



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

MARIA DA CONCEIÇÃO RABELO GOMES

**ANÁLISE SITUACIONAL QUALITATIVA SOBRE AS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DE FORTALEZA, CEARÁ – BRASIL COMO
SUBSÍDIO À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS**

FORTALEZA

2013

MARIA DA CONCEIÇÃO RABELO GOMES

ANÁLISE SITUACIONAL QUALITATIVA SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE
FORTALEZA, CEARÁ – BRASIL COMO SUBSÍDIO À GESTÃO DOS RECURSOS
HÍDRICOS

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Geologia do Departamento de Geologia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Geologia. Área de Concentração: Hidrogeologia e Gestão das Águas.

Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante.

FORTALEZA
2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- G615a Gomes, Maria da Conceição Rabelo.
Análise situacional qualitativa sobre as águas subterrâneas de Fortaleza, Ceará – Brasil como subsídio à gestão dos recursos hídricos / Maria da Conceição Rabelo Gomes. – 2013.
212 f.: il., color. enc. ; 30 cm.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geologia, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2013.
Área de concentração: Hidrogeologia e Gestão das Águas.
Orientação: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante.

1. Águas subterrâneas. 2. Recursos hídricos-gerenciamento. I. Título.

MARIA DA CONCEIÇÃO RABELO GOMES

ANÁLISE SITUACIONAL QUALITATIVA SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE
FORTALEZA, CEARÁ – BRASIL COMO SUBSÍDIO À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Geologia do Departamento de Geologia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Geologia. Área de Concentração: Hidrogeologia e Gestão das Águas.

Aprovada em: 29 / 04 / 2013

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Christiano Magini

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Prof. Dr. George Satander Sá Freire

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dr^a. Maria Marlucia Freitas Santiago

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho a Deus, Nossa
Senhora e aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, acima de tudo, a Deus por me ter concedido perseverança, coragem e determinação na realização deste Curso de Doutorado.

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

Ao meu orientador, Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante, pela amizade, ajuda, esclarecimentos, dedicação e apoio oferecidos ao longo do desenvolvimento desta tese.

À CAPES/REUNI, pelo apoio financeiro referente a Bolsa de Doutorado durante o período de março/2009 a fevereiro/2013, diretamente associado a duração do curso.

Ao Laboratório de Hidrogeologia (LABHI/CC/UFC), sob a coordenação do Prof. Dr. Itabaraci N. Cavalcante, bem como ao Laboratório de Geoquímica Ambiental, sob a coordenação da Dra Diolande Ferreira Gomes Freire, pelo apoio instrumental na realização das análises físico-químicas e bacteriológicas e etapas de campo.

Ao meu noivo e amigo Francisco Ferreira pela paciência, apoio e incentivo durante o Curso de Doutorado.

Aos queridos amigos do Laboratório de Hidrogeologia/DEGEO/UFC, época de Doutorado, Virgínia de Sousa, Karen Vendramini, Rafael Mota, Ediu Carlos, Magno Oliveira, Pedro Pina, José Gonzaga, Sulani Pereira, Felipe Peixoto e Natália Veruska.

Aos amigos e companheiros de campo, Karen Vendramini e Rafael Mota, que com determinação e bom humor me ajudaram na difícil empreitada de cadastrar e obter informações de poços no ambiente urbano de uma grande metrópole, Fortaleza.

Aos funcionários do Departamento de Geologia, nas pessoas do Leal e do Junior, secretários da Graduação e da Pós-Graduação, pelo apoio oferecido ao longo do curso.

Aos professores da Pós-Graduação, que contribuíram na aprendizagem durante o Curso de Doutorado, especialmente ao Dr. José de Araújo Nogueira Neto (*Zeca*), Maria *Marlúcia* Freitas Santiago, José Antonio *Beltrão* Sabadia, George *Satander* Sá Freire, *César* Ulisses Vieira Verissimo, *Otaciél* de Oliveira Melo e *Sônia* Maria Silva Vasconcelos.

E, extensivamente, o meu agradecimento sincero a todos àqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração desta tese, atualmente o foco maior da minha vida.

O que eu faço, é uma gota no meio de um oceano.

Mas sem ela, o oceano será menor.

(Madre Teresa de Calcutá)

RESUMO

Esse trabalho foi realizado no município de Fortaleza, localizado na zona litorânea da porção nordeste do Estado do Ceará, Região Nordeste do Brasil, abrangendo 314,8 km² e com 2.452,18 habitantes, objetivando analisar a situação qualitativa das águas subterrâneas de Fortaleza, Ceará – Brasil como subsídio à Gestão dos Recursos Hídricos. Foram coletadas 120 amostras de água subterrânea para análises físico-químicas, complementadas com 171 análises realizadas entre 2001 a 2009 (Arquivo de dados do Laboratório de Hidrogeologia/UFC). Os dados foram tratados com análise estatística, correlação, identificação do ambiente de deposição, relações iônicas, classificação iônica e o enquadramento das águas na Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde. Com estes dados conclui-se que área é caracterizada por um ambiente redutor e ácido/básico, com Eh no intervalo de -0,1 V e 0,2 V e de pH entre 4 e 9; as relações iônicas rMg^{+2}/rCa^{+2} e rK^{+}/rNa^{+} , estão associadas à silicatos magnesianos e a fixação de K^{+} nos argilominerais, respectivamente. Predominam águas Cloretadas (86% e 81%) e Sódicas (67% e 77%). Das 87 análises bacteriológicas, 77% dessas mostraram a presença de coliformes totais e/ou fecais. A classe das águas para a irrigação que predomina é C₂ - S₁ (49 e 73,5%), indicando um médio risco de salinidade e baixo risco de sódio, podendo ser utilizadas para irrigação em grande parte dos solos e plantas com tolerância salina. As potenciais fontes de poluição identificadas na área foram a construção de poços tubulares sem adotar-se as normas técnicas da ABNT, cemitérios, lixões inativos, posto de combustíveis, infiltração de águas superficiais contaminadas e ausência de saneamento básico em bairros de Fortaleza. As inundações em Fortaleza resultam da alteração do uso do solo e ocupação dos ambientes fluviais e lacustres, que aliado às chuvas mais intensas e concentradas da quadra chuvosa, bem como ao não acompanhamento do crescimento de infraestruturas e equipamentos de drenagem no mesmo ritmo do crescimento da cidade, gera problemas desta natureza. Para a inserção formal dos aspectos qualitativos das águas subterrâneas no vetor gestão dos recursos hídricos, deve se ter como base os fundamentos de Legislação Específica, Programa de Educação Ambiental, Caracterização das Bacias Hidrográficas, Cadastramento e diagnóstico dos poços e por fim o gerenciamento das águas.

Palavras-chave: Hidrogeoquímica, Qualidade, Gerenciamento, Nordeste.

ABSTRACT

This work was conducted in the city of Fortaleza, located in the coastal zone of the northeastern portion of the state of Ceará, northeastern Brazil, covering 314,8 km² and 2.452,18 inhabitants, aimed to analyze the qualitative groundwater in Fortaleza, Ceará - Brazil as a subsidy to Water Resources Management. We collected 120 groundwater samples for physico-chemical analyzes, supplemented with 171 analyzes conducted between 2001-2009 (Data File Hydrogeology Laboratory / UFC). The data were processed with statistical analysis, correlation, identification of depositional environment, ionic relations, classification and framing of ionic water in Ordinance N^o. 2914/2011 of the Ministry of Health With these data it is concluded that the area is characterized by a reducing environment and acidic / basic with Eh in the range of -0,1 V to 0,2 V and pH between 4 and 9, the relationships ionic rMg^{+2}/rCa^{+2} and rK^{+}/rNa^{+} , are associated with magnesia silicates and fixation K^{+} in clay, respectively. Chlorinated water predominate (86% and 81%) and Sodic (67% and 77%). Bacteriological analyzes of 87, 77% of these showed the presence of total coliform and / or fecal. The class of waters for irrigation is predominant C₂ - S₁ (49 and 73,5%), indicating salinity medium risk and low risk sodium, may be used largely for irrigation of soil and plants salt tolerance. The potential pollution sources identified in the area were building wells without taking up the technical standards of ABNT, cemeteries, inactive dumps, gas station, infiltration of contaminated surface water and lack of basic sanitation in neighborhoods of Fortaleza. Floods in Fortaleza result of the change of land use and occupation of fluvial and lacustrine environments, which coupled with the heaviest rains of the rainy season and concentrated, and not follow the growth of infrastructure and equipment drain at the same rate of growth of city, creates problems of this nature. For the formal insertion of the qualitative aspects of groundwater in vector management of water resources should be based on the fundamentals of Specific Legislation, Environmental Education Program, Watershed Characterization, Registration and diagnosis of wells and finally the management of water .

Keywords: Hydrogeochemistry, Quality Management, Northeast.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1.1 - Localização do município de Fortaleza - Ceará..... | 23 |
| Figura 3.2.1 - Medições <i>in situ</i> na água do poço P145 (Bairro Alvaro Weyne, Fortaleza) dos parâmetros de condutividade elétrica (CE), Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e salinidade (Agosto/2010)..... | 33 |
| Figura 3.2.2 - Coleta de água no poço tubular com bomba manual (P134), localizado no bairro São Gerardo, Fortaleza (Agosto/2010)..... | 34 |
| Figura 3.3.1 - Diagrama Eh-pH segundo Krauskopf (1972)..... | 37 |
| Figura 3.3.2 - Diagrama de solubilidade do SiO ₂ com pH (KRAUSKOPF,1972)..... | 37 |
| Figuras 4.1.1 e 4.1.2 - Médias mensais de precipitação pluviométrica (a) e temperatura (b) no município de Fortaleza - Ceará (Período: 1966 a 2011)..... | 44 |
| Figura 4.1.3 - Representação gráfica do balanço hídrico no município de Fortaleza (Período de 1966 a 2011)..... | 48 |
| Figura 4.2.1 – Aspecto do Argissolo Vermelho-Amarelo (oriundo dos sedimentos da ormação Barreiras) localizados na Rua Seilfert/Lins do Rego - Maraponga. Coord.: 9581751/547095 (Julho/2010) | 49 |
| Figura 4.3.1 – Vegetação ribeirinha na bacia do Rio Cocó no bairro Jangurussu. Coord.: 9576714/552361 (Julho/2010)..... | 51 |
| Figura 4.4.1 - Dunas localizadas na Sabiaguaba. Coord.: 9581743/562430 (Julho/2010)..... | 52 |
| Figura 4.5.1 - Bacias Hidrográficas do município de Fortaleza, Ceará..... | 54 |
| Figura 4.6.1 – Distribuição litológica no município de Fortaleza, Ceará..... | 55 |
| Figura 6.1.1 – Domínios hidrogeológicos e distribuição dos poços no município de Fortaleza, Ceará..... | 85 |
| Figura 6.1.2 - Perfil construtivo e litológico do poço tubular P111, localizado no bairro Joaquim Távora, Fortaleza - CE. Coord.: 9586270/553450..... | 86 |
| Figura 6.1.3 - Perfil construtivo e litológico do poço tubular P390, localizado no bairro Jamgurussu, Fortaleza - CE. Coord.: 9578206/551868..... | 88 |
| Figura 6.2.1 - Evolução da construção dos poços cadastrados em campo, Fortaleza - Ceará..... | 90 |
| Figura 6.2.2 - Tipos de poços cadastrados em campo, Fortaleza, Ceará..... | 90 |
| Figura 6.2.3 - Finalidade do uso da água subterrânea – Fortaleza, Ceará..... | 91 |
| Figura 6.2.4 - Tipo de revestimento dos poços em Fortaleza, Ceará..... | 92 |
| Figura 6.2.5 - Tipo de sistemas de bombeamento dos poços em Fortaleza, Ceará..... | 92 |

| | |
|---|-----|
| Figuras 6.2.6 e 6.2.7 - Poços tubulares com revestimento de PVC geomecânico (P201) e PVC branco (cano de esgoto) (P230), localizados nos bairros Papicu e Mondubim, respectivamente (Agosto/2010). Coord.: 9586468/559483 (P201) e 9576325/548339 (P230)..... | 93 |
| Figuras 6.2.8 e 6.2.9- Exemplo de poço manual (cacimba) com revestimento de pré-moldado (P227) localizado no bairro José Walter (Agosto/2010). Coord.: 9576269/548965..... | 94 |
| Figura 6.2.10 – Profundidade dos poços, Fortaleza – Ceará..... | 95 |
| Figura 6.2.11 – Distribuição espacial da profundidade dos poços, Fortaleza – Ceará..... | 96 |
| Figura 6.2.12 - Nível estático das águas subterrâneas – Fortaleza, Ceará..... | 97 |
| Figura 6.2.13 - Distribuição espacial do nível estático dos poços, Fortaleza - Ceará..... | 98 |
| Figura 6.2.14 - Vazões dos poços em Fortaleza, Ceará..... | 99 |
| Figura 6.2.15 - Distribuição espacial das vazões dos poços, Fortaleza - Ceará..... | 100 |
| Figura 6.3.1 - pH de campo e de laboratório das águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período: agosto/2010 e outubro/novembro de 2011)..... | 103 |
| Figura 6.3.2 - pH <i>versus</i> Eh nas águas subterrâneas, município de Fortaleza - Ceará (Período: agosto/2010 e outubro/novembro de 2011)..... | 104 |
| Figura 6.3.3 - Diagrama Eh-pH de Krauskopf (1972) aplicado às águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará..... | 105 |
| Figura 6.3.4 - CE <i>versus</i> STD medidos em laboratório nas águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011)..... | 106 |
| Figura 6.3.5 – Dureza de águas subterrâneas em Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011)..... | 107 |
| Figura 6.3.6 - Bicarbonato nas águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011)..... | 109 |
| Figura 6.3.7 - Cálcio <i>versus</i> Magnésio nas águas subterrâneas, Fortaleza – Ceará (Período de 2001 a 2011)..... | 109 |
| Figura 6.3.8 - Cloreto <i>versus</i> Sódio nas águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011)..... | 110 |
| Figura 6.3.9 - Potássio <i>versus</i> Sulfato nas águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011)..... | 111 |
| Figura 6.3.10 - Ferro em águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011)..... | 113 |
| Figura 6.3.11 - N-Nitrato em águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011)..... | 114 |

| | |
|--|-----|
| Figura 6.3.12 – Solubilidade do SiO ₂ segundo Krauskof (1972) aplicada em águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará..... | 115 |
| Figura 6.3.13- Comportamento tendencial da relação iônica rMg^{+2} / rCa^{+2} das águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará..... | 117 |
| Figura 6.3.14- Comportamento tendencial da relação iônica rK^{+}/rNa^{+} das águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará..... | 118 |
| Figura 6.3.15 - Classificação iônica das águas subterrâneas, Fortaleza – Ceará (Período: maio/2002 a março/2008)..... | 121 |
| Figura 6.3.16 - Classificação iônica das águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período: dezembro/2001 a novembro/2011)..... | 121 |
| Figura 6.4.1 - Zoneamento Tendencial de pH das Águas Subterrâneas (Período: chuvoso)..... | 124 |
| Figura 6.4.2 - Zoneamento Tendencial de pH das Águas Subterrâneas (Período: estiagem)..... | 125 |
| Figura 6.4.3 - Zoneamento Tendencial de Cloreto das Águas Subterrâneas (Período: estiagem)..... | 127 |
| Figura 6.4.4 - Zoneamento Tendencial de Cloreto das Águas Subterrâneas (Período: estiagem)..... | 128 |
| Figura 6.4.5 - Zoneamento Tendencial de N-Nitrato das Águas Subterrâneas (Período: chuvoso)..... | 133 |
| Figura 6.4.6 - Zoneamento de Tendencial N-Nitrato das Águas Subterrâneas (Período: estiagem)..... | 134 |
| Figura 6.4.7 – Zoneamento Tendencial de STD das Águas Subterrâneas (Período: chuvoso)..... | 137 |
| Figura 6.4.8- Zoneamento de Tendencial STD das Águas Subterrâneas (Período: estiagem)..... | 138 |
| Figura 6.4.9 - Distribuição dos poços amostrados para análises bacteriológicas em bairros de Fortaleza – CE (Período de 2001 a 2008)..... | 143 |
| Figura 6.4.10 - Classificação das águas subterrâneas para irrigação de acordo com o Diagrama U. S. Salinity Laboratory (Período: maio/2002 a março/2008)..... | 146 |
| Figura 6.4.11 - Classificação das águas subterrâneas para irrigação de acordo com o Diagrama U. S. Salinity Laboratory (Período: dezembro/2001 a novembro/2011)..... | 146 |
| Figura 6.5.1 - Chafariz público no bairro da Serrinha, sendo a água captada através de poço tubular (P172), Fortaleza - CE (Agosto/2010). Coord.: 9581699/550193 | 150 |

| | |
|--|-----|
| Figura 6.5.2 - Poço tubular profundo (P208) utilizado como chafariz público no bairro da Lagoa Redonda, Fortaleza - CE (Agosto/2010). Coord.: (UTM: 9577759/560476)..... | 150 |
| Figura 6.5.3 - Taxa de internação por diarreia no período de 2006 a 2010, Fortaleza – Ceará..... | 151 |
| Figura 6.5.4- Proximidade da cacimba à fossa séptica da residência, Bairro Edson Queiroz, Fortaleza Ceará (Agosto/2010). Coord.: 9582826/559786..... | 151 |
| Figura 6.5.5 - Ausência de proteção sanitária no poço P220 (Frotinha de Messejana), Fortaleza - CE (Agosto/2010). Coord.: 9576761/554335..... | 152 |
| Figuras 6.5.6 e 6.5.7 - Cemitério Público de Messejana, com residências próximas ao seu perímetro (Dezembro/2011). Coord.: 9576098/556615..... | 154 |
| Figura 6.5.8 - Lixão do Jangurussu (Desativado) e a ocupação residencial entre o lixão e águas poluídas, Fortaleza - Ceará (Julho/2010). Coord.: 9577448/552955..... | 156 |
| Figura 6.5.9 - Disposição inadequada de lixo às margens do riacho João Lopes no bairro Alagadiço/São Gerardo. Fortaleza - Ceará. Coord.: 9587579/549097 (Agosto 2010)..... | 157 |
| Figura 6.5.10 - Posto de combustível, exemplo de potencial fonte de poluição no bairro Jangurussu (Conjunto Palmeiras), Fortaleza/Ceará (Janeiro/2012). Coord.: 9574890/552693..... | 158 |
| Figura 6.5.11 - Drenagem com águas poluídas e suas margens servindo para disposição de lixo e pastagem de animais no bairro do Conjunto Ceará, Fortaleza - Ceará (Julho/2010). Coord.: 9582422/544875..... | 161 |
| Figura 6.5.12 - Aspecto das águas da Lagoa de Parangaba – Fortaleza, Ceará (Julho/2010). Coord.: 9583889/548163..... | 161 |
| Figura 6.5.13 - Residências abastecidas por água encanada e rede de esgoto em Fortaleza, Ceará..... | 163 |
| Figura 6.5.14 – Distribuição das potenciais fontes de poluição no município de Fortaleza - Ceará..... | 164 |
| Figura 6.6.1 - Alagamento na Avenida Perimetral (Bairro Passaré), Fortaleza - CE, altura da Central de abastecimento da Companhia Hidrelétrica do São Francisco (Chesf), no dia 25/01/2011..... | 166 |
| Figura 6.6.2 – Macrozonas do município de Fortaleza de acordo com a Lei de Uso e Ocupação do Solo (Lei nº 7.987/96)..... | 168 |
| Figura 6.6.3 – Evolução do crescimento populacional de Fortaleza, Ceará..... | 169 |
| Figura 6.6.4 - Ocupação nas margens do Rio Maranguapinho, bairro Conjunto Ceará. Agosto/2010 (Coord.: 9582422/544875)..... | 170 |

