^3)

➤ Dunas/Paleodunas

Substituindo a equação 05, tem-se que a reserva renovável de $22,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ mais um terço da reserva total ($39,3 \times 10^6 \text{ m}^3$), gerando uma disponibilidade potencial de $61,7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ (Tabela 05).

➤ Barreiras

A reserva renovável de $3,0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ mais um terço da reserva total ($31,1 \times 10^6 \text{ m}^3$), resulta em uma a disponibilidade potencial de $34,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ (Tabela 05).

Tabela 05 - Reservas, potencialidades e disponibilidades das águas subterrâneas no município de Fortaleza - Ceará.

Cálculos	Dunas/Paleodunas	Barreiras
Rr (m^3/ano)	$22,4 \times 10^6$	$3,0 \times 10^6$
Rp (m^3)	$95,4 \times 10^6$	$90,3 \times 10^6$
Rt (m^3)	$117,8 \times 10^6$	$93,3 \times 10^6$
P (m^3/ano)	$22,9 \times 10^6$	$3,5 \times 10^6$
Dp (m^3/ano)	$61,7 \times 10^6$	$34,1 \times 10^6$

Legenda: Rr = Reserva renovável; Rp = Reserva permanente; Rt = Reserva total; P = Potencialidade e Dp = Disponibilidade potencial.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

10. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As variáveis climatológicas e de balanço hídrico da área, em um período compreendido entre 1966 e 2006, demonstram uma ocorrência precipitação superior a evapotranspiração real somente durante o primeiro semestre do ano na quadra chuvosa que vai de fevereiro a maio, destacando bem o clima semi-árido predominante na região, que apresenta duas estações bem distintas: uma chuvosa no primeiro semestre e outra seca no segundo semestre. No segundo semestre ocorre um acréscimo das temperaturas, onde a evapotranspiração potencial é pouco superior a evapotranspiração real que está relacionada com a precipitação e assim, toda a água precipitada é evaporada.

No município de Fortaleza são encontrados dois sistemas hidrogeológicos: o sedimentar representado pelas Dunas/Paleodunas (99,4 km²), Barreiras (120,4 km²), Aluviões (38,55 km²), e o Meio Cristalino (55,45 km²). São típicos do meio sedimentar os poços tubulares profundos (PTP), poços tubulares rasos (PTR), poços manuais (PM) e poços amazonas (PA), enquanto no meio cristalino ocorrem somente os poços tubulares profundos (PTP).

Foram cadastrados no município de Fortaleza 7.281 poços, sendo 6.519 particulares, 695 públicos e 67 sem informação.

Quanto ao diagnóstico da situação dos poços, foi possível identificar 6.933 dados com a seguinte situação: 4.698 poços em uso, 1.514 desativados, 637 abandonados, 82 não instalados, 2 em construção e 348 sem informação. Pode-se constatar que a predominância é para os poços em uso (64%) e desativados (21%), que totalizam 85% do total.

A distribuição temporal dos 3.131 poços cadastrados é bastante ampla, abrangendo o período de 1971 a 2002, mostrando que nas últimas três décadas existiu um forte crescimento desta atividade, ressaltando-se que dos 3.131 poços com dados de construção, 2.644 (84%) foram construídos nos últimos 29 anos. Obras com mais de 29 anos de construção aparecem em pequena escala (16%), em relação aqueles posteriores a 1971, havendo, no entanto, um considerável número de poços sem informações sobre a data de construção (57%).

Quanto ao tipo de poços, existe uma predominância de poços tubulares profundos (2.451), seguida de tubulares rasos (2.858), 980 poços manuais (cacimbas) e 9 poços amazonas, enquanto os não classificados são de 983 poços.

Com relação à finalidade dessas obras, 3.990 destinam-se ao uso doméstico, 258 têm emprego nas indústrias, 141 destinam-se a atividades recreativas, 107 são utilizados para a agricultura, 25 na pecuária e 51 possuem múltiplas funções (abastecimento humano e animal,

agricultura e/ou recreação, irrigação de jardins, construção e carros pipas). Sem informações sobre sua finalidade foram cadastrados, ainda, 2.709 poços.

A profundidade média dos poços tubulares é de 46,8 metros, alcançando o máximo de 140 metros (profundo) e o mínimo de 20 metros (mediamente profundo), enquanto a média dos poços tubulares rasos é 9,0 metros, com 20 e 2,0 metros máximo e mínimo, respectivamente. Os poços amazonas apresentam uma profundidade média 15,5 metros, com 5 a 50 metros de máximo e mínimo, respectivamente. Já os poços manuais possuem uma média de 13,2 metros (2 a 50 metros mínimo e máximo, respectivamente).