| | |
|--|-----|
| Figura 6.6.5 – Densidade Populacional das Secretarias Executivas Regionais (SER) de Fortaleza, Ceara..... | 172 |
| Figura 6.6.6 – Domicílios atendidos por rede de esgoto das Secretarias Executivas Regionais (SER) de Fortaleza, Ceará (Novembro/2011)..... | 173 |
| Figura 7.6.1 - Localização dos poços propostos para compor a rede de monitoramento das águas subterrâneas de Fortaleza - Ceará..... | 181 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 3.3.1 - Relação das análises físico-químicas das águas subterrâneas de Fortaleza, Ceará (Período: 2001 a 2011)..... | 36 |
| Tabela 3.3.2 – Fatores de conversão de mg/L em meq/L..... | 39 |
| Tabela 4.1.1 - Valores para o balanço hídrico, no período de 1966 a 2011, calculado pelo método de Thorntwaite..... | 47 |
| Tabela 5.1.1 - Estados brasileiros que possuem legislação específica de águas subterrâneas (até o ano de 2012)..... | 65 |
| Tabela 6.1.1 - Área dos Aquíferos no município de Fortaleza - Ceará..... | 82 |
| Tabela 6.3.1 - Parâmetros estatísticos do pH de laboratório das águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011)..... | 102 |
| Tabela 6.3.2 - Parâmetros estatísticos de CE, Salinidade e STD medidos em campo nas águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período: agosto/2010 e outubro/2011)..... | 106 |
| Tabela 6.3.3 - Classificação da Alcalinidade Total das águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011)..... | 108 |
| Tabela 6.4.1 - Parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011) | 139 |
| Tabela 6.4.2. - Frequência dos tipos de águas para irrigação, Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011)..... | 145 |
| Tabela 6.4.3- Qualidade das águas subterrâneas destinadas à recreação, Fortaleza - Ceará..... | 148 |
| Tabela 6.6.1 - Situação atual das SER de Fortaleza, Ceará..... | 171 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|-----|
| Quadro 3.3.1 - Principais razões iônicas e seus significados..... | 40 |
| Quadro 3.3.2 – Possibilidades de interpretação das relações iônicas..... | 41 |
| Quadro 3.3.3 - Interpretações relacionadas as proporções iônicas..... | 41 |
| Quadro 3.3.4 - Classificação das águas subterrâneas segundo a dureza proposta por Custódio e Llamas (1983)..... | 42 |
| Quadro 5.1.1 – Principais funções hídricas consideradas no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Ceará..... | 59 |
| Quadro 5.4.1- Exemplos das formas oxidadas e reduzidas de elementos importantes nas águas..... | 70 |
| Quadro 6.3.1 - Principais razões iônicas médias nas águas subterrâneas na área de estudo e a classificação de Hem (1985)..... | 116 |
| Quadro 6.4.1 - Análises bacteriológicas das águas subterrâneas de Fortaleza, Ceará..... | 141 |
| Quadro 6.5.1 - Cemitérios do município de Fortaleza, Ceará..... | 153 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| CAGECE | Companhia de Água e Esgoto do Ceará |
| CC | Centro de Ciências |
| CE | Condutividade Elétrica |
| COELCE | Companhia Energética do Ceará |
| COGERH | Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| CPRM | Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil |
| DEGEO | Departamento de Geologia |
| Eh | Potencial de oxi-redução ou potencial redox |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| ETAR | Estação de Tratamento de Água Residual |
| ETE | Estação de Tratamento de Esgoto |
| FUNCEME | Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| MS | Ministério da Saúde |
| NE | Nível estático |
| PA | Poço Amazonas |
| pH | Potencial hidrogeniônico |
| PM | Poço Manual |
| PT | Poço Tubular Profundo |
| PVC | Polietileno Vinil Carbono |
| RMF | Região Metropolitana de Fortaleza |
| SAR | Razão de Adsorção de Sódio |
| SER | Secretaria Executiva Regional |
| SIAGAS | Sistema de Informações de Águas Subterrâneas |
| SIG | Sistema de Informação Geográfica |
| SOHIDRA | Superintendência de Obras Hidráulicas |
| SRH | Secretaria dos Recursos Hídricos |
| UFC | Universidade Federal do Ceará |

| | |
|-----|-----------------------------------|
| STD | Sólidos Totais Dissolvidos |
| UTM | Universal Transversal de Mercator |
| VTM | Valor Máximo Permitido |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 20 |
| 1.1. Localização e acesso à área..... | 22 |
| 1.2. Justificativa/Relevância do Tema..... | 24 |
| 1.3. Objetivos..... | 25 |
| 2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO..... | 26 |
| 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS..... | 32 |
| 3.1 Pré-Campo..... | 32 |
| 3.2. Campo..... | 33 |
| <i>3.2.1. Medidas no campo.....</i> | <i>33</i> |
| <i>3.2.2. Coleta de amostras.....</i> | <i>34</i> |
| 3.3. Pós-Campo..... | 35 |
| 4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA..... | 44 |
| 4.1. Clima..... | 44 |
| 4.1.1. Balanço Hídrico..... | 45 |
| 4.2. Solo..... | 48 |
| 4.3. Vegetação..... | 49 |
| 4.4. Geomorfologia..... | 51 |
| 4.5. Hidrografia..... | 52 |
| 4.6. Geologia..... | 54 |
| 5. FUNDAMENTOS PARA A GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS..... | 58 |
| 5.1. Caracterização das Funções Hídricas..... | 59 |
| <i>5.1.1. A Gestão dos Recursos Hídricos</i> | <i>60</i> |
| <i>5.1.2. A Oferta Hídrica</i> | <i>60</i> |
| <i>5.1.3. O Uso das Águas</i> | <i>61</i> |
| <i>5.1.4. A Preservação Sustentável dos Recursos Hídricos.....</i> | <i>63</i> |
| <i>5.1.5. As Funções Hídricas Complementares.....</i> | <i>63</i> |
| 5.2. Legislação sobre os Recursos Hídricos Subterrâneos..... | 64 |
| 5.3. Fundamentos qualitativos das águas subterrâneas..... | 67 |
| 5.4. Fontes Potenciais de Poluição..... | 75 |
| 5.5. Uso e ocupação do solo..... | 80 |
| 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 82 |

| | |
|--|------------|
| 6.1. Hidrogeologia..... | 82 |
| <i>6.1.1. Domínio Hidrogeológico Sedimentar.....</i> | <i>82</i> |
| <i>6.1.2. Domínio Hidrogeológico Cristalino (Fraturado).....</i> | <i>87</i> |
| 6.2. Situação atual das obras de captação das águas subterrâneas..... | 89 |
| 6.3. Hidrogeoquímica..... | 101 |
| <i>6.3.1. Composição Físico-Química das Águas Subterrâneas.....</i> | <i>101</i> |
| <i>6.3.1.1. pH.....</i> | <i>101</i> |
| <i>6.3.1.2. Eh</i> | <i>103</i> |
| <i>6.3.1.3. Condutividade Elétrica, Salinidade e Sólidos Totais Dissolvidos.....</i> | <i>105</i> |
| <i>6.3.1.4. Dureza Total.....</i> | <i>107</i> |
| <i>6.3.1.5. Alcalinidade Total.....</i> | <i>107</i> |
| <i>6.3.1.6. Bicarbonatos e Carbonatos.....</i> | <i>108</i> |
| <i>6.3.1.7. Cálcio e Magnésio.....</i> | <i>109</i> |
| <i>6.3.1.8. Cloreto e Sódio.....</i> | <i>110</i> |
| <i>6.3.1.9. Potássio e Sulfato</i> | <i>111</i> |
| <i>6.3.1.10. Ferro total.....</i> | <i>112</i> |
| <i>6.3.1.11. N-Nitrato.....</i> | <i>113</i> |
| <i>6.3.1.12. Sílica.....</i> | <i>114</i> |
| <i>6.3.2. Relações Iônicas nas Águas Subterrâneas.....</i> | <i>115</i> |
| <i>6.3.3. Classificação iônica.....</i> | <i>119</i> |
| 6.4. Qualidade e uso das Águas Subterrâneas..... | 122 |
| <i>6.4.1. Consumo humano.....</i> | <i>122</i> |
| <i>6.4.1.1. Análises Físico-químicas.....</i> | <i>122</i> |
| <i>6.4.1.2. Análises Bacteriológicas.....</i> | <i>140</i> |
| <i>6.4.2. Irrigação.....</i> | <i>144</i> |
| <i>6.4.3. Direcionamento do uso das águas subterrâneas.....</i> | <i>147</i> |
| 6.5. Levantamento de Potenciais Fontes de Poluição..... | 149 |
| <i>6.5.1. Construção de Poços.....</i> | <i>149</i> |
| <i>6.5.2. Cemitérios.....</i> | <i>152</i> |
| <i>6.5.3. Disposição de resíduos sólidos.....</i> | <i>155</i> |
| <i>6.5.4. Tanques de armazenamento de combustíveis (Postos de serviço).....</i> | <i>157</i> |
| <i>6.5.5. Águas superficiais poluídas (lagoa, canal de drenagem).....</i> | <i>159</i> |
| <i>6.5.6. Saneamento básico.....</i> | <i>162</i> |
| 6.6. Levantamento do uso e ocupação do meio físico..... | 165 |

| | |
|---|------------|
| 6.6.1. Impermeabilização..... | 165 |
| 6.6.2. Densidade Demográfica x Saneamento básico..... | 167 |
| 7. FUNDAMENTOS PARA A GESTÃO PARA OS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DE FORTALEZA..... | 174 |
| 7.1. Legislação Específica..... | 174 |
| 7.2. Programa de Educação Ambiental..... | 175 |
| 7.3. Caracterização das Bacias Hidrográficas..... | 175 |
| 7.4. Cadastramento e Diagnóstico dos Poços..... | 175 |
| 7.5. Gerenciamento das Águas (Estrutura Administrativa)..... | 176 |
| 8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 182 |
| REFERÊNCIAS..... | 186 |
| APÊNDICES..... | 196 |
| | |
| APÊNDICE A - Poços cadastrados em campo, Fortaleza - Ceará (Dezembro/2011)..... | 197 |
| APÊNDICE B - Medidas de campo dos parâmetros de pH, Eh, CE, STD, Salinidade e NE nos poços ativos nos bairros de Fortaleza (Agosto/2010 e Outubro/2011)..... | 203 |
| APÊNDICE C - Resultado das análises físico-químicas das águas subterrâneas de Fortaleza, Ceará (Período de 2001 a 2011)..... | 208 |
| Apêndice D - Análises Bacteriológicas das Águas Subterrâneas de Fortaleza, Ceará (Período de 2001 a 2008)..... | 212 |

1. INTRODUÇÃO

A exploração racional e sustentável dos recursos hídricos se torna atualmente cada vez mais importante, tendo em vista o crescimento populacional. Tal fato assume grande importância no cenário atual, especialmente em regiões como o Nordeste Brasileiro que apresenta um desequilíbrio entre a oferta e a demanda de água devido a pluviosidade irregular e/ou altas taxas de evaporação.

É comum quando se fala em recursos hídricos, tratar-se apenas dos superficiais (rios, lagos etc) levando a um grave erro na avaliação da quantidade e qualidade das águas de uma determinada região, pois, neste caso, a água subterrânea é desprezada, e valorizando as de superfície por serem visíveis e prontamente utilizáveis; no entanto, especialmente em regiões com altas taxas de evaporação, é fundamental uma investigação sobre os modos de armazenar água e sua eficiência (CASTRO, 2001, p.169).

Em muitas regiões, as águas subterrâneas foram, são e continuarão a ser fundamentais para o desenvolvimento socioeconômico, o que as transforma em um bem estratégico a ser racionalmente explorado, de modo a assegurar sua disponibilidade futura (VIDAL, 2003, p.1). Segundo Rebouças (2000, p.131), para tal é necessário o desenvolvimento de um processo sistemático de organização, análise e compatibilização dos usos múltiplos dos recursos hídricos, dentro de uma visão prospectiva do problema, de modo a garantir a utilização racional, a disponibilidade e a qualidade das águas.

A gestão dos recursos hídricos é a forma pela qual se pretende equacionar e resolver questões de escassez relativa aos corpos hídricos, e a se realizar através da integração de procedimentos de planejamento e de administração.

De acordo com Freire (2002, p.3), a gestão do recurso hídrico subterrâneo baseado nas legislações vigentes e nas condições hidrogeológicas dos aquíferos torna-se imprescindível para a sua preservação, especialmente nas regiões aonde já se verificam sobrexplorações. Nas regiões costeiras, a gestão é ainda mais emergencial devido aos riscos da ocorrência de intrusão salina em decorrência da sobrexploração.

A gestão dos recursos hídricos no Brasil é regida pela Lei nº 9.433/1997 (BRASIL, 1997), comumente conhecida como a “Lei das Águas” e que define a Política Nacional de Recursos Hídricos, tendo criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

A crescente demanda de água como consequência do aumento da taxa de crescimento populacional, da necessidade de produção de mais alimentos e crescimento do setor industrial, além da deterioração qualitativa dos recursos hídricos superficiais, torna a água subterrânea um patrimônio de valor imensurável, capaz de funcionar como reserva estratégica e influenciar decisivamente no desenvolvimento político-socioeconômico de qualquer comunidade. Associado ao problema de poluição da água, falta e/ou escassez e da implementação urgente de uma política de gestão integrada dos recursos hídricos, todos os governos em nível mundial se deparam com a “*crise da água potável*” (CAVALCANTE, 1998, p.4).

O problema de abastecimento de água não resulta só da quantidade de água mas, principalmente, da má qualidade da água disponível (água não potável), sendo muitas vezes um fator determinante no quadro de escassez, sobretudo nas grandes cidades onde a poluição compromete os mananciais causando inúmeros problemas, como exemplo as doenças de veiculação hídrica.

Os poços para captação da água subterrânea para abastecimento público, em sua maioria, são locados aleatoriamente e, às vezes, em áreas vulneráveis à contaminação, objetivando atender apenas as necessidades do momento. Conforme Tancredi (1996, p.94), a água subterrânea não só tem grande importância como fonte de abastecimento para consumo humano, irrigação, atividades industriais, de lazer e recreação, como é também um constituinte fundamental do meio ambiente e de sua conservação.

O estudo qualitativo das águas subterrâneas tem uma importância considerável, principalmente nas regiões áridas do Nordeste brasileiro, onde é necessário resolver o problema da localização e aproveitamento da água em condições de ser utilizada pela população (POHLING *et al.*, 1981, p.13). Deve ser considerado que parte da água utilizada para uso doméstico em Fortaleza é subterrânea, principalmente aquelas oriundas de chafarizes distribuídos nas seis Secretarias Regionais de Fortaleza (SER) e que abastecem, principalmente, a população carente de Fortaleza, que recorre a eles por ser uma opção mais econômica que a rede de abastecimento público do estado (CAGECE), porém com alguns poços se encontrando com instalações sanitárias precárias, podendo ocasionar contaminação bacteriológica da água do poço como também do aquífero captado.

O município de Fortaleza apresenta alta vulnerabilidade a problemas de abastecimento de água que tendem a se agravar, progressivamente, com o natural crescimento demográfico da cidade (VASCONCELOS, 1999, p.1).

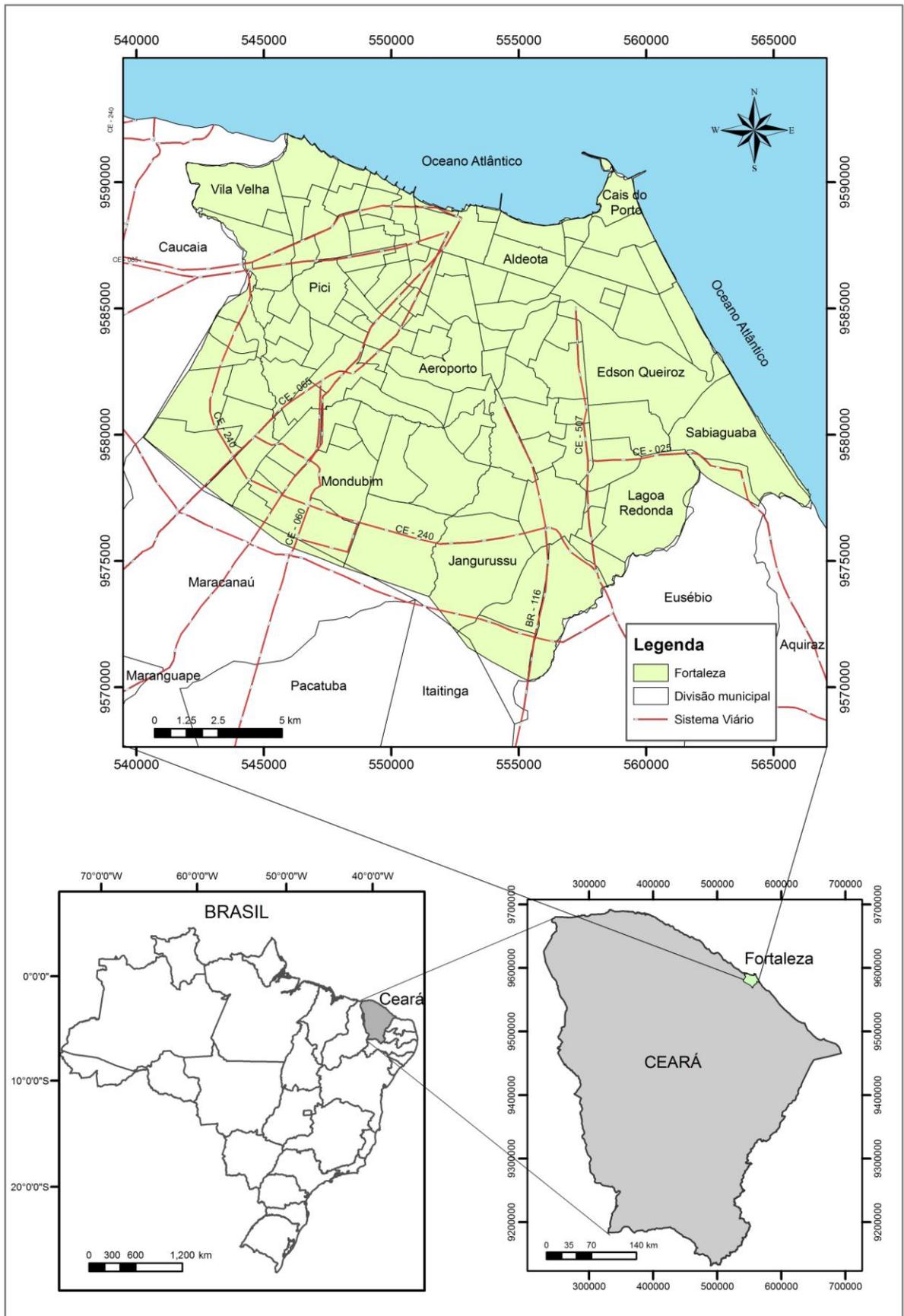
No processo de gestão (gerenciamento) da água, as formas de abastecimento hídrico e o uso e ocupação do solo ocupam um papel importante. Neste trabalho, busca-se abranger e correlacionar os aspectos relacionados a qualidade hídrica subterrânea, uso das mesmas e ocupação do meio físico, enfatizando, assim, fundamentos básicos a serem aplicados à gestão dessas águas.

1.1. Localização e acesso à área

O município de Fortaleza está situado na zona litorânea da porção nordeste do Estado do Ceará, Região Nordeste do Brasil, sendo delimitado pelas coordenadas UTM 9570000 a 9592000 Norte e 540000 a 567000 Leste (Zona 24 Sul), incluso na Folha AS-24-Z-C-IV (SUDENE), com 314,8 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 1.1.1).

O acesso pode ser realizado pela extensa malha viária do Estado, a exemplo das rodovias principais que integram o município às demais regiões estaduais ou interestaduais, tais como BR 116 (sul), BR 222 (oeste) e CE 020 (leste), além de contar com acesso aéreo (Aeroporto Internacional Pinto Martins) e pelo Porto do Mucuripe.

Figura 1.1.1 - Localização do município de Fortaleza – Ceará



1.2. Justificativa/Relevância do Tema

No cadastro realizado até maio de 2002 pela GOLDER & PIVOT para a Secretaria de Recursos Hídricos - SRH/Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH (CEARÁ/SRH, 2002) constam 7.281 poços no município de Fortaleza, sendo 6.519 particulares, 695 públicos e 67 sem informação de proprietário; a maior parcela se destinava ao consumo doméstico (80%), seguido pelo industrial (19%) e animal (1%).

Os recursos hídricos subterrâneos da Região Metropolitana de Fortaleza são utilizados de forma prioritária ou estratégica por 40 a 60% da população (CAVALCANTE, 1998).

A construção de poços na área é numerosa para atender a demanda hídrica para abastecimento público, devido a ocorrência de estiagens ou para minimizar o custo com a CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará). Logo, os sistemas aquíferos, além da função clássica de unidade produtora de água subterrânea, assumem a função de unidade estratégica, principalmente nos períodos de estiagem, quando são utilizados para atender os picos de demanda por particulares ou pelo poder público.

O município de Fortaleza, como toda área urbana nacional, apresenta problemas de degradação qualitativa dos recursos hídricos superficiais e a exploração desordenada das águas subterrâneas que, em geral, é consequência da ocupação desordenada do meio físico, da falta de conscientização da população e da ausência do conhecimento e aplicação das normas legais dos órgãos de planejamento.

O atual contexto, justifica a realização desta pesquisa, cujo objetivo principal é uma análise situacional qualitativa sobre as águas subterrâneas de Fortaleza, como subsídio à Gestão dos Recursos Hídricos. Já foram realizados vários trabalhos técnico-científicos envolvendo as águas subterrâneas municipais, mas que não abordaram subsídios técnicos qualitativos, indispensáveis a uma gestão adequada desse recurso hídrico natural, tais como uma legislação específica, programa de educação ambiental, a bacia hidrográfica como unidade de referência para o planejamento das ações e, por fim, o gerenciamento das águas.

A pesquisa desenvolvida contribuirá para o conhecimento da qualidade das águas subterrâneas de Fortaleza, mostrando a correlação entre os vários tipos químicos e litotipos obtidos de perfis de poços através do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS (2012) para o conhecimento do aquífero captado, integrado ao uso/ocupação do solo e às fontes de poluição que ocorrem comumente nas grandes metrópoles.

O objetivo desta pesquisa é também contribuir para o conhecimento das águas subterrâneas de Fortaleza quanto à caracterização qualitativa, propondo a inserção formal dos aspectos qualitativos no vetor gestão dos recursos hídricos.

1.3. Objetivos

O objetivo geral é analisar a situação qualitativa das águas subterrâneas de Fortaleza, Ceará – Brasil como subsídio à Gestão dos Recursos Hídricos.

Os objetivos específicos são:

- ✚ Selecionar poços e coletar informações qualitativas (pH - potencial hidrogeniônico, Eh - potencial de oxi-redução ou potencial redox, CE - Condutividade elétrica e STD - Sólidos Totais Dissolvidos) e nível estático medidos *in situ* das águas subterrâneas.
- ✚ Caracterizar a hidrogeoquímica de Fortaleza através de análises físico-químicas completas;
- ✚ Caracterizar o uso e ocupação do meio físico e as fontes de poluição que possam gerar impactos às águas subterrâneas;
- ✚ Propor o uso das águas conforme suas características qualitativas;
- ✚ Propor a inserção formal dos aspectos qualitativos das águas subterrâneas no vetor gestão dos recursos hídricos.

2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Dentro dos trabalhos pesquisados e listados na bibliografia, convém destacar-se os trabalhos realizados especificamente em Fortaleza que contribuíram para o conhecimento das águas subterrâneas e outros, no âmbito da Região Metropolitana de Fortaleza e Ceará, sobre a gestão das águas subterrâneas.

⇒ **As águas subterrâneas de Fortaleza**

Silva *et al.* (1970) trabalharam no Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, Folha Fortaleza – SUDENE, desenvolvendo estudos dos aquíferos da região, caracterizando o Barreiras, Dunas, Aluviões e Cristalino segundo a distribuição geográfica, alimentação, exutórios e exploração. Seguiram uma metodologia de trabalho enfocando a caracterização hidrogeológica, cálculo de reservas e qualidade da água subterrânea. Pela abrangência do estudo, dados obtidos e informações geradas, constitui, ainda hoje, um dos trabalhos de referência na área de hidrogeologia.

Pohling *et al.* (1981) realizaram estudo qualitativo das águas de Fortaleza trabalhando com 65 poços. Concluíram que 95% das amostras são ricas em íons de cloro e, destas, 62% são águas Cloretadas e 33% representam mistura de íons de cloro e bicarbonato sendo, portanto, águas Cloretadas-Bicarbonatadas. Nos 5% restantes, o cloro aparece junto com íons de sulfatos, dando origem a águas Cloretadas-Sulfatadas. Em 45% das amostras existem concentrações de nitrato superior aos Limites Internacionais para a Água Potável (*U.S. Public Health Authority*).

Bianchi *et al.* (1984) desenvolveram o mapeamento hidrogeológico na escala de 1:20.000 da RMF objetivando estabelecer características importantes para a formulação estratégica do desenvolvimento metropolitano. Os autores concluíram sobre as vocações aquíferas, indicando suas possibilidades de uso pela população, ressaltando o Aquífero Dunas/Paleodunas como o de melhor vocação.

Morais *et al.* (1984) desenvolveram o Projeto Fortaleza - Hidrogeologia e controle tecnológico nas perfurações de poços tubulares no município de Fortaleza – CE, construindo 101 poços tubulares no município de Fortaleza, avaliando as reservas hídricas subterrâneas por aquífero e propondo um zoneamento das potencialidades hidrogeológicas de Fortaleza. Os poços tubulares reforçaram, em caráter emergencial, o sistema de abastecimento de Fortaleza,

face a escassez de chuvas no período de 1980 a 1984. Através da síntese dos dados obtidos, a começar pelos perfis técnico-construtivos dos poços, foram desenvolvidas as etapas de avaliação das características dimensionais e hidrodinâmicas dos aquíferos e a qualidade das águas.

Araújo e 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.

Brandão *et al.* (1995) elaboraram um diagnóstico geoambiental com os principais problemas da ocupação do meio físico no município de Fortaleza. Como exemplos cita-se a favelização das dunas, erosão da linha de costa, degradação das áreas de acumulação inundáveis, movimentos ou deslizamentos de massas e enchentes, 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 micro-organismos. Realizou estudos hidroquímicos e microbiológicos na área de influência de uma necrópole (São João Batista), relacionada à contaminação das águas subterrâneas e risco à saúde pública quando do uso das águas pela população.

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. 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 e 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, relacionando-a com os problemas das doenças de veiculação hídrica acometidas pela população. A partir de 416 análises bacteriológicas, conclui-se que 34% das águas eram potáveis e 66% não potáveis, apresentando contaminação por coliformes fecais,

predominando as bactérias *Escherichia coli* (62%), *Pseudomonas sp* (16%) e *Klebsiella* (13%).

Sabadia (2001) avaliou os principais impactos ambientais causados pelo aterro de resíduos sólidos do lixão do Jangurussu, principalmente em relação à qualidade das águas subterrâneas e de superfície, mostrando claramente a transferência de massa dos constituintes do chorume gerado do aterro do Jangurussu para o aquífero.

Tajra (2001) analisou 1.178 poços no município de Fortaleza e através de fichas e perfis técnicos de 371 poços tubulares distribuídos na área, avaliou os aspectos técnico-construtivos dos poços tubulares através de um diagnóstico da situação destas obras, relacionando-o às normas vigentes de construção nos diferentes âmbitos da abrangência legal e normativa.

Souza (2002) caracterizou a qualidade das águas subterrâneas na região circunvizinha ao Lixão do Jangurussu em Fortaleza. Com base nos dados, concluiu que o chorume do Lixão do Jangurussu está modificando a qualidade das águas subterrâneas na porção norte e atividades antrópicas estão alterando a qualidade das águas em volta do lixão.

Pedrosa (2004) identificou plumas contaminantes de hidrocarbonetos em postos de abastecimento em Fortaleza, usando o método Radar de Penetração do Solo (GPR). Nos postos suspeitos há contaminação do meio rochoso e os resultados das análises de químicas (HCT e BTEX) confirmam a presença de hidrocarbonetos, evidenciados nas seções GPR.

Gomes (2006) estudou as águas subterrâneas do Campus Universitário do Pici-Fortaleza procurando caracterizar o ambiente hidrogeológico e a qualidade das águas, além das reservas e disponibilidades. Concluiu que, de acordo com os parâmetros hidroquímicos e vazões do Barreiras no Campus, a demanda existente pode ser suprida através das águas subterrâneas.

Lemos e Medeiros (2006) estudaram as águas subterrâneas de dois (02) 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.

Gomes (2008) realizou um estudo sobre os aspectos hidrogeológicos do município de Fortaleza, concluindo que a potencialidade hídrica para Fortaleza é de 61×10^6 e 72×10^6 m³/ano e disponibilidade potencial de 106×10^6 e 119×10^6 m³/ano para Dunas/Paleodunas e Barreiras, respectivamente.

Maia (2008) estudou a qualidade das águas subterrâneas e seus impactos na saúde pública no bairro de Messejana, Fortaleza, resultando numa integração dos conhecimentos da

hidrogeologia com os problemas de saúde relacionados às doenças associadas à água subterrânea no bairro.

Melo (2008) mostrou as características hidrogeológicas e físico-químicas das águas subterrâneas dos bairros Joaquim Távora, Dionísio Torres e São João do Tauape, Fortaleza. Concluiu que 60% das amostras coletadas apresentaram valores de Nitrato, Ferro e pH acima do padrão de potabilidade, segundo a Portaria N^o. 518/2004 do Ministério da Saúde.

Oliveira (2008) interpretou dados geofísicos de eletrorrestividade e avaliou qualitativamente a água subterrânea no Cemitério Parque Bom Jardim, Fortaleza. Concluiu que as 33 amostras analisadas apresentam coliformes fecais, indicando a contaminação por fossas sépticas, podendo provocar doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifóide, febre paratifóide, disenteria bacilar e cólera.

Pereira (2008) avaliou a qualidade das águas subterrâneas e as doenças de veiculação hídrica nos bairros da Barra do Ceará, Cristo Redentor e Pirambu, Fortaleza. Concluiu que 31% das águas analisadas estão contaminadas por bactérias do grupo Coliforme Termotolerantes, indicativas de poluição por fezes ou esgotos, resultado da disposição direta nos recursos hídricos.

Carneiro (2009) estudou a evolução do uso e ocupação do campo de dunas do Morro Santa Terezinha, Fortaleza. Os resultados mostraram que a área antropizada em 2006 representou 238,4 hectares (76%) da área total, onde o grande problema da ocupação do Morro Santa Terezinha está na falta de áreas geotecnicamente favoráveis e na indisponibilidade legal de melhores áreas para a ocupação urbana.

Gomes (2009) mostrou o conhecimento hidrogeológico como instrumento de gestão das águas subterrâneas no Campus Universitário do Pici/UFC, Fortaleza. Concluiu que os recursos hídricos subterrâneos da área têm reservas totais da ordem de $1,7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. O custo de produção do metro cúbico de água subterrânea no Campus do Pici com um regime de bombeamento de 6 horas/dia, foi calculado como sendo de 0,35 R\$/m³.

Costa (2010) enfocou a qualidade das águas subterrâneas freáticas nos bairros Monte Castelo, Parquelândia, Alagadiço/São Gerardo e Vila Élerly – Fortaleza, concluindo que 86% delas apresentaram concentrações elevadas para Fe⁺ e N-NO₃⁻, superior ao Valor Máximo Permitido pela Portaria n^o 518/2004 do Ministério da Saúde, que é de 10mg/L/ N-NO₃.

Lemos (2010) estudou a qualidade das águas subterrâneas de Fortaleza através de 99 amostras de análises físico-químicas. As águas são Cloretadas Sódicas e Bicarbonatadas

Sódicas e apresentaram restrições para cloretos, porém predominam águas com índices aceitáveis para o consumo humano.

Silva Neto (2010) analisou as características físico-químicas das águas subterrâneas nos bairros Aerolândia, Engenheiro Luciano Cavalcante, Jardim das Oliveiras e Cidade dos Funcionários, no município de Fortaleza. Das 14 amostras analisadas, as concentrações iônicas acima dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria N° 518/2004 do Ministério da Saúde são referentes principalmente aos valores de Nitrato (42%) e Ferro (36%).

Araújo (2012) estudou, em Fortaleza, os aspectos hidroquímicos nos bairros Benfica, José Bonifácio, Fátima e Jardim América. As 12 análises físico-químicas realizadas apresentaram concentrações de dureza, sódio, cloreto, fluoreto e sulfato dentro dos padrões recomendados pela Portaria N° 518/2004 do Ministério da Saúde, com concentrações de turbidez (10 amostras), ferro (1 amostra), nitrito (1 amostra) e nitrato (8 amostras) fora dos padrões de potabilidade.

Oliveira (2012) avaliou a qualidade das águas subterrâneas nos bairros Montese, Vila União, Parreão, Bom Futuro e Damas, em Fortaleza. As 15 análises físico-químicas mostraram concentrações de dureza, cloreto, fluoreto, sódio, sulfato e nitrito dentro dos padrões de potabilidade recomendados pela Portaria N° 518/2004 do Ministério da Saúde, com algumas concentrações de turbidez (11 amostras), ferro (1 amostra), e nitrato (8 amostras) encontrando-se fora dos padrões de potabilidade.

Oliveira (2013) avaliou o crescimento urbano e o risco à poluição das águas subterrâneas freáticas no entorno da lagoa da Parangaba, Fortaleza. Concluiu que algumas amostras apresentaram valores inadequados, como pH abaixo de 6, cloretos superior a 250 mg/L e nitrato com valores acima de 10 mg/L N-NO₃. Em todas as amostras existe a presença de bactérias do grupo dos Coliformes Fecais.

⇒ **Gestão das Águas Subterrâneas**

Studart e Vieira (1996) abordaram a gestão da água subterrânea no Ceará, mostrando a importância de uma legislação exclusiva para as águas subterrâneas e ressaltando a importância da criação de uma legislação específica de águas subterrâneas para o Estado do Ceará, não diferindo muito daquelas dos Estados de São Paulo, Pernambuco, Pará, Minas Gerais e Goiás.

Cavalcante (1998) traçou diretrizes para otimizar o manejo integrado dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos na RMF, apresentando fundamentos hidrogeológicos integrados ao uso e ocupação do meio físico, associado aos problemas de falta de saneamento básico e a não aplicação de cuidados quando na construção de poços, permitindo algumas vezes, a conexão com níveis hídricos superficiais poluídos, seja, em termos de drenagens ou com níveis aquíferos freáticos.

No Projeto de Monitoramento/Gestão de Águas Subterrâneas de Micro-áreas Estratégicas da Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará (CEARÁ/SRH, 2002) dividido em três etapas (Levantamento de estudos anteriores, cadastramento de poços e caracterização de áreas estratégicas) foram cadastrados, no município de Fortaleza, 7.281 poços, sendo 6.292 do tipo tubular, 980 poços manuais e 9 amazonas, onde a maior parcela de uso desta água se destinava ao consumo doméstico (80%), seguido pelo industrial (19%) e animal (1%).

Cavalcante e Gomes (2011) abordaram as águas subterrâneas do Ceará, concluindo que mesmo diante das particularidades geoambientais, as formações geológicas que constituem aquíferos deixam de ter uma conotação de unidade para representarem um sistema, na concepção de que eles possam interagir com o meio ambiente de forma integrada.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia adotada na elaboração desta pesquisa foi dividida em três (3) etapas sequenciais: a primeira, Pré-Campo (Cadastro dos poços e das bases temáticas); a segunda etapa, Campo (Atualização do cadastro dos poços, medições de campo e coleta de amostras de água subterrânea para análises físico-químicas) e, a terceira, Pós-Campo (Tratamento e integração de dados).

3.1. Pré-Campo

Nesta etapa, foram obtidos dados e informações do cadastro dos poços realizado pela COGERH/PIVOT (CEARÁ/SRH, 2002) e do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS (2012) e posteriormente integrados na base geológica obtidos do ATLAS Geológico do Ceará (2003) e ATLAS dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Ceará (2002) originando, assim, uma base preliminar de distribuição de poços na escala de 1:80.000 utilizando ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica).

Para a seleção dos poços a serem amostrados na etapa de campo, optou-se por utilizar o cadastro de 7.281 poços elaborado pelo consórcio GOLDER-PIVOT para a SRH/COGERH (CEARÁ/SRH, 2002) e o banco de dados do SIAGAS com 1.160 poços cadastrados até o ano 2012. Foi realizada uma avaliação crítica sobre a consistência dos dados e informações constantes no SIAGAS e CEARÁ/SRH (2002).