Dos 1.991 dados coletados no cadastro sobre nível estático na área, 1.637 (82%) estão a profundidades inferiores ou iguais a 10 metros e apenas 354 (18%) com valores superiores a 10 metros. Tais dados refletem predominantemente o comportamento das águas nos Sistemas Hidrogeológicos Dunas/Paleodunas e Barreiras, enquanto que, no geral, as águas do Cristalino estão a maiores profundidades.

As vazões de poços tubulares profundos possuem uma média de 4,1 m³/h, variando de 0,01 m³/h (mínima) a 52,8 m³/h (máxima), enquanto que nos poços tubulares rasos, a vazão média é de 1,5 m³/h, variando de 0,3 m³/h (mínima) a 3,0 m³/h (máxima). Já os poços amazonas e os poços manuais apresentam uma vazão média de 3,8 m³/h e 3,0 m³/h, respectivamente.

A capacidade específica dos 1.220 poços do município de Fortaleza é pequena, com predomínio de 814 (66%) com valores inferiores ou iguais a 0,5 {(m³/h)/m}, seguida de 164 (14%) com valores inferiores ou iguais a 1,0 {(m³/h)/m} e 242 (20%) com valores acima de 1,0 [(m³/h)/m].

Os tipos de revestimentos utilizados para os poços no município, mostram o predomínio do uso de PVC (83%) utilizados para os poços profundos e rasos, seguidos de concreto (15%) usados para os poços manuais (cacimbas) e poços amazonas.

Na avaliação espacial do comportamento dos principais parâmetros hidrogeológicos, pode-se constatar na área o predomínio de 84% dos poços mediamente profundos (20 - 50m) e 82% dos níveis estáticos menores que 12m, enquanto uma vazão com intervalo de 2 a 5m³/h, dispersos pontualmente em toda a área e uma menor proporção de poços com vazões maiores que 5 m³/h, destacando-se na porção nordeste.

As reservas renováveis é de 22,4 x 10⁶ e 3,0 x 10⁶ m³/ano para as Dunas/Paleodunas e Barreiras, respectivamente. As reservas permanentes oscilaram de 95,4 x 10⁶ e 90,3 x 10⁶ m³, com uma reserva total para o município de 117,8 x 10⁶ e 93,3 x 10⁶ m³ para Dunas/Paleodunas e Barreiras, respectivamente. A potencialidade hídrica para Fortaleza é de

28,1 x 10⁶ e 8,4 x 10⁶ m³/ano, com uma disponibilidade potencial de 61,7 x 10⁶ e 34,1 x 10⁶ m³/ano para Dunas/Paleodunas e Barreiras, respectivamente.

Recomenda-se que os poços existentes no município de Fortaleza sejam, desde que possível, devidamente recuperados, equipados e monitorados, para tê-los em perfeito estado de funcionamento em caso de necessidade. Além disso, sugerimos um estudo da qualidade das águas dos poços a fim de direcionar o emprego adequado para cada um deles. Estas recomendações se justificam pela importância crescente que tem os mananciais subterrâneos para a comunidade, devendo os órgãos responsáveis atuar com rigor.

Os dados e informações contidos nessa monografia sintetizam a hidrogeologia do município de Fortaleza, consubstanciando, certamente, o conhecimento hídrico direcionado para planos diretores municipais e decisões maiores dos órgãos gestores estaduais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A. L & LEAL, S. E. C. 1990. **Aspectos Qualitativos das Águas Subterrâneas do Município de Fortaleza – CE**. Relatório de Graduação. Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - CE 123p.

BIANCHI, L.; PADILHA, M. W. M.; TEIXEIRA, J. E. M. 1984. **Recursos de Água Subterrânea na RMF. Fatores condicionantes**. In: Plano de Aproveitamento dos Recursos Hídricos da R.M.F - Fase I. Fortaleza. SEPLAN-AUMEF, vol.1, 139p.

BIASOLI, W. M. 2000. **Água e Saúde**. Fortaleza - CE. Editora Livros Técnicos. 224p.

BRANDÃO, R. L. 1995. **Sistema de Informações para Gestão e Administração Territorial da Região Metropolitana de Fortaleza - Projeto SINFOR: Diagnóstico Geoambiental e os Principais Problemas de Ocupação do Meio Físico da Região Metropolitana de Fortaleza**. 1ª edição. Fortaleza/CE: SER/REFO/CPRM. Vol.1, 105p.

CAJAZEIRAS, C. C. de A. & OLIVEIRA, P. G. S. de. 2004. **Aspectos Hidrogeológicos e estado atual dos poços tubulares na faixa costeira de Caucaia, Ceará**. Relatório de Graduação. Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - CE 112p.

CAVALCANTE, I. N. 1998. **Fundamentos Hidrogeológicos para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará**. Tese de Doutorado. Área de Hidrogeologia. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo/USP, São Paulo. 153p.