Os critérios de seleção dos poços amostrados foram:

- ✚ Ausência de análises físico-químicas no arquivo de dados do Laboratório de Hidrogeologia do Departamento de Geologia/UFC;
- ✚ Existência de perfis construtivo e litológico;
- ✚ Com medidas de profundidade e nível estático;
- ✚ Em funcionamento (ativos);
- ✚ Distribuição espacial dos poços;
- ✚ Com acesso permitido.

3.2. Campo

Foram visitados em campo, 150 poços em agosto/2010 e 146 poços em outubro/2011 (296 poços) selecionados no Pré-Campo para identificar a situação atual da obra, a confiabilidade dos dados cadastrados e/ou proceder ao levantamento de novas informações.

As principais informações nas fichas dos poços preenchidas em campo (Apêndice A) foram: localização, coordenadas, tipo de aquífero, profundidade, diâmetro da perfuração, nível estático, vazão, tipo de revestimento, posicionamento do poço em relação a possível fonte de poluição, reservatório, sistema de bombeamento, uso e finalidade da água, situação, natureza do poço e data da construção.

3.2.1. Medidas no campo

A partir da primeira visita, foram selecionados 229 poços (100 poços em agosto/2010 e 146 poços em outubro/2011) para medições *in situ* de (Apêndice B e Figura 3.2.1): Condutividade elétrica (CE), Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e salinidade utilizando condutivímetro digital (METTLER TOLEDO); pH e Eh com o pHmetro modelo MA 522/P Marconi, ambos já corrigidos com temperatura a 25°C e, a medição do nível estático (NE) com o medidor eletro-sonoro *Jacire* de 100m.

Figura 3.2.1 - Medições *in situ* na água do poço P145 (Bairro Alvaro Weyne, Fortaleza) dos parâmetros de condutividade elétrica (CE), Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e salinidade. Coord.: 9589179/547830 (Agosto/2010).



3.2.2. Coleta de amostras

As 120 coletas de água subterrânea para análises físico-químicas tiveram como objetivo a caracterização hidroquímica básica, complementar com as 171 análises já realizadas de 2001 a 2009 (Arquivo de dados do Laboratório de Hidrogeologia/UFC) (Apêndice C), fator determinante para tornar possível a realização desta pesquisa, totalizando 291 amostras analisadas (250 poços).

As 120 amostras (100 em agosto/2010 e 20 em novembro/2011) foram coletadas nas saídas diretas do sistema de bombeamento (Figura 3.2.2), acondicionadas em garrafas plásticas de 0,5 litros, esterilizadas, hermeticamente fechadas, etiquetadas (contendo os dados relativos ao número do ponto amostrado, data e hora de coleta) e acondicionados em caixa térmica com gelo para, em seguida, serem encaminhadas aos laboratórios de análise.

Para o escopo do trabalho, e sua associação com uso do solo, foi feito o levantamento das condições de uso e ocupação do meio físico que possam afetar as águas, através da identificação *in situ* das ocupações desordenadas à margens de rios, lagoas e dunas, além das potenciais fontes de poluição existentes na área (lixões, cemitérios, fossas, etc).

Figura 3.2.2 - Coleta de água no poço tubular com bomba manual (P134), localizado no Bairro São Gerardo, Fortaleza. Coord.: 9587690/549280 (Agosto/2010).



3.3. Pós-Campo

As análises físico-químicas foram realizadas pelo Laboratório de Hidroquímica do Departamento da Física/UFC (59 análises) e pelo Laboratório de Geologia Marinha Aplicada/DEGEO/CC/UFC (232 análises).

As análises bacteriológicas foram realizadas pelo Laboratório de Microbiologia de Alimentos/Departamento de Tecnologia de Alimentos/UFC (30 análises), Laboratório de Recursos Aquáticos/Departamento de Engenharia de Pesca/UFC (10 análises), Laboratório de Hidroquímica e Bacteriologia do Departamento da Física/UFC (28 análises) e Laboratório Central da CAGECE (19 análises).

As análises físico-químicas e bacteriológicas seguiram as diretrizes analíticas gerais do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1998).

Nas amostras coletadas foram analisados os íons e parâmetros: pH, condutividade elétrica (CE), bicarbonato (HCO_3^-), cloretos (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}), sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), Ferro Total (Fe), Alumínio (Al), fluoretos (F), alcalinidade (CaCO_3), dureza (CaCO_3), amônia (NH_3), nitrito (N-NO_2^-), nitrato (N-NO_3^-), turbidez, Cor, sólidos totais dissolvidos (STD), sílica (SiO_2), fosfato (P-PO_4^{3-}), carbonato (CO_3^-) e oxigênio dissolvido (O_2).

Nas análises bacteriológicas foram utilizados três (03) métodos distintos:

1º método: Coliformes totais (NMP/100 mL) e coliformes fecais (NMP/100 mL) realizadas pelo método colilert em cartelas (SANTIAGO; SILVA, 2007).

2º método: Coliformes totais (NMP/100mL) e coliformes fecais (NMP/100mL) realizadas com o método cosmogênico e o método de fermentação em tubos múltiplos.

3º método: Foram avaliados os NMP (Número Mais Provável) das bactérias do grupo Coliformes Termotolerantes por 100 ml de água, realizadas com o método de tubos múltiplos em meio A1.

O enfoque da hidrogeoquímica foi baseado na composição química das águas subterrâneas (potabilidade, poluição e correlação água/litologia), classificação iônica e, por último, as relações iônicas dessas águas. Os dados físico-químicos foram correlacionados aos parâmetros climáticos (precipitação pluviométrica e temperatura), devido os mesmos terem influências no quimismo das águas através de processos de diluição, concentração ou aumento da solubilidade. O quimismo das águas reflete, as condições climáticas do município.

Foram utilizadas 291 amostras oriundas de 250 poços coletadas no período de 2001 a 2011 (Tabela 3.3.1 e Apêndice C) para análises físico-químicas; em agosto de 2010 e outubro de 2011 foram obtidas medidas *in situ* de pH, Eh, CE, STD e salinidade de 229 amostras de águas de poços (Apêndice B).

Tabela 3.3.1 - Relação das análises físico-químicas das águas subterrâneas de Fortaleza, Ceará (Período: 2001 a 2011)

| Nº de amostras | Período da coleta (anual) | Fontes |
|-----------------------|----------------------------------|---|
| 8 | 2001 | Souza (2002) |
| 10 | 2002 | Souza (2002) |
| 31 | 2005 | Gomes (2006) |
| 9 | 2006 | Lemos e Medeiros (2006) |
| 52 | 2007 | Maia (2008), Pereira (2008) e Carneiro (2009) |
| 47 | 2008 | Pereira (2008), Melo (2008), Carneiro (2009) e Gomes (2009) |
| 14 | 2009 | Silva Neto (2010) |
| 100 | 2010 | Autora |
| 20 | 2011 | Autora |

Os valores de pH e Eh foram utilizados também para a identificação do ambiente de deposição através do diagrama Eh-pH de Krauskopf (1972) (Figura 3.3.1). O potencial de oxi-redução ou potencial Redox (Eh) é utilizado como um parâmetro para verificar se o meio aquoso é redutor ou oxidante; corresponde a uma medida de transferência de elétrons que permite avaliar a menor capacidade de perda de elétrons por determinado (s) elemento (s) em uma reação. Foi utilizado, também, o diagrama de variação da solubilidade da sílica (SiO₂) com pH (Figura 3.3.2).

Figura 3.3.1 - Diagrama Eh-pH segundo Krauskopf (1972)

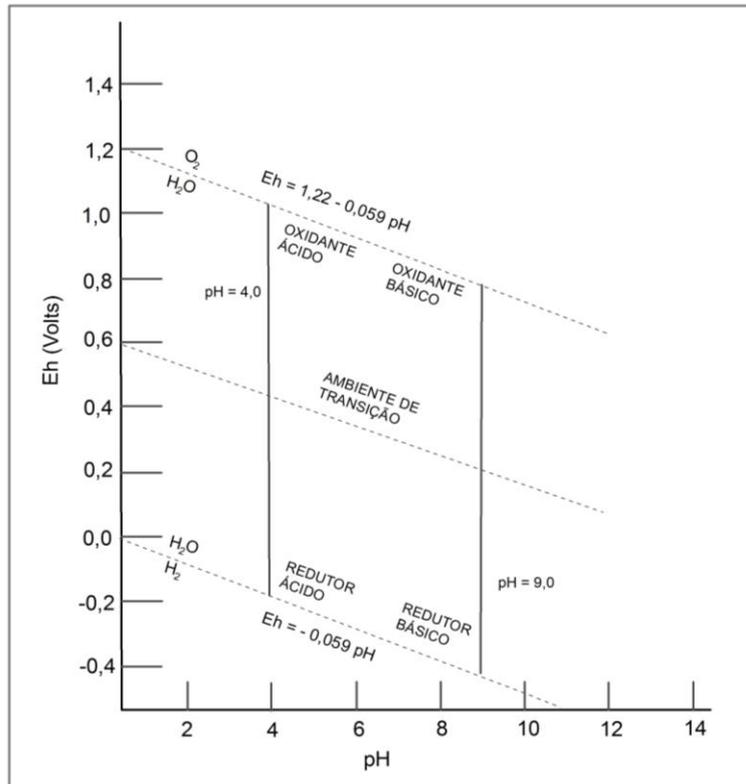
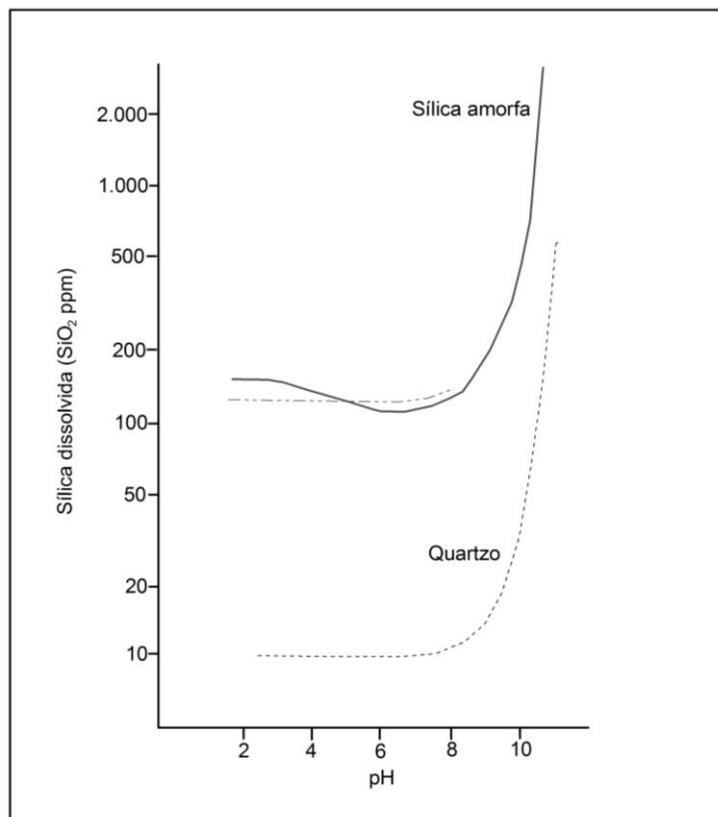


Figura 3.3.2 - Diagrama de solubilidade do SiO_2 com pH (KRAUSKOPF,1972)



Os dados pluviométricos e de temperatura de 2001 a 2011 foram compilados da Estação Meteorológica do Campus do Pici (2011), sendo a estação chuvosa de janeiro a maio e a estiagem de junho a dezembro, conforme o Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2010). A infiltração da água da chuva tem influência tanto na quantidade quanto na qualidade da água subterrânea.

A correlação entre parâmetros das amostras foi realizada através do Coeficiente de Correlação de Pearson que é uma medida do grau de correlação linear entre duas variáveis quantitativas que varia de -1 e 1. O valor 0 (zero) significa que não há correlação linear e o valor 1 indica uma correlação linear positiva máxima ou direta e o valor -1 indica uma correlação linear negativa máxima ou inversa; ou seja, quando uma das variáveis aumenta a outra diminui. Quanto mais próximo estiver de 1 ou -1, mais forte é a associação linear entre as duas variáveis. Neste trabalho, foi adotado $r \geq 0,50$ (correlação significativa e positiva) e $r \leq -0,50$ (correlação significativa e negativa).

O coeficiente de correlação de Pearson é normalmente representado pela letra “r” e seu valor é calculado pela Equação 01.

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x_i - \bar{x})^2) (\sum (y_i - \bar{y})^2)}} \quad (01)$$

Para a determinação das relações iônicas das águas as concentrações são expressas em meq/L, para converter mg/L em meq/L, os valores foram multiplicados pelos fatores de conversão listados na Tabela 3.3.2.

Tabela 3.3.2 – Fatores de conversão de mg/L em meq/L

| Cátions | Fator de conversão |
|------------------|---------------------------|
| Ca ⁺² | 0,04990 |
| Mg ⁺² | 0,08224 |
| Na ⁺ | 0,04350 |
| K ⁺ | 0,02558 |
| HCO ⁻ | 0,01639 |
| SO ⁻² | 0,02082 |
| Cl ⁻ | 0,02821 |

Para a classificação iônica das águas subterrâneas utilizou-se o Diagrama de Piper, frequentemente usado para classificar o tipo químico da água de acordo com o conteúdo iônico dominante. A representação nesse diagrama é feita em três campos onde são plotados os valores percentuais das concentrações dos principais constituintes iônicos para os cátions e os ânions, sendo possível identificar o fácies hidroquímico. O cruzamento do prolongamento dos pontos na área do losango mostra sua posição e classifica a amostra de acordo com o fácies. O *software* utilizado foi o Qualigraf (MOBUS, 2003) que tem uma interface extremamente simples e otimizada para a classificação das águas, e a interpretação foi baseada em Hounslow (1995).

Relações iônicas foram calculadas a partir da tabela das principais razões iônicas (HEM, 1985) (Quadro 3.3.1) e, posteriormente, foi elaborada uma classificação iônica com auxílio do *software* Qualigraf.

Quadro 3.3.1 - Principais razões iônicas e seus significados

| Razão Iônica | Variações Teóricas | Significado |
|---|--------------------|--|
| rMg^{+2}/rCa^{+2} | 0,25-0,30 | - Água de circulação em rocha de composição granítica. |
| | 0,30-1,5 | - Águas continentais. |
| | > 0,9 | - Contato com água do mar ou fluxo através de rocha básica; possível influência de terrenos dolomíticos. |
| | >1 | - Relações com litotipos ricos em silicatos magnesianos. |
| | ± 5 | - Água do mar. |
| rCa^{+2}/rMg^{+2} $Ca/(HCO_3^- + SO_4^{2+})$ | >1 | - Indicação de intrusão marinha. |
| rK^+/rNa^+ | 0,02-0,025 | - Água do mar. |
| | 0,09-0,6 | -Água de circulação em rocha com composição granítica. |
| | 0,004-0,28 | - Água doce. |
| rNa^+/rCl^- | < 0,0876 | - Água do mar. |
| | < 0,7 | - Substituição de Na^+ por Ca^{+2} e Mg^{+2} . |
| | > 0,7 | - Precipitação de sais de Na^+ e fluxo através de rochas cristalinas ou vulcânicas. |
| $rCl^-/rHCO_3^-$ | 0,5 | - Fluxo normal para rochas cristalinas. |
| | 0,1-0,5 | - Águas continentais. |
| | 20-50 | - Água do mar. |

Fonte: Elaborado com base em Hem (1985).

A interpretação dos resultados das razões iônicas e do tipo iônico foi feita com base nos Quadros 3.3.2 e 3.3.3.

Quadro 3.3.2 – Possibilidades de interpretação das relações iônicas

| RELAÇÕES IÔNICAS | |
|---|--|
| Íons | Interpretação |
| Na - Cl | Dissolução da halita ou mistura com água do mar. |
| Na - HCO ₃ ⁻ | Troca iônica. |
| Ca - HCO ₃ ⁻ | Água subterrânea comum. |
| Ca - SO ₄ ²⁻ | Dissolução da gipsita. |
| Ca - Mg - HCO ₃ ⁻ | Dissolução de dolomita ou calcita-Mg. |
| Ca - F - SO ₄ ²⁻ | Erro provável na análise. |

Fonte: Elaborada com base em Hounslow (1995).

Quadro 3.3.3 – Interpretações relacionadas as proporções iônicas

| PROPORÇÕES IÔNICAS | |
|---|--|
| Íons | Interpretação |
| Na >> K | Intemperismo de feldspatos e micas; o K é facilmente retido pelas plantas e minerais argilosos. |
| Ca ≥ Mg | Minerais do tipo calcita, dolomita e gipsita são mais solúveis; o intemperismo dos silicatos apresenta Mg > Ca. |
| Ca ≥ SO ₄ ²⁻ | A principal fonte de sulfato é o CaSO ₄ (anidrita, gipso, ácido sulfúrico da oxidação da pirita); se a relação é inversa significa remoção do Ca por precipitação e/ou troca iônica, ou águas ácidas resultantes da oxidação da pirita. |
| Na ≥ Cl | A fonte principal de Cl é o NaCl; o sódio está associado a silicatos e na troca iônica; a relação inversa sugere remoção por troca iônica. |
| HCO ₃ ⁻ >> SiO ₂ | Intemperismo de carbonatos. |
| Ca ≥ Na | Intemperismo de carbonatos, exceto quando existe troca iônica. |

Fonte: Elaborada com base em Hounslow (1995).

Para a identificação da adequação das águas para consumo humano, foram utilizadas análises nas águas subterrâneas de bairros de Fortaleza, no período de 2001 a 2009 (Arquivo de dados do Laboratório de Hidrogeologia/DEGEO/UFC), com 171 análises físico-químicas (130 poços) e 87 análises bacteriológicas (72 poços) (Apêndice D) além de mais 120 amostras coletas em 2010 (100 amostras) e 2011 (20 amostras) onde foram avaliadas conforme o padrão de potabilidade da Portaria N° 2914 do Ministério da Saúde de 12/12/2011 (BRASIL, 2011).

As análises hidroquímicas foram organizadas em uma planilha Excel para ordenamento dos dados de pH, Cloreto, Nitrato, Ferro, STD, rMg^{+2}/rCa^{+2} e rK^{+}/rNa^{-} em função das coordenadas UTM de cada ponto analisado. O método de interpolação usado foi a Krigagem (Geostatistical Analyst) gerando, então, uma grade de pontos, que foi transformada em um arquivo Raster e trabalhada no ambiente SIG, gerando assim mapas de zoneamentos hidroquímicos. Foram selecionados esses parâmetros devido a sua importância química na área.

Neste trabalho foi utilizada a classificação para a dureza, de Custódio e Llamas (1983), que usa a dureza total em mg/L de $CaCO_3$ (Quadro 3.3.4). A dureza pode ser expressa como dureza temporária, permanente e total, sendo a primeira eliminada com a ebulição da água, a segunda persistente após a ebulição da água e a terceira a soma das duas primeiras.

Quadro 3.3.4 - Classificação das águas subterrâneas segundo a dureza proposta por Custódio e Llamas (1983)

| Tipo de Água | Dureza Total (mg/L $CaCO_3$) |
|--------------|-------------------------------|
| Branda | < 50 |
| Pouco dura | 50 – 100 |
| Dura | 100 – 200 |
| Muito dura | > 200 |

Quanto a qualidade das águas para o uso na irrigação, a classificação mais utilizada é a proposta pelo *U.S. Salinity Laboratory*, que relaciona a concentração de sais solúveis, como indicação do perigo de salinização do solo, e a Razão de Adsorção de Sódio (SAR), como indicação do perigo de sodificação. O Diagrama do *U. S. Salinity Laboratory* é um gráfico semi-logarítmico tendo na abscissa a condutividade elétrica da água a 25° C e na ordenada o SAR (Sodium Adsorption Ration ou RAS - Razão de Adsorção de Sódio). O SAR é o parâmetro que representa uma estimativa de quanto o sódio da água pode ser absorvido pelo

solo (trocado pelo cálcio e/ou magnésio) e classifica a água dependendo da condutividade elétrica como: excelente ($0 \leq SAR \leq 10$), boa ($10 \leq SAR \leq 18$), regular ($18 \leq SAR \leq 26$) e de má qualidade ($SAR > 26$).

Mapas foram gerados pelo programa computacional SIG, onde inicialmente foram colocadas as informações obtidas nas etapas anteriores para elaborar um arquivo de dados integrando as diversas informações dos poços, sistemas hidrogeológicos, bacias hidrográficas, fontes de poluição, uso/ocupação do solo, entre outras.

Finalmente, para a inserção dos aspectos qualitativos das águas subterrâneas no vetor gestão dos recursos hídricos desenvolveu-se um item pertinente aos fundamentos da gestão das águas subterrâneas utilizando aspectos da legislação, educação ambiental, caracterização de bacias, cadastramento e diagnóstico dos poços e, por fim, do gerenciamento das águas.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

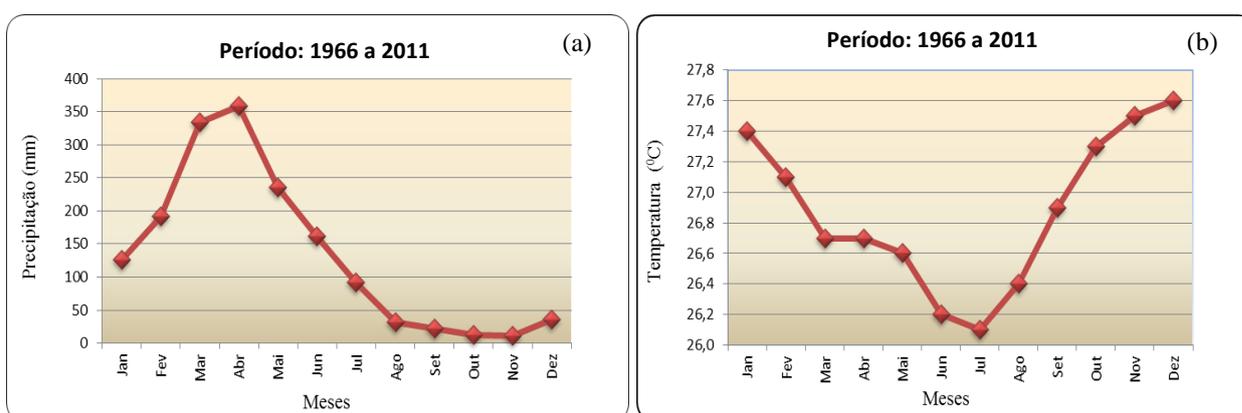
Neste capítulo são abordados os aspectos geoambientais do município de Fortaleza, tais como clima, solo, vegetação, geomorfologia, hidrologia e geologia.

4.1. Clima

O clima da cidade de Fortaleza, segundo a classificação climática de Köppen (1948) é do tipo Tropical Chuvoso (AW'), apresentando uma forte irregularidade de precipitação no decorrer do ano; ele é quente e apresenta regime de chuvas tropicais com alternância de episódios secos e úmidos ao longo do ano. Os índices pluviométricos variaram no período de 1966 a 2011, entre 11,6 mm em novembro a 358,7 mm em abril. Nos demais meses, as precipitações foram escassas, com chuvas irregulares durante o resto do ano. A temperatura média se situa no faixa de 27,6°C a 26,1°C, tendendo a aumentar no segundo semestre do ano, de setembro a dezembro (Figuras 4.1.1 e 4.1.2).

Fatores climáticos tais como precipitação, evapotranspiração, variações de temperatura, etc, influenciam consideravelmente o quimismo das águas subterrâneas por processos de diluição, concentração ou aumento da solubilidade (FENZL, 1986).

Figuras 4.1.1 e 4.1.2 - Médias mensais de precipitação pluviométrica (a) e temperatura (b) no município de Fortaleza – Ceará (Período: 1966 a 2011)



Fonte: Estação Meteorológica do Campus Pici /UFC, 2011.

4.1.1. Balanço Hídrico

O balanço hídrico é a operação que quantifica a diferença numérica entre as alimentações e as descargas de um sistema hídrico em uma região e em um intervalo de tempo específico; é a soma das entradas (alimentações) e saídas (descargas) e das variações de armazenamento de um aquífero em um intervalo de tempo definido.

Para a determinação do balanço hídrico na área de estudo foram utilizados os dados pluviométricos e de temperaturas no período de 1966 a 2011 (45 anos), fornecidos pela Estação Meteorológica do Campus Pici/UFC (2011), através dos quais foi possível fazer uma estimativa da parcela de precipitação pluviométrica que infiltra no subsolo, permitindo uma avaliação do processo de renovação das reservas de água subterrânea.

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

O cálculo da evapotranspiração potencial (ETP) é feito utilizando a equação de Thornthwaite (Equação 02).

$$ETP = 16 (10T/I)^a \times K \quad (02)$$

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:

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

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

T_i = temperatura média de cada mês do ano;

i = índice térmico mensal, que varia de 1 a 12 e somados dão o índice térmico anual (I).

a = parâmetro obtido em função do índice térmico, sendo dado por:

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

O método proposto por Thornthwaite é considerado o mais adequado para áreas costeiras, 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 (VASCONCELOS, 1999).

Os valores da Evapotranspiração Potencial (ETP), de acordo com os cálculos obtidos, variaram de 126,5 mm em junho a 164,3 mm em dezembro. O valor obtido para o Índice térmico (I) foi de 149,5 e para o fator (a) foi de 3,71, dados utilizados para os cálculos de ETP.

A evapotranspiração real (ETR) é calculada a partir da comparação entre evapotranspiração potencial (ETP) e a precipitação (P), considerando que o município tem uma capacidade de armazenamento (CA) de 100 mm (VASCONCELOS, 1994).

A evapotranspiração real anual média corresponde ao somatório das evapotranspirações médias mensais (Tabela 4.1.1) e a Infiltração potencial média mensal é calculada pela Equação 03:

$$I_p = P - ETR \quad (03)$$

Onde:

I_p = Infiltração potencial;

P = Precipitação;

ETR = Evapotranspiração real.

A partir desses cálculos, a infiltração potencial (I_p) anual é de 546,7 mm, representando 34% do total da média anual da precipitação pluviométrica, correspondendo à parcela de precipitação que contribui para a recarga subterrânea nos litotipos de porosidade primária. Para o Domínio Cristalino, essa parcela de precipitação contribui para uma recarga potencial, pois nele a infiltração depende das fraturas abertas e do manto intempérico.

Tabela 4.1.1 - Valores para o balanço hídrico, no período de 1966 a 2011, calculado pelo método de Thornthwaite

| Mês | P (mm) | T °C | I | K | ETP (mm) | PPT - ETP | C | ETR (mm) | Ip (mm) |
|--------------|---------------|--------------|-----------------|--------------|---------------|----------------|--------------|---------------|--------------|
| Jan | 125,3 | 27,4 | 12,82835 | 1,06 | 159,9 | -34,61 | 0,0 | 125,3 | 0,0 |
| Fev | 191,1 | 27,1 | 12,61824 | 0,95 | 137,6 | 53,51 | 56,51 | 137,6 | 0,0 |
| Mar | 334,4 | 26,7 | 12,33991 | 1,04 | 142,5 | 191,85 | 100,0 | 142,5 | 191,9 |
| Abr | 358,7 | 26,7 | 12,33991 | 1,00 | 137,1 | 221,64 | 100,0 | 137,1 | 221,6 |
| Mai | 235,7 | 26,6 | 12,27065 | 1,02 | 137,9 | 97,83 | 100,0 | 137,9 | 97,8 |
| Jun | 161,9 | 26,2 | 11,99491 | 0,99 | 126,5 | 35,39 | 100,0 | 126,6 | 35,4 |
| Jul | 91,1 | 26,1 | 11,92630 | 1,02 | 128,5 | -37,41 | 65,1 | 91,9 | 0,0 |
| Ago | 31,2 | 26,4 | 12,13252 | 1,03 | 135,4 | -104,19 | 0,0 | 31,2 | 0,0 |
| Set | 22,0 | 26,9 | 12,47882 | 1,00 | 140,9 | -118,91 | 0,0 | 22 | 0,0 |
| Out | 12,1 | 27,3 | 12,75819 | 1,05 | 156,3 | -144,17 | 0,0 | 12,1 | 0,0 |
| Nov | 11,6 | 27,5 | 12,89864 | 1,03 | 157,5 | -145,90 | 0,0 | 11,6 | 0,0 |
| Dez | 36,1 | 27,6 | 12,96906 | 1,06 | 164,3 | -128,18 | 0,0 | 36,1 | 0,0 |
| Total | 1611,2 | 322,5 | 149,5555 | 12,25 | 1724,3 | -113,14 | 521,6 | 1011,9 | 546,7 |

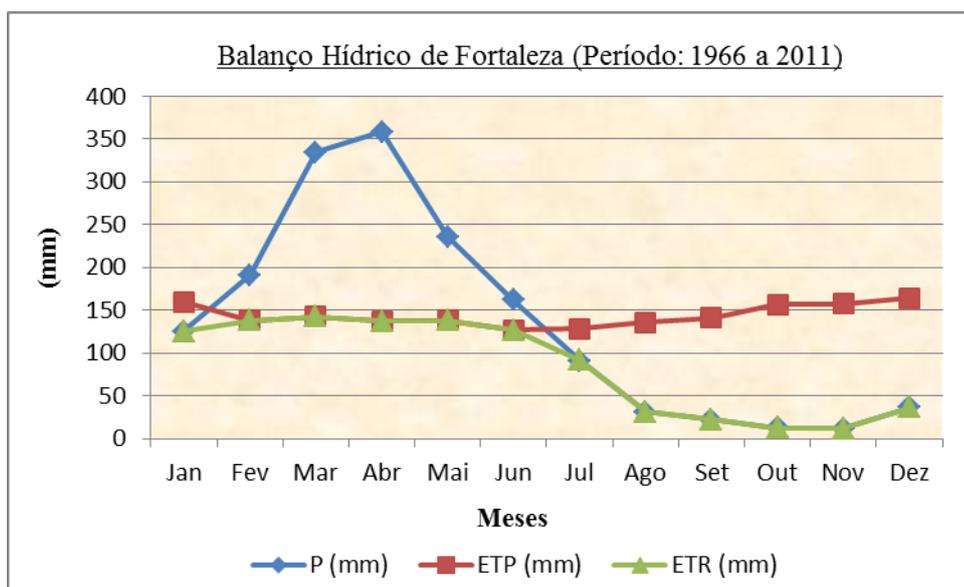
Legenda: P = Precipitação; T = Temperatura; I = Índice térmico anual; K = Fator de correção que depende da latitude do lugar; ETP = Evapotranspiração potencial; C = Capacidade de armazenamento; ETR = Evapotranspiração real e Ip = Infiltração potencial.

A partir dos dados obtidos (Tabela 4.1.1), foi elaborado o gráfico do balanço hídrico (Figura 4.1.3) com três variáveis: precipitação pluviométrica, evapotranspiração potencial e evapotranspiração real.

A precipitação é superior à evapotranspiração real somente durante o primeiro semestre do ano, na quadra chuvosa, de fevereiro a maio, destacando duas estações bem distintas: uma chuvosa no 1º semestre e outra seca no 2º semestre.

No segundo semestre, ocorre elevação das temperaturas e a evapotranspiração potencial é pouco superior à evapotranspiração real, que está relacionada com a precipitação e, assim, toda a água precipitada é evaporada.

Figura 4.1.3 - Representação gráfica do balanço hídrico no município de Fortaleza (Período de 1966 a 2011)



Fonte dos dados: Estação Meteorológica do Campus Pici /UFC, 2010.

Legenda: P = Precipitação; ETP = Evapotranspiração potencial e ETR = Evapotranspiração real.

4.2. Solos

Os solos originais de Fortaleza encontram-se degradados devido à expansão urbana, mas variados tipos pedológicos estão representados na área conforme Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1999).

Os *Argissolos Vermelho-Amarelos* apresentam ocupação superficial ampla, com predominância de argila de baixa atividade, bem desenvolvida e mediamente profunda, abrangendo 70% do território municipal (Figura 4.2.1).

Os solos *Planossolos Nátricos* são originados da associação do saprólito de gnaisses, são rasos, mal drenados e susceptíveis à erosão e pedregosidade.

Os *Gleissolos Sálcos* são originados da associação de depósitos fluviais com influência marinha dos rios Ceará, Cocó e Pacoti, sendo caracterizados por horizontes sálcos e camadas finas de sais cristalizados na superfície.

Os *Neossolos Flúvicos eutróficos* englobam áreas de formação recente, como nas várzeas dos rios Maranguapinho, e parte dos rios Ceará e Cocó. Esses solos apresentam características morfotexturais variadas (areia até a argila) e profundidade de 0,8 a 2,0 metros.

Os *Neossolos Litólicos eutróficos* são oriundos das rochas vulcânicas alcalinas e encontram-se recobertos pela vegetação caatinga hipoxerófila.

Os *Neossolos Quatzarênicos ósticos* estão distribuídos no litoral, com relevo variável, indo do plano ao fortemente ondulado e escarpado, e estão relacionados aos sedimentos arenosos não consolidados das Dunas.

Figura 4.2.1 – Aspecto do Argissolo Vermelho-Amarelo (oriundo dos sedimentos da Formação Barreiras) localizados na Rua Seilfert/Lins do Rego - Maraponga. Coord.: 9581751/547095 (Julho/2010)



4.3. Vegetação

De acordo com a Síntese Diagnóstica do Município da Prefeitura de Fortaleza (2001) *apud* 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 e 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, passando pela Praia do Futuro até próximo ao rio Cocó e a Lagoa da 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). As principais

representantes são: quina-quina (*Coutarea Hexandra Schum*); João-mole (*Pisonia sp*); jucá (*Caesalpina 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/UFC, Mondubim, Água Fria e partes leste e sul 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 Nítida Jacq*).

Vegetação ribeirinha: ocorre no baixo curso dos rios Ceará e Cocó (Figura 4.3.1) representando 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.

Figura 4.3.1 – Vegetação ribeirinha na Bacia do Rio Cocó no bairro Jangurussu. Coord.: 9576714/552361 (Julho/2010)



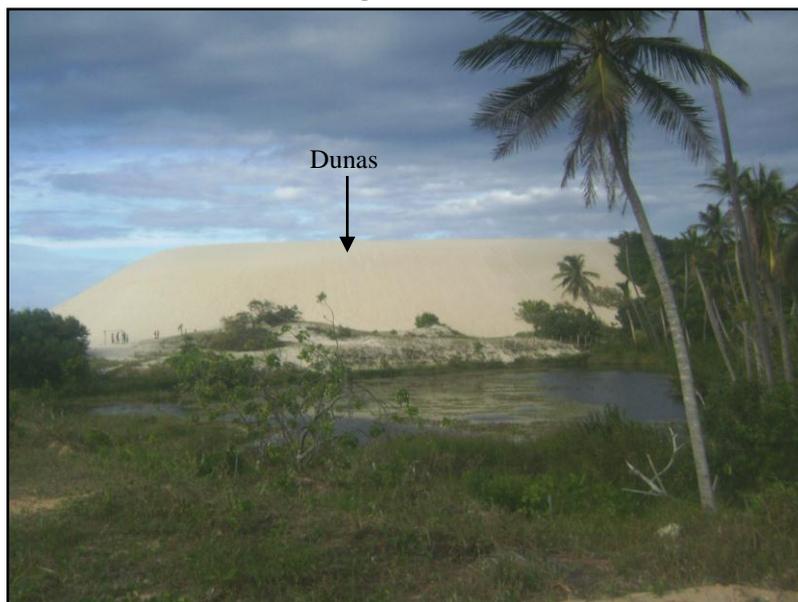
4.4. Geomorfologia

O município de Fortaleza é constituído basicamente por Planície Litorânea e Glacis Pré-Litorâneos, cujos limites sofrem a influência 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 (GOMES, 2008, p.29), 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 cordões quase contínuos paralelos à linha de costa (Figura 4.4.1), em alguns locais, interrompidos por cursos d'água, 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 distribuídos com uma faixa de largura variável que acompanha a linha de costa.

Figura 4.4.1 - Dunas localizadas na Sabiaguaba. Coord.: 9581743/562430 (Julho/2010)



4.5. Hidrografia

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

As principais bacias hidrográficas que atravessam o município de Fortaleza são as da Vertente Marítima (zona costeira), a do Rio Cocó e a do Rio Maranguapinho, que juntas representam 336 km² e os seus rios de maior porte são Cocó, Ceará, Maranguapinho, Pacoti e Coaçu (QUESADO JUNIOR, 2008, p.36) (Figura 4.5.1).

A 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.