CEARÁ/SRH. 2002. **Projeto de monitoramento/gestão de água subterrânea de micro-áreas estratégicas da Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará**. Cadastramento de Poços. Relatório de Atividade II. Fortaleza - CE. 33p.

COSTA, W. D. 2000. **Uso e gestão de água subterrânea** In: FEITOSA, F. A. C. & MANOEL FILHO, J. (Coordenadores) - Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. CPRM - REFO. Fortaleza-CE, cap. 14, 2ª ed, 24p.

DIAS, F. W. C. 2004. **Hidrogeologia dos Municípios de Pacajus e Chorozinho, porção sul da Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - CE. 91p.

FUNCEME, 2006. **Médias mensais de precipitação pluviométrica e temperatura em Fortaleza -CE**. Histórico da FUNCEME.

GOMES, M. da C. R. 2006. **Qualidade das Águas Subterrâneas e Superficiais no Campus Universitário do Pici (Fortaleza, Ceará)**. Relatório de Graduação. Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - CE. 122p.

IBGE. Censo Demográfico 2000. **Diretoria de Pesquisas, Departamento de população e Indicadores Sociais**. Disponível em www.Ibge.gov.br, consultada em 20 de dezembro de 2006.

IBGE. Censo Demográfico 2006. **Diretoria de Pesquisas, Departamento de população e Indicadores Sociais**. Disponível em www.Ibge.gov.br, consultada em 16 de novembro de 2007.

IPLANCE, 2000. **Perfil Básico Municipal: Fortaleza**. Fortaleza – Ceará. Edições IPLANCE 159p.

LEMOS, E. C. L & MEDEIROS, F. W. 2006. **Águas Subterrâneas e as Doenças de Veiculação Hídrica. Área Piloto: Bairros Bom Jardim e Granja Portugal – Município de Fortaleza / CE**. Relatório de Graduação. Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - CE. 93p.

MAIA, J. T. V. 2008. **A Qualidade das Águas Subterrâneas, A Exclusão Sanitária e Seus Impactos na Saúde Pública no Bairro de Messejana, Fortaleza-CE**. Relatório de Graduação. Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - CE. 93p.

MARINHO, A. M. C. 1998. **Contaminação de Aquíferos por instalação de cemitérios, estudo do caso do cemitério São João Batista, Fortaleza, Ceará.** Dissertação de Mestrado Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - CE. 88p.

MORAIS, J. B. A. de. 1984. **Projeto Fortaleza: Hidrogeologia e Controle Tecnológico nas Perfurações de Poços Tubulares no Município de Fortaleza.** Fortaleza/CE: DNPM/CPRM, 2 vol.

QUESADO JUNIOR, N. & CAVALCANTE, I. N. 2000. **Hidrogeologia do município de Fortaleza-Ceará, Brasil.** *I Joint World Congress on Groundwater.* ALHSUD/ABAS. ANAIS. Fortaleza - CE. 210p.

QUESADO JUNIOR, N. 2001. **Contribuição da hidrogeologia à problemática das doenças de veiculação hídrica em Fortaleza, Ceará.** Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - CE. 96p.

QUESADO JUNIOR, N. 2008. **Avaliação de Parâmetros Físicos e Hidrodinâmicos dos Aquíferos do Município de Fortaleza, Estado do Ceará.** Especialização em Gestão de Recursos Hídricos e de Infra-estrutura Hidráulica da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - CE. 70p.

RIBEIRO, J. A. P. 2001. **Características Hidrogeológicas e Hidroquímicas da faixa costeira leste da região metropolitana de Fortaleza – Ceará.** Dissertação de mestrado. Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - CE. 122p.

SRH. Secretaria de Recursos Hídricos. Decreto Nº 23.068, de Fevereiro de 1994. **Legislação sobre Sistemas de Recursos Hídricos do Estado do Ceará.** Fortaleza/CE. Disponível em: www.srh.ce.gov.br/legislacao/decretos_estaduais. Consultada em 10 de novembro de 2007.

TAJRA, A. A. 2001. **Aspectos Técnico-construtivos dos poços tubulares e a legislação Pertinente. Área Piloto de Fortaleza-Ceará.** Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - CE. 109p.

VASCONCELOS, S. M. S. 1994. **Estimativa da Recarga Subterrânea a partir do Balanço Hídrico – Exemplo de Fortaleza, (CE)**. Rev.Geologia. Fortaleza: Imprensa Universitária – UFC. 7. 27 - 34.

VASCONCELOS, S. M. S. 1999. **Recarga do Aquífero Dunas/Paleodunas, Fortaleza – CE**. Tese de Doutorado, IG/USP. São Paulo - SP. 100 p.

APÊNDICE A

SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS E DISTRIBUIÇÃO DOS POÇOS EM FORTALEZA - CEARÁ