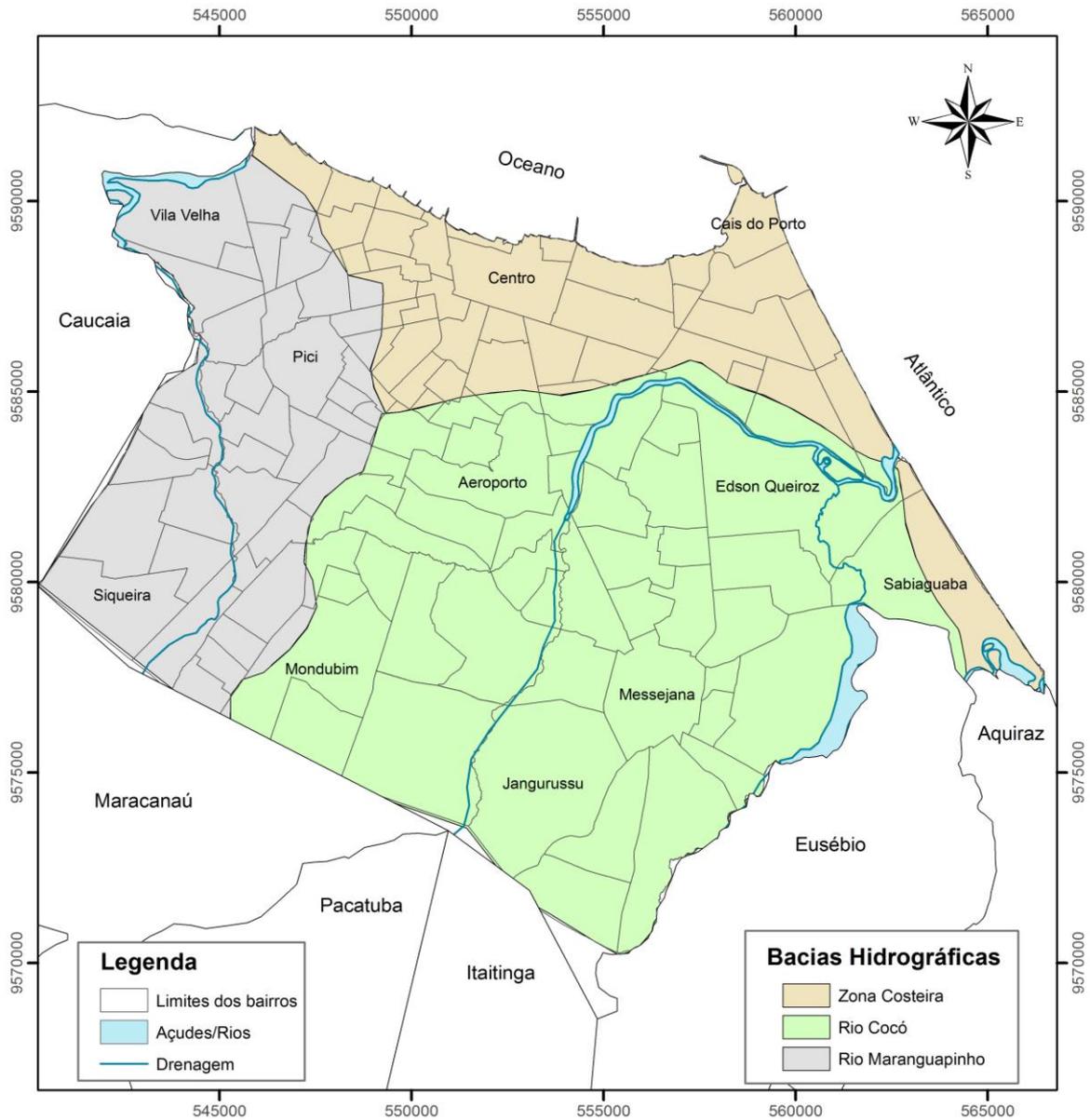
A Bacia do Rio Cocó cujo elemento principal é o rio Cocó que nasce na Serra da Pacatuba, no município homônimo, tendo um percurso total de 45 km, dos quais 25 km atravessam todo o município de Fortaleza. Esta bacia é o principal recurso hídrico superficial da área e tem como elementos macrodrenantes secundários principais lagoas, riachos e açudes, a exemplo das lagoas da Parangaba; do Opaia; da Maraponga; do Coité; rio Coaçu; riachos da Sapiranga; da Lagoa de Ancuri; do Açude Guarani I; do Açude Jangurussu; Fernando Macedo; da Lagoa Grande; da Lagoa Redonda; da Sapiranga; da Lagoa de Ancuri; do Açude Traíra; da Lagoa da Maraponga e da Lagoa Itaoca. Açude Osmani Machado; Açude Uirapuru e Açude

Precabura (PDD, 1998 *apud* Tajra, 2001). No rio Cocó está localizado um dos principais reservatórios do Sistema de Abastecimento de Água Bruta da Região Metropolitana de Fortaleza, o açude Gavião, cuja sub-bacia hidrográfica tem 99,35 km², correspondente a 33% da área total da bacia, e é responsável pelo abastecimento da Estação de Tratamento de Água (ETA) localizada próxima ao açude, na localidade denominada Ancuri, distando aproximadamente 20 km da Grande Fortaleza.

A Bacia do Rio Maranguapinho corresponde a uma faixa norte-sul do município, indo de um local próximo a 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 são 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 os riachos Correntes; do Açude João Lopes, da Lagoa do Mondubim e o açude da Agronomia (açude Santo Anastácio).

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 dos açudes do Sistema Pacoti-Riachão-Gavião, beneficiando 588.874 famílias com ligações ativas (CAGECE, 2011).

Figura 4.5.1 - Bacias Hidrográficas do município de Fortaleza, Ceará

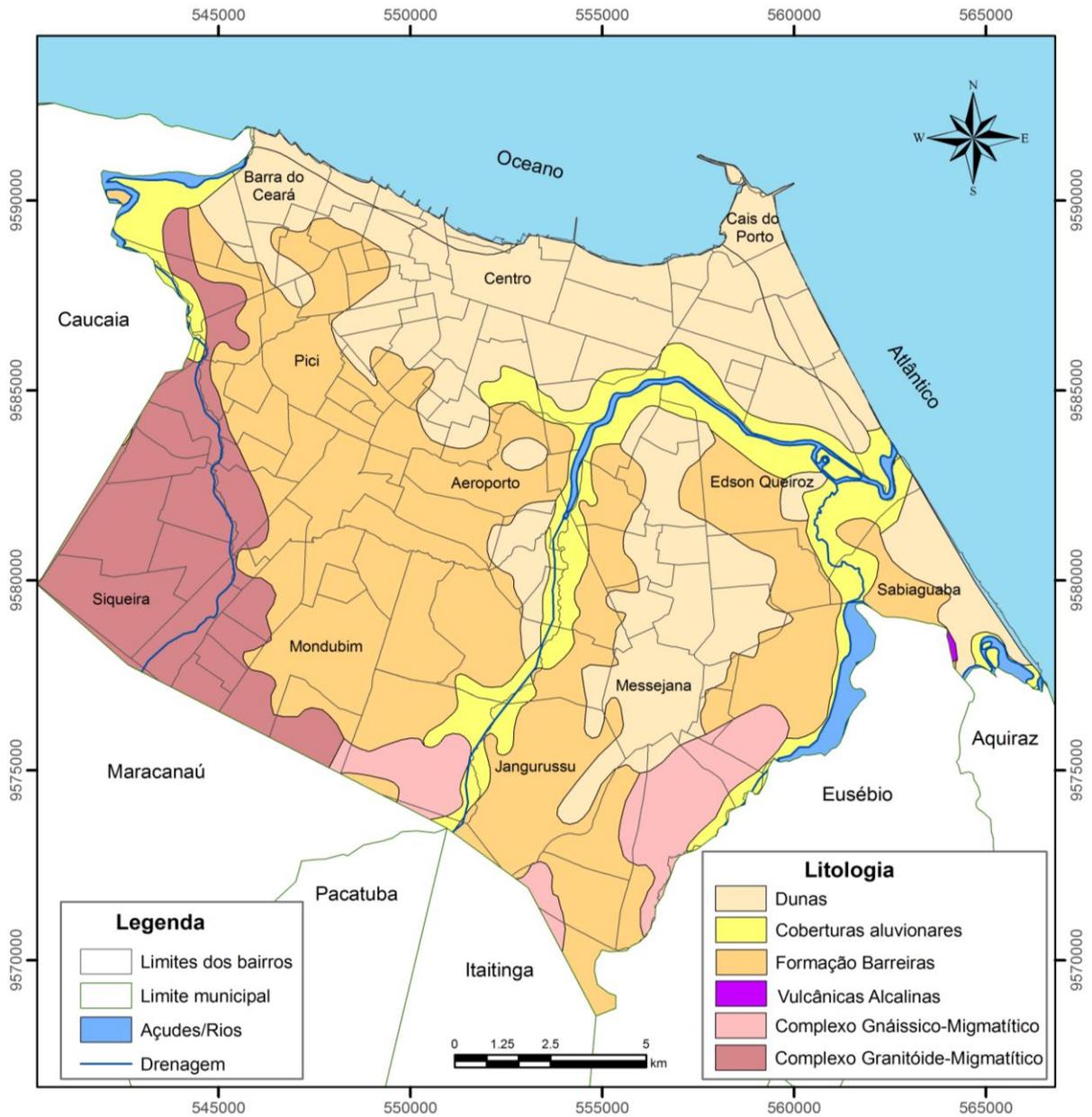


Fonte: Modificado de Quezado (2008).

4.6. Geologia

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. A distribuição espacial das unidades geológicas na área é de 80% para as unidades sedimentares e 20% (55 km²) para as unidades cristalinas (Figura 4.6.1).

Figura 4.6.1 – Distribuição litológica no município de Fortaleza, Ceará



Fonte: Modificado do ATLAS Geológico do Ceará (2003).

✚ Pré-Cambriano

As rochas do pré-cambriano não são aflorantes, embora localmente esteja sub-aflorante na porção sudoeste do município representadas por rochas do Complexo Granitóide-Migmatítico e nas porções sul e sudeste do município, por rochas paraderivadas de natureza gnáisse-migmatítica, representadas por manifestações com provável posicionamento estratigráfico relacionado ao final do Proterozóico Inferior, pertencentes ao Complexo Caicó (BRANDÃO, 1995).

Na parte centro-leste, à sudeste da área e próximo à foz do Rio Pacoti, foi cartografado um corpo circular sob a forma de *neck* ou *plug*, de composição rochosa vulcânica alcalina, denominado na literatura por morrote Caruru (ALMEIDA, 1958 *apud* BRANDÃO, *op. cit.*). 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.

Cenozóica

A Formação Barreiras representa uma sequência de sedimentos cenozóicos que ocorre numa ampla faixa acompanhando a linha de costa, atrás dos sedimentos eólicos antigos e atuais, e que penetra em direção ao interior da área estudada possuindo espessura variável entre 20 e 50 metros (BRANDÃO, 1995).

As 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 apresentar localmente um pequeno deslocamento gravitacional. Os sedimentos inconsolidados que repousam discordantemente sobre os sedimentos Barreiras 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 permite, e estão localizados na foz do rio Pacoti e nas salinas do rio Cocó.

Os 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 é congruente a fraturas e falhas, com destaque aos trechos do rio Maranguapinho, e os depósitos constituem estreitas faixas formadas por sedimentos de granulometria grosseira. Nas planícies de inundação os sedimentos apresentam uma constituição mais fina. Nos estuários ou nos ambientes de planície flúvio-marinhas formam-se depósitos silte-argilosos, ricos em matéria orgânica que sustentam uma vegetação de mangue, destacando-se as áreas de mangues associados aos rios Cocó e Pacoti.

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. 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 dunas mais antigas da unidade

sotoposta ocorre de modo abrupta, embora, por vezes, os sedimentos eólicos recentes podem ser encontrados capeando diretamente os sedimentos Barreiras. 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 as “*Beach rocks*” encontrados ao longo das praias de Sabiaguaba, Abreulândia e foz do rio Pacoti (MORAIS, 1984).

5. FUNDAMENTOS PARA A GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS

O termo “*gestão*” tem sido muito utilizado e quase sempre entendido como sinônimo de gerenciar. O planejamento é parte da gestão, quando primeiramente se planeja, posteriormente se executa e, a seguir, se gerencia com o propósito de verificar o melhor desenvolvimento das atividades programadas e, desde que necessário, realizar-se-á alterações visando a melhor relação custo/benefício.

De forma direta, a gestão integrada de aquíferos propicia a manutenção da qualidade e quantidade das águas subterrâneas e o equilíbrio ecológico da região de domínio aquífero. De forma mais abrangente, permite maior disponibilização da água no espaço e no tempo, desenvolvimento econômico e maior qualidade de vida para a população. Nesse sentido, o desenvolvimento e a implementação de políticas públicas voltadas para as águas subterrâneas e atuação da Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, como instituição da administração direta responsável por elaborar e aplicar políticas públicas de águas são fundamentais para o alcance da gestão integrada dos aquíferos brasileiros (SENRA; HAGER, 2004).

Um dos fundamentos básicos para sustentar a abordagem da gestão das águas é a legislação pertinente aos recursos hídricos subterrâneos; porém, antes serão enfocados os conceitos fundamentais da gestão integrada desses recursos.

Para uma gestão adequada dos recursos hídricos deve-se, necessariamente, dispor de um tripé baseado em uma legislação específica bem elaborada, uma estrutura administrativa que atue de maneira integrada e participativa considerando os aspectos ambientais, sociais e hídricos, e a existência de estudos hídricos, isto é, o domínio sobre os conhecimentos técnico-científicos (COSTA; COSTA FILHO, 2004).

Como instrumentos fundamentais da gestão devem ser ressaltados o cadastramento dos poços da região, a existência de planos operativos, o monitoramento dos mananciais hídricos e a fiscalização sobre a execução das obras (COSTA; COSTA FILHO, *op.cit*).

A cidade de Fortaleza necessita de um gerenciamento dos seus recursos hídricos, direcionado suas águas conforme sua caracterização qualitativa.

5.1. Caracterização das Funções Hídricas

Antes de discutir os fundamentos básicos para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos no município de Fortaleza, é necessário explicar as funções desempenhadas, direta ou indiretamente, para o desenvolvimento e controle dos recursos hídricos, sendo esta caracterização feita segundo várias classificações.

Neste trabalho, foi adotada a classificação proposta por Campos (2001), adotada no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Ceará (CEARÁ, 1992), que se baseia em modelos propostos no Plano Integrado de Recursos Hídricos do Nordeste (SUDENE, 1980) e em Barth (1987) com base em cinco funções hídricas principais: gestão dos recursos hídricos, oferta hídrica, uso das águas, preservação sustentável e as funções complementares (Quadro 5.1.1).

Quadro 5.1.1 – Principais funções hídricas consideradas no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Ceará

| FUNÇÕES HÍDRICAS | |
|-------------------------|--|
| GESTÃO | Planejamento Gerenciamento Regulamentação |
| OFERTA | Represamento Poços Cisternas |
| USO | CONSUNTIVO Abastecimento humano Abastecimento industrial Abastecimento rural Irrigação Aqüicultura |
| | NÃO CONSUNTIVO Geração hidrelétrica Navegação fluvial Lazer Pesca e piscicultura extensiva |
| PRESERVAÇÃO | Ações preventivas e corretivas |
| COMPLEMENTARES | Ciência e tecnologia, Meio ambiente. Planejamento global, Incentivos econômicos e Defesa civil. |

Fonte: Elaborado com base em Campos (2001).

5.1.1. A Gestão dos Recursos Hídricos

A gestão das águas é o conjunto de procedimentos organizados no sentido de solucionar os problemas referentes ao uso e ao controle dos recursos hídricos e tem como objetivo atender, dentro das limitações econômicas e ambientais e respeitando os princípios de justiça social, a demanda de água pela sociedade a partir de uma disponibilidade. A gestão é formada por três sub-funções: o planejamento, o gerenciamento (administração) e a regulamentação (CAMPOS, 2001, p.41).

O planejamento é constituído pelo conjunto das atividades necessárias à previsão das disponibilidades e das demandas de água, com vistas a maximizar os benefícios econômicos e sociais. O planejamento consta das seguintes atividades: inventário dos recursos hídricos, estudo quali-quantitativo das águas, estimativa das demandas, estudos prospectivos do balanço oferta x demanda e da avaliação e controle do próprio planejamento.

O gerenciamento constitui-se nas ações que dão suporte técnico ao planejamento e aos mecanismos de avaliação da efetividade dos planos anteriores, tendo em mente uma realimentação dos futuros planos. O gerenciamento engloba a coleta e a divulgação de dados hidrológicos e meteorológicos, as estatísticas do uso da água, o poder de política administrativa e a programação executiva e econômico-financeira das obras previstas nos planos.

A regulamentação (legislação) é formada pelas ações desenvolvidas na formação de um suporte legal para o desempenho da gestão das águas, a partir do disciplinamento e normalização do funcionamento do Sistema de Recursos Hídricos, nos diferentes níveis (Federal, Estadual ou Municipal). A regulamentação é consolidada através de sugestões de leis, decretos, portarias, instruções e regulamentos.

5.1.2. A Oferta Hídrica

A gestão das águas, pelo aspecto da oferta, dá-se no sentido de aumentar as disponibilidades hídricas através da ativação das potencialidades. Assim, classifica-se como funções da oferta as diversas ações, em obras ou serviços, através das quais a água se torna disponível para utilização no tempo e no local onde ocorre a demanda. A função oferta compreende a construção e recuperação de poços, a captação de águas em lagos naturais, a captação de águas da chuva através de cisternas, etc (CAMPOS, 2001, p.43).

Um dos princípios básicos que norteia qualquer estudo hidrogeológico para planejamento e gestão da água, é o correto dimensionamento da oferta e demanda dos recursos hídricos. Porém, na hidrogeologia nem sempre é possível se realizar o dimensionamento da oferta, ou seja, o cálculo de reservas e disponibilidades, em função dos aspectos geológicos (por exemplo, no Sistema Cristalino) ou do uso e ocupação do solo, este resultando, quase sempre, em interferência antrópica sobre a qualidade das águas armazenadas em subsuperfície.

5.1.3. O Uso das Águas

A gestão dos usos das águas, atualmente vem sendo adotada sob a ótica da gestão da demanda, dá-se no sentido de utilizar, da melhor maneira possível, as disponibilidades hídricas viabilizadas pela oferta. Classificam-se, como funções do uso, o conjunto de ações necessárias para que a água se torne efetivamente útil aos homens, às plantas, aos animais e às paisagens. O uso acontece sob duas formas: o consuntivo, que ocorre quando há perdas, derivação ou consumo, havendo diferença entre a quantidade que é derivada e a que retorna ao corpo d'água. Como exemplos há a irrigação, a agricultura e o abastecimento humano; não-consuntivo quando não há consumo, derivação ou desperdício da água, representados nos usos dos corpos hídricos, como o lazer, a pesca e a piscicultura extensiva (CAMPOS, 2001, p.43).

A água subterrânea em Fortaleza é destinada para o uso doméstico (consumo, higiene e lavagem em geral), irrigação, recreação, indústria (bebidas, alimentícias, etc.) e outras funções (postos de combustíveis, lava jatos, construções civis, etc.).

Consumo humano

A qualidade da água para consumo humano baseia-se nos padrões de potabilidade, sendo os valores limites estipulados de forma a atender as características de estética e sabor, e não ser prejudicial à saúde.

A Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) estabelece que as águas que são utilizadas para consumo humano, sejam elas provenientes do abastecimento público ou de fontes alternativas como os poços, ao serem analisadas bacteriologicamente devem apresentar ausência (100 mL de amostra) para os grupos coliformes totais e fecais.

Irrigação

Na avaliação sobre as possibilidades da utilização de águas subterrâneas para irrigação, além da qualidade química das águas, outros fatores devem ser levados em consideração, tais como a textura e estrutura do solo; tipo de manejo; método de irrigação empregado e tipos de culturas. De um modo geral, qualquer água que seja potável ao consumo humano pode ser aplicada na irrigação, porém convém ressaltar que nem todas as não potáveis são impróprias para este uso (CAVALCANTE, 1998).

Recreação

A água utilizada para a recreação de contato direto ou primária (natação, hidroginástica etc.), exige um controle constante na sua qualidade físico-química, biológica e radiológica, pois podem oferecer risco à saúde humana, como ter presente organismos patogênicos e metais pesados. É usual adotarem-se os seguintes padrões: bactérias coliformes limite de NMP 200/100mL de água; pH em torno de 7 e piscinas com tratamento de cloro residual de 0,4 - 1,0 mg/L.

Indústria

Os padrões da água para fins industriais são complexos em função da diversidade de uso da água, pois dependem do tipo da indústria e dos processos de industrialização, gerando necessidades diferentes de qualidade de água para cada uso (SANTOS, 2008).

A água para fins industriais pode ser classificada segundo Mathess (1982), Szikszay (1993) e Driscoll (1986), considerando-se valores padrões de pH, dureza, alcalinidade, cálcio, cloreto, ferro, manganês, R.S. (Resíduo Seco: peso dos sais resultantes da evaporação de um litro d'água, após a filtração para a remoção de materiais em suspensão), nitrato, amônia, sulfato, fluoreto e magnésio para águas utilizadas em indústrias de refrigeração, açucareira, curtume, laticínios, cervejaria, têxtil, conservas alimentícias, bebidas de suco de frutas e indústria de papel.

5.1.4. A Preservação Sustentável dos Recursos Hídricos

A preservação engloba as ações preventivas e corretivas voltadas para garantir o correto escoamento das águas, evitar a erosão do solo, promover a manutenção da vegetação e a implantação de novas áreas verdes. As ações de preservação também criam barreiras que impedem ou reduzem a poluição da água.

O termo “*sustentável*” segundo Leal (1998), *apud* Peixinho (2010), supõe um sistema totalmente autossuficiente e sem rejeitos, em total equilíbrio. Sabe-se, todavia, que não é possível um sistema totalmente sustentável, segundo a Lei de Conservação da Energia, que tem a analogia com o sistema ambiental, que se deseja é o maior grau possível de sustentabilidade respeitando os limites de autorregeneração da natureza.

O desenvolvimento de uma sociedade tem como base de sustentação os seus recursos naturais e estes são impactados pelo tipo e grau de desenvolvimento adotado. Portanto, existe uma forte interação entre os meios econômicos e físicos (PEIXINHO, 2010).

A degradação ambiental, uma das manifestações da crise atual, está caracterizada basicamente por dois aspectos: escassez de recursos naturais e saturação do meio como receptor dos rejeitos da atividade humana (poluição). De acordo com Leal (*op. cit.*), *apud* Peixinho (*op. cit.*), dois fatores contribuem fortemente para a degradação ambiental: o grande crescimento da população mundial nas últimas décadas e o modo de exploração predatória dos recursos naturais, numa crescente perda de eficiência dos processos produtivos.

5.1.5. As Funções Hídricas Complementares

As funções complementares são formadas essencialmente pelas ações de suporte ao funcionamento do setor hídrico; constituem atividades de apoio como o treinamento para capacitação de pessoal técnico, o desenvolvimento de pesquisas, a orientação técnica dos usuários de água etc.

Segundo Matta (2002), é necessária a implementação de um amplo programa de educação hidroambiental, enfatizando o elemento água, através de políticas interdisciplinares e multi-institucionais, envolvendo as instituições públicas e privadas, ONGs, associações comunitárias e parcerias em geral, utilizando principalmente aquelas com experiências comprovada no tema e sistematizada através de parcerias com os poderes públicos municipais e estaduais.

5.2. Legislação Sobre os Recursos Hídricos Subterrâneos

Os recursos hídricos têm sido reconhecidos pelos poderes públicos como um bem mineral e, dessa forma, têm sido amparados por um arcabouço legal e constitucional, abrangendo os níveis Federal, Estadual e Municipal. Em função das características peculiares, tais como as diferenças entre as fronteiras aquíferas e as geopolíticas e a importância relativa desses recursos frente aos superficiais, as águas subterrâneas necessitam de um tratamento diferenciado dentro do campo das legislações (MATTA, 2002, p.198).

Segundo Studart e Vieira (1996), no Brasil, até a década de 1980, existia uma série de leis federais que traziam em seu corpo artigos que tratavam da água subterrânea, mas não uma que tratasse exclusivamente da mesma. A seguir são apresentados alguns trechos extraídos de Studart e Vieira (*op. cit.*) considerados importantes para o entendimento da legislação sobre as águas subterrâneas.

A primeira referência sobre o assunto está contida no Código Civil de 1916, que no seu Artigo 586 diz “*que não é permitido fazer escavações que tirem ao poço ou à fonte de outrem a água necessária. É, porém, permitido fazê-las, se apenas diminuïrem o suprimento do poço ou da fonte do vizinho, e não forem mais profundas que as deste, em relação ao nível do lençol de água*”. Observa-se, claramente, que a lei dá como ilícito somente o dano produzido pelo indivíduo ao indivíduo, sem qualquer preocupação com o meio ambiente.

Em 1934 entra em vigor o Código de Águas que, embora disponha vir a ser a legislação básica sobre a matéria, o faz dando bastante ênfase ao aproveitamento hidrelétrico, reflexo da conjuntura econômica dos anos 1930. As águas subterrâneas são contempladas no Título IV (Capítulo único, Artigos 96 a 101) que determina que “*as mesmas podem ser livremente apropriadas pelos donos do terreno desde que não prejudique aproveitamentos existentes, nem derive ou desvie de seus cursos naturais águas públicas dominicais, públicas de usos comuns ou particulares*”; no caso do poço se situar em terrenos de domínio público, há a necessidade de concessão administrativa. São, ainda, expressamente proibidas as construções capazes de poluir ou inutilizar a água do poço ou nascente alheia, a ela preexistentes.

O Código de Minas de 1940 incluía como jazidas as águas minerais, termais e gasosas. O Código de Mineração, que entrou em vigor em 1967, acrescentou a esta lista também as águas subterrâneas, as quais deveriam ser disciplinadas por lei especial, o que não aconteceu até a década de 1980 (BARTH, 1987).

A Política Nacional do Meio Ambiente, estabelecida pela Lei nº 6.938 de 31/08/81 (BRASIL, 1981), também dispõe sobre o assunto, tendo como um de seus princípios básicos “*a racionalização do solo, da água e do ar*”.

A Constituição Federal, promulgada em 05/10/1988, mantém a divisão de responsabilidades entre os governos federal e estadual na administração dos recursos hídricos do Brasil. Entretanto, as águas subterrâneas passam a ser bens exclusivos dos Estados.

A Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, estabelecida pela Lei nº 9.433 de 1997 (BRASIL, 1997), tem como um de seus princípios “*A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos*”.

O Estado de São Paulo foi à primeira unidade federativa brasileira a aprovar uma lei estadual de águas subterrâneas – Lei nº 6.134 /1988, com posterior regulamentação através do Decreto Lei nº 32.955/1991. O Estado de Pernambuco foi o segundo estado que passou a ter uma lei devidamente regulamentada - Lei nº 11.427/1997 e Decreto nº 20.423/1998. Depois foram os estados do Pará (Lei nº 6.105/1998), Minas Gerais (Lei nº 13.771/2000), Goiás (Lei nº 13.583/2000) e Ceará (Lei nº 14.844/2010) (Tabela 5.1.1).

Tabela 5.1.1 - Estados brasileiros que possuem legislação específica de águas subterrâneas (até o ano de 2012)

| Estado | Lei Nº. | Decreto Normativo Nº. |
|---------------|----------------------|------------------------------|
| São Paulo | 6.134 de 02/06/1988 | 32.955 de 07/02/1991 |
| Pernambuco | 11.427 de 17/01/1997 | 20.423 de 26/03/1998 |
| Pará | 6.105 de 14/01/1998 | - |
| Minas Gerais | 13.771 de 11/12/2000 | - |
| Goiás | 13.583 de 11/01/2000 | - |
| Ceará | 14.844 de 28/12/2010 | 31.077 de 12/12/2012 |

Na década de 1990, Studart e Vieira (1996) ressaltam tópicos considerados essenciais propostos na formulação da legislação estadual, descritos a seguir:

⇒ **Princípios básicos** - As águas existentes no subsolo do Ceará constituem um bem público estadual; a água subterrânea, indissociável das demais ocorrências, é um recurso

natural limitado, dotado de valor econômico; os usos prioritários dos recursos hídricos subterrâneos são representados pelos consumos humanos e a dessedentação de animais domésticos; a cobrança pelo uso da água subterrânea é entendida como fundamental para a racionalização de seu uso e conservação.

⇒ **Órgão Gestor** - A Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará - COGERH, vinculada à SRH, deverá gerenciar a oferta dos recursos hídricos tanto superficiais quanto subterrâneos de domínio do Estado e deverão ser incluídos entre seus objetivos os seguintes pontos: desenvolver estudos visando quantificar as disponibilidades e demandas de águas subterrâneas, bem como planejar seu aproveitamento racional; implantar um sistema de informações sobre os recursos hídricos subterrâneos, através de coletas de dados, estatísticas, cadastro de usos de água e de todas as obras de captação de água subterrânea no Estado do Ceará, mantendo-o atualizado; conceder a outorga para uso de águas subterrâneas; fiscalizar as obras de captação de água subterrânea; monitorar a exploração e controle dos recursos hídricos subterrâneos.

⇒ **Defesa da qualidade e da quantidade** - As águas subterrâneas deverão ter programa permanente de preservação e conservação, visando seu melhor aproveitamento, o que implica em uso racional, aplicação de medidas contra a sua poluição e manutenção do seu equilíbrio físico, químico e biológico em relação aos demais recursos naturais; nenhuma atividade desenvolvida poderá poluir, de forma intencional ou não, as águas subterrâneas; as obras de pesquisa, lavra mineral ou outros fins, devem conter descrição detalhada da caracterização hidrogeológica de sua área de localização; os poços abandonados deverão ser selados a fim de evitar a contaminação do aquífero; a descarga de poluentes que possam degradar a qualidade das águas subterrâneas será punida na forma prevista em Lei e em normas dela decorrentes, sem prejuízo das sanções penais cabíveis; os resíduos sólidos, líquidos ou gasosos provenientes de quaisquer atividades, só poderão ser transportados ou lançados de forma a não poluírem as águas subterrâneas; deverão ser regulamentados projeto/construção/operação das seguintes fontes poluidoras: Fontes projetadas para descarregar substâncias poluidoras - fossas/sumidouros, poços de injeção, sistemas de irrigação com esgoto, despejo de lodo de esgoto no solo; Fontes projetadas para armazenar/tratar - aterros sanitários, depósitos de lixo, cemitérios, e; Fontes projetadas para reter substâncias - tanques subterrâneos para estocagem de combustíveis e de produtos químicos; as normas técnicas e especificações da ABNT no que se refere a projeto e construção de poços para captação de água subterrânea deverão ser atendidas; caso seja necessário restringir a captação e o uso da água, poderão ser delimitadas áreas destinadas ao seu controle, sem implicar na

desapropriação da terra; os poços jorrantes deverão ser dotados de dispositivos apropriados a conter o desperdício.

⇒ **Outorga** - Deverá ser exigida a outorga para a implantação de qualquer empreendimento que consuma recursos hídricos subterrâneos ou a realização de obras de serviços que alterem a quantidade e a qualidade dos mesmos; sua base quantitativa deverá ser considerada a partir de 2.000 L/h; a outorga deverá ser precedida por licença prévia; será obrigatória a comunicação prévia para fins de cadastro, mesmo nas captações consideradas insignificantes; a outorga não implica na alienação das águas subterrâneas, mas no simples direito de seu uso e também não confere delegação do poder público ao seu titular; a outorga tem caráter singular, personalíssimo e intransferível e não será concedida para lançamento de poluentes nas águas subterrâneas.

5.3. Fundamentos qualitativos das águas subterrâneas

Qualidade de água é o termo empregado para expressar a adequabilidade desta para os mais variados fins: abastecimento doméstico, uso industrial e agrícola, recreação, dessedentação animal, aquicultura, piscicultura etc (ARAÚJO; SANTAELLA, 2001, p.141).

Nesse item são abordadas a composição, classificação (relações iônicas) e qualidade da água que dependem de sua “história”, ou seja, dos caminhos que a água percorreu para chegar ao seu fim.

Hidrogeoquímica

A geoquímica das águas subterrâneas é uma ciência multidisciplinar que relaciona a composição química da água aos processos e reações no ambiente de subsuperfície. O enfoque principal é a compreensão da origem e evolução química dos constituintes presentes na água, em decorrência dos processos físico-químico-biogeoquímicos que acontecem durante o fluxo da água subterrânea nos aquíferos, desde a zona de recarga até os exutórios naturais (MESTRINHO, 2008).

Desde os primeiros contatos, as águas naturais e o ambiente geológico estão submetidos a processos geoquímicos que dependem basicamente da composição química das águas que abastecem os aquíferos e do ambiente geológico, de fatores físicos do subsolo e das águas (porosidade da rocha ou subsolo em contato com as águas, temperatura, pH, condutividade elétrica, velocidade da água em contato com o subsolo e a velocidade do fluxo

das águas) e da influência humana sobre as águas e o meio ambiente geológico, geralmente na forma de poluição ambiental (FENZL, 1988).

Um pré-requisito nos estudos de hidrogeoquímica é o entendimento dos processos que ocorrem associados às águas naturais e aos problemas de contaminação (MESTRINHO, *op. cit.*), pois a água poluída promove mudanças do estado físico e químico, retardando a circulação ou mesmo removendo do sistema. Por isso, os subcapítulos 6.5 e 6.6 tratam de dois temas que contribuem nessas mudanças das águas: as potenciais fontes de poluição e uso e ocupação do meio físico no município de Fortaleza.

a) Composição das águas subterrâneas

Há cinco décadas, Schoeller (1962) mostrava que a partir das solubilizações primárias, em geral, obtém-se os seguintes comportamentos químicos:

⇒ Somente os íons Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} são transportados pelas águas, liberados dos silicatos durante a alteração. O K^+ é retido por adsorção.

⇒ Certa quantidade de SiO_2 sob forma de íons de SiO_3^{2-} ou H_4SiO_4 pode estar presente na solução com pH maior que 5.

⇒ O Al_3^+ com $\text{pH} < 5$ e $\text{pH} > 7,5$ pode estar em solução em quantidades muito reduzidas, porque grande parte de alumínio e sílica é fixada para formação das argilas.

⇒ O Fe^{2+} também está presente em pequenas quantidades, parte precipita sob a forma de hidróxidos.

⇒ O SO_4^{2-} se forma com a oxidação de pirita e outros sulfetos.

⇒ O Cl^- pode provir da biotita, muscovita, horblenda, apatita e com concentração menor que a de Na^+ e K^+ .

⇒ Grande parte dos ânions será HCO_3^- , CO_3^{2-} proveniente de CO_2 dissolvido que por sua vez provém em grande parte do solo.

A composição físico-química (mineralização) das águas subterrâneas depende, inicialmente, da composição das águas de recarga (pluviometria, águas superficiais) e, em seguida, de sua evolução química, influenciada diretamente pela interação água-rocha representada pela percolação da água através dos poros e/ou fraturas das camadas geológicas.

Considerando a interação água-solo-rocha, a concentração dos sais em solução depende do pH, da estabilidade e solubilidade dos minerais que constituem a fase sólida (solo-rocha), do tempo de residência e das taxas de reação (APPELO; POSTMA, 2006 *apud* CASTRO, 2011).

Segundo Hem (1985), a composição química da água natural depende de diferentes fontes e processos, incluindo gases e aerossóis da atmosfera, intemperismo e erosão de rochas e solos, precipitação e atividades humanas. A composição química das rochas, do oceano e da atmosfera são fontes significativas para avaliação da água natural. Atualmente, mais do que antes, o uso e ocupação do solo influenciam decisivamente na composição das águas subterrâneas.

A composição química das águas subterrâneas sofre modificações, principalmente por dois tipos de processos, dissolução da superfície das rochas e precipitação.

Os minerais mais abundantes, em contato com as águas naturais sob efeito destes processos, são: Calcita (CaCO_3), dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), Magnesita (MgCO_3), halita (NaCl), anidrita (CaSO_4) e gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); liberando os íons mais abundantes nas águas naturais que são Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} e HCO_3^- os quais refletem a composição das rochas com as quais as águas estão em contato.

O pH varia se novas substâncias dissolvidas na água reagirem com os íons H^+ e OH^- ; o pH aumenta se há reações com íons H^+ e diminui se há reações com íons OH^- . Por causa da concentração iônica das águas, o pH se encontra na faixa de 1 a 14 e classifica água ácida se $\text{pH} < 7$; água neutra se $\text{pH} = 7$, e água básica se $\text{pH} > 7$; o valor do pH determina a solubilidade de muitos solutos. Somente alguns íons como cloreto, potássio e nitrato tem pouca variação da solubilidade em toda a faixa de pH (FENZL, 1988).

O Eh (potencial de oxi-redução ou potencial redox) determina a característica do ambiente, se redutor ou oxidante, controlando processos químicos que ocorrem na natureza (geoquímica). A solubilidade de vários elementos (Fe, Mn, Cu etc.) depende de seus estados de oxidação, definidos pelo Eh e o pH do solvente (FENZL, *op.cit.*).

As reações de oxidação-redução ou de redox acontecem pela transferência de elétrons entre reagentes e produtos, e muitas são catalisadas por micro-organismos (bactérias) e determinam a natureza das espécies químicas nas águas. Em geral, o Eh das águas naturais é mais positivo em um meio oxidante e negativo no redutor (MESTRINHO, 2008) (Quadro 5.4.1).

A concentração de ferro na água subterrânea indica uma condição de redox diferente do aquífero na água que contém nitrato. Mudanças das condições de Eh e pH afetam a solubilidade e, por consequência, a mobilidade de muitos metais. Quando o pH está na faixa de 5 a 9, o hidróxido de ferro predomina mas, as águas mais profundas (baixo Eh), contêm Fe^{2+} solúvel. Quando estas águas são expostas ao oxigênio atmosférico, precipita $\text{Fe}(\text{OH})^3$. Em

águas subterrâneas, o Fe^{3+} somente está presente nas águas naturais muito ácidas, geralmente com $\text{pH} < 3$, que são raras (MESTRINHO, 2008).

Quadro 5.4.1- Exemplos das formas oxidadas e reduzidas de elementos importantes nas águas

| Elemento | Formas Oxidadas | Formas Reduzidas |
|------------|---|---|
| Carbono | CO_2 ; HCO_3^- | CH_4 |
| Nitrogênio | NO_3^- | N_2 ; NH_4^+ |
| Enxofre | SO_4^{2-} | H_2S ; S^{2-} |
| Ferro | Fe^{3+} ; $\text{Fe}(\text{OH})_3$ | Fe^{2+} ; FeS |
| Cromo | Cr^{6+} (CrO_4^{2-} ; $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) | Cr^{3+} ; $\text{Cr}(\text{OH})_3$ |
| Manganês | Mn^{4+} | Mn^{2+} |

Fonte: Mestrinho (2008).

O ferro está presente em baixas concentrações (abaixo de 0,3 mg/L) em quase todas as águas subterrâneas e ocorre sob diversas formas químicas. Suas fontes são minerais ferro-magnesianos (máficos) tais como a magnetita, biotita, pirita, piroxênios e anfibólios; por sua afinidade geoquímica, quase sempre é acompanhado pelo manganês. No estado ferroso (Fe^{2+}) forma composto solúveis, principalmente hidróxidos e em ambientes oxidantes, o Fe^{2+} passa a Fe^{3+} dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita causando uma coloração avermelhada à água, comumente designada de “*capa rosa*”. Assim, águas com elevada concentração de ferro ao saírem do poço são incolores, mas ao entrarem em contato com o oxigênio do ar ficam amareladas, o que lhes conferem uma aparência nada agradável, inúmeras vezes deixando a água com caráter de “*poluição estética*”.

Na condutividade elétrica (CE) quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior ela será; ela depende da concentração total das substâncias dissolvidas e ionizadas e da temperatura na qual a medida é realizada. Segundo Fernandes (2003), a CE é considerada como um bom critério na avaliação do grau de mineralização da água, contribuindo para o estudo do efeito de diversos íons sobre o equilíbrio químico, sobre o sistema fisiológico das plantas e animais e sobre a taxa de corrosão, além de servir para verificar o grau de pureza das águas destiladas e deionizadas.

O cálcio e magnésio estão presentes na água, principalmente nas formas de bicarbonatos de cálcio e de magnésio e sulfatos de cálcio e de magnésio. Em geral, usa-se o teor de cálcio e magnésio de uma água, expresso em teores de carbonato de cálcio, para definir a dureza.

O cálcio é considerado um dos elementos mais abundantes na maioria das águas e rochas, tendo moderada a elevada solubilidade, sendo comum precipitar como carbonato de cálcio (CaCO_3) e é o principal responsável pela dureza da água (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983).

O magnésio tem comportamento geoquímico muito parecido com o do cálcio e, em geral, o acompanha. Diferente do cálcio, apresenta alta solubilidade em MgCO_3 ; muito raro nas águas subterrâneas. Ocorre na natureza como magnesita (MgCO_3), dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) e como sulfato de magnésio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), facilmente solúvel em água. Em silicatos, o magnésio ocorre mais frequente em serpentina ($\text{Mg}_6(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$) e olivina ($(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$) (CUSTÓDIO, 1965).

A alcalinidade é uma das determinações mais importantes no controle da água, estando relacionada com a coagulação, redução da dureza e prevenção da corrosão nas canalizações de ferro fundido da rede de distribuição. Os altos níveis de alcalinidade indicam a presença de efluentes industriais fortemente alcalinos. Em águas poluídas em estado anaeróbico, pode haver formação de sais de ácido acético, ácido propiônico e sulfeto de hidrogênio (H_2S) (PINA, 2012).

As fontes de alcalinidade nas águas naturais são o dióxido de carbono (CO_2) dissolvido, proveniente da atmosfera, processos de decomposição de material orgânico, e interação CO_2 com calcário (CaCO_3) e dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$).

A maioria dos íons bicarbonatos (HCO_3^-) e carbonatos (CO_3^{2-}) em águas subterrâneas são derivados do CO_2 na atmosfera e no solo, e de soluções de rochas carbonatadas. Águas bicarbonatadas sódicas podem ser concentradas nos solos produzidos por evaporação; na presença de alta concentração de cálcio, o bicarbonato é retirado da água através da precipitação de CaCO_3 . Existe forte relação entre o pH da água e a concentração do gás carbônico, dos bicarbonatos e dos carbonatos ($\text{pH} < 8,3$, ausência de CO_3^{2-}). Outra relação existente é com a dureza total (NETO, 1966 *apud* PINA, *op. cit.*).

Segundo Logan (1965), o carbonato somente excederá o bicarbonato quando o pH for igual ou superior a 10; em águas naturais doces, a quantidade de carbonato será muito baixa em comparação com a de bicarbonato.

Cloreto é o ânion inorgânico mais frequente nas águas, sendo muito solúvel, estável em solução e de difícil precipitação, não sofrendo oxidação e nem redução em águas naturais. As altas concentrações de cloreto podem ser responsáveis pelo aumento gradativo de salinidade das águas subterrâneas e, conseqüentemente, pelo aumento de STD. As origens desse elemento podem estar vinculadas à influência das águas marinhas sobre as continentais,

particularmente localizada em zona litorânea, ou à captação das águas subterrâneas no meio cristalino (CAVALCANTE, 1998).

O sódio é um dos metais alcalinos mais importantes e abundantes nas águas subterrâneas, estando presente em todas elas, com predomínio de algumas características, como ampla distribuição nos minerais, baixa estabilidade química dos minerais que o contêm e alta solubilidade, e difícil precipitação da maioria dos seus compostos químicos em solução. Nas águas subterrâneas, a concentração de sódio varia entre 0,1 e 100 mg/L, havendo enriquecimento gradativo deste elemento a partir das zonas de recarga (CUSTÓDIO, 1965).

O potássio é um dos alcalinos que ocorre em pequenas quantidades ou está ausente nas águas subterrâneas devido à sua participação intensa em processos de troca iônica, além da facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila ou, ainda, pelos vegetais.

O sulfato ocorre em sais moderadamente solúveis a muito solúveis, exceto os sulfatos de estrôncio (SrSO_4) e os de bário (BaSO_4). Em água doce, o sulfato de cálcio (CaSO_4) satura a 1.500 mg/L e pode chegar até 7.200 mg/L em águas salinas. Em meio redutor, com abundante matéria orgânica pode sofrer uma redução bacteriana a S ou S^{-2} , porém, em geral, é estável. Origina-se da oxidação do enxofre presente nas rochas e da lixiviação de compostos sulfatados (gipsita e anidrita) (CUSTÓDIO, 1965).

O Nitrogênio inorgânico pode existir no estado livre como gás, nitrito, nitrato e amônia. Com exceção de algumas ocorrências como sais evaporíticos, o nitrogênio e seus compostos não são encontrados nas rochas da crosta terrestre. O nitrogênio é continuamente reciclado pelas plantas e animais. Nas águas subterrâneas, geralmente o nitrato ocorre em teores abaixo de 5 mg/L. Nitritos e amônia são ausentes, pois são rapidamente convertidos a nitratos pelas bactérias. Pequeno teor de nitrito e amônia é sinal de poluição orgânica recente dos efluentes domésticos (BOWER, 1978 *apud* SANTOS, 2008). Segundo a Portaria N° 2914 do Ministério da Saúde de 12/12/2011, uma água potável não deve ter mais do que 10 mg/L de N-NO_3^- .

O nitrato é muito solúvel e dificilmente precipita. Em meios redutores, tem a tendência de ser estável, podendo passar a N_2 (nitrito) ou NH_4^+ (amônia) e muito raramente para NO_3^- em meio oxidante. É muito móvel, podendo ser removido das camadas superiores do solo para a água (BOWER, 1978 *apud* SANTOS, 2008). Ocorre em geral em pequenas concentrações, representando o estágio final da oxidação da matéria orgânica proveniente de resíduos da atividade humana (esgotos sanitários, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados, resíduos de animais, etc.). Os resíduos de produtos protéicos provenientes de esgotos, fezes etc., são ricos em nitrogênio e se decompõem em nitratos na

presença de oxigênio, de acordo com o ciclo do nitrogênio (nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato).

A oxidação do amoníaco (NH_3) para nitrito (NO_2^-) ocorre com a participação de bactérias do grupo nitrosomonas. A oxidação do nitrito (NO_2^-) para nitrato (NO_3^-) requer a participação de bactérias autótrofas do grupo nitrobactérias. A presença de nitrito (NO_2^-) na água subterrânea é um indicativo de poluição recente.

É possível avaliar o grau e a distância a uma fonte de poluição através das concentrações e das formas dos compostos nitrogenados presentes na água. Águas com predominância de nitrogênio orgânico e amoniacal são poluídas por descargas de esgotos próximos. Águas com concentrações de nitrato predominantes sobre nitrito e amônia indicam uma poluição remota, porque os íons nitratos são produtos finais de oxidação do nitrogênio (SANTIAGO, 2007).

O silício (Si), embora seja o elemento mais largamente encontrado nas rochas, não ocorre em quantidade significativa nas águas subterrâneas; aparece, frequentemente, sob a forma de partículas coloidais (SiO_4H_4) devido, principalmente, a sua alta estabilidade química na maioria dos minerais, além da baixa solubilidade dos compostos que forma a partir do intemperismo das rochas. A combinação do oxigênio com o silício forma o óxido chamado sílica (SiO_2).

b) Relações iônicas das águas subterrâneas

As razões iônicas são relações entre os íons dissolvidos na água que podem indicar o grau de relacionamento da água com o tipo de material percolado.

As informações sobre a tipologia química da água junto às relações iônicas (meq/L) têm sido usadas para confirmar a análise química e auxiliar na dedução da rocha original. As reações químicas podem também ser deduzidas quando os dados são representativos de aquíferos homogêneos, com composição mineralógica conhecida (MESTRINHO, 2008).

Custódio e Llamas (1983) consideram que as razões iônicas mais importantes em estudos hidrogeoquímicos são, $r\text{Mg}^{+2}/r\text{Ca}^{+2}$ e $r\text{K}^+/r\text{Na}^+$, onde $r = \text{meq/L}$.

Com a razão $r\text{Mg}^{+2}/r\text{Ca}^{+2}$ em águas continentais, em geral, apresenta valores que variam de 0,3 a 1,5 meq/L. Quando são próximos de 1,0, há influência de terrenos dolomíticos, e quando são superiores a 1,0, podem indicar a associação de silicatos magnesianos, como a mineralogia dos basaltos. Quando ocorre a precipitação de carbonato de

cálcio, há um aumento na razão iônica e o inverso ocorre em caso de dissolução da calcita (BARISON, 2003).

Na razão rK^+/rNa^+ , tem-se a fixação preferencial de K^+ no terreno, ela é menor na água que na rocha mãe e é tanto menor quanto mais concentrada em sais é a água. Se existem aportes artificiais de K^+ , pode ocorrer diminuição no sentido do fluxo (CUSTÓDIO, 1965).

A relação $rCl^-/rHCO_3^-$ varia de 0,01 a 0,397; faixa geralmente encontrada nas águas continentais (CUSTÓDIO, 1965). Como o conteúdo em HCO_3^- é relativamente constante nas águas subterrâneas, essa razão presta-se para mapear o processo de concentração de sais no sentido do fluxo subterrâneo; ainda que o processo faça crescer ligeiramente o denominador, um aumento na razão $rCl^-/rHCO_3^-$ indica um avanço no processo de concentração. Se existem fenômenos de redução de sulfatos ou aportes exteriores de CO_2 , pode haver aumento de HCO_3^- e, neste caso, não convém utilizar esta razão (SANTOS 2008).

Segundo Szikszay (1993), quanto mais lenta a circulação, trajeto longo, tempo de contato grande e grande contato água/rocha, maior será a possibilidade de dissolução. Geralmente, a razão rSO_4/rCl^- diminui de montante a jusante, e a velocidade de dissolução é maior para Cl^- que para SO_4^{2-} ; porém, em terreno rico em SO_4^{2-} , a razão aumentará; rMg/rCa aumenta de montante para jusante. A solubilização de $MgSO_4$ e de $MgCl_2$ é mais rápida que de $CaSO_4$ e de $CaCO_3$, tornando a água saturada nesses sais.

Qualidade das águas

As características que definem o modelo de água destinada ao abastecimento humano, representadas pelos padrões de potabilidade, compreendem critérios essenciais (proteção contra a contaminação por microrganismos patogênicos e contra a poluição por substâncias tóxicas ou venenosas) e critérios complementares (cor, sabor, odor, turbidez, dureza, corrosividade etc.) (SANTOS, 2008). A água pode transmitir doenças de forma indireta através dos organismos indicadores de contaminações fecais pertencentes principalmente ao grupo dos coliformes. Para avaliar a contaminação por dejetos humanos e de outros animais de sangue quente, a avaliação da qualidade de uma água é feita através da análise de bactérias do grupo coliformes, sobretudo os Coliformes Termotolerantes, que são um subgrupo de bactérias tendo como principal representante a *Escherichia Coli*, de origem exclusivamente fecal, sendo considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos.

O grupo dos Coliformes Fecais merece consideração como indicador de contaminação por essas bactérias estarem sempre presentes no trato intestinal do homem e de outros animais homeotérmicos, sendo eliminadas, em grande quantidade, com as fezes. A água considerada própria para o consumo humano não deve conter essas bactérias e a sua presença constitui uma indicação segura de que a água foi contaminada recentemente por excrementos, com grande possibilidade de também conter microrganismos transmissores de doenças, tais como: febre tifóide, diarreia, gastroenterite aguda, cólera e paralisia infantil, dentre outras (QUESADO JÚNIOR, 2001).

A ausência dos coliformes em águas de abastecimento (principalmente coliformes fecais) significa uma garantia sanitária de segurança microbiológica em termos de saúde pública. Os coliformes são indicadores de contaminação fecal recente, pois os mesmos não se reproduzem em águas poluídas (SOUZA, 2002).

5.4. Fontes Potenciais de Poluição

As águas subterrâneas, por estarem mais protegidas devido à profundidade em que se encontram, são menos vulneráveis à poluição do que as superficiais; quando a água subterrânea é contaminada, a sua recuperação pode levar muitos anos dependendo do tipo de contaminante e, até mesmo, tornar-se economicamente inviável. As características naturais das águas podem ser modificadas por degradação em função de diversos fatores; atualmente os mais comuns são relacionadas a má construção de poços, cemitérios, disposição de resíduos (lixões, aterros), tanques de armazenamento (postos de serviço), águas superficiais poluídas, ausência de saneamento básico e agricultura.

a) Construção de Poços

Um poço tubular pode ser definido como sendo “*Uma obra que envolve o conhecimento hidrogeológico, de engenharia civil e sanitária, executada segundo um projeto técnico que proporcione a otimização da relação custo/benefício, objetivando a captação de água subterrânea e com vida útil previamente definida*” (CAVALCANTE; GOMES, 2011).

A interligação de águas exploradas de zonas superficiais com águas de zonas mais profundas, pela má construção de poços, pode constituir um meio direto de poluição de águas subterrâneas e, conseqüentemente, dos aquíferos. Não é comum uma vistoria durante o

processo de locação e construção de poços, existindo diversos erros que ocasionam risco para os recursos hídricos subterrâneos (CAVALCANTE, 1998).

Em cada fase do projeto é necessário se observar os fatores, para que o poço não sirva como um condutor hidráulico de poluição; devem ser observados os aspectos seguintes (CAVALCANTE, 1998, p.108):

Locação - deve ser feita observando a proximidade de locais com alta probabilidade à poluição antrópica, como lixões, fossas, cemitérios, lagos e riachos contaminados.

Construção do poço - deve estar associada ao conhecimento da hidrogeologia local, das profundidades de níveis eventualmente poluídos, pois estes podem propiciar condutos diretos para que as cargas poluidoras atinjam as águas subterrâneas.

No momento da perfuração, é habitual a falta de preocupação com os aquíferos poluídos ou profundidades não recomendáveis e com a limpeza dos elementos envolvidos na perfuração (hastes, trépano, broca, bits etc.).

Complementação do poço - a colocação dos filtros e revestimentos deve ser feita de acordo com um projeto técnico, devendo ser realizada análise granulométrica das amostras clásticas para um correto dimensionamento da abertura das ranhuras do filtro e a escolha do diâmetro das partículas do pré-filtro. Deve-se evitar colocar filtro em profundidades onde o aquífero já esteja poluído; dependendo do local, nas áreas urbanas é aconselhável a não colocação de filtros nos primeiros 15 m. É necessário sempre que a boca do poço fique, pelo menos, a 0,5 metros acima da superfície do terreno. Erros durante a complementação são os mais frequentes; pois não é frequente o dimensionamento correto dos filtros, sendo comum observar nos perfis construtivos dos poços da área, a colocação de filtros em profundidades menores de 10 m e a construção de cacimbas que captam água de profundidades inferiores a 15 m.

Proteção sanitária - é a construção, normalmente, de uma laje sanitária com área mínima de 1 m² e espessura de 10 cm, concêntrica ao tubo de revestimento e com declividade para as bordas. Selo sanitário é o preenchimento do espaço anular entre a parede da perfuração e a coluna de revestimento, com espessura mínima de 75mm, com a finalidade de preservar a qualidade das águas subterrâneas e de as proteger contra contaminantes e infiltrações de superfície. Depende da hidrogeologia local, sendo aconselhável uma profundidade mínima de 12 m, de acordo com a norma NBR n°.12.212 de 30/04/2006 da ABNT.

b) Cemitérios

Dentre os impactos causados pela instalação inadequada de cemitérios destacam-se os impactos químicos, dentre os quais o mais importante é o risco de contaminação das águas subterrâneas por microorganismos que se proliferam durante o processo de decomposição dos corpos.

Pesquisas desenvolvidas revelam o comprometimento qualitativo das águas subterrâneas por bactérias provenientes do líquido gerado pela decomposição dos corpos que em decomposição, no período humoroso, cuja duração varia de seis a oito meses a depender das condições geológicas, liberam de forma intermitente um líquido que, dentre as substâncias que o compõe, estão presentes duas diamíνας muito tóxicas: a putrecina (1,4 Butadiamina) e a cadaverina (1,5 Pentanodiamina), dois potentes venenos (MAIA, 2008).

c) Disposição de Resíduos Sólidos

A disposição de resíduos, de origem doméstica ou industrial, tem sido causadora de inúmeros incidentes de contaminação das águas em nosso país, resultante do desenvolvimento populacional desordenado nas diversas cidade. Os mais sérios riscos ocorrem quando o empreendimento é praticado sem controle e onde a disposição de resíduos sólidos e, principalmente, líquidos perigosos é feita em locais não apropriados, em áreas geologicamente vulneráveis.

Em Fortaleza, estado do Ceará, Sbadia (2001) relatou uma problemática quanto a destinação final dos resíduos sólidos. Dependendo da forma como eles são depositados, recebem a definição de Aterro sanitário (disposição de resíduos sólidos dentro de normas técnicas estabelecidas) e Lixão (disposição de resíduos sólidos sem que ocorra qualquer controle dos mesmos em determinada área).

No município de Fortaleza foram instalados cinco lixões nas ultimas cinco décadas sendo eles: Lixão do João Lopes, no bairro Monte Castelo, o primeiro da capital (1956 a 1960); Lixão da Barra do Ceará, onde surgiram os primeiros catadores vindos do interior, devido ao êxodo rural (1961 a 1965); Lixão do Buraco da Gia, no bairro Antônio Bezerra (1966 a 1967); Lixão do Henrique Jorge, com o primeiro coletor compactador do Estado (1968 a 1977) e, por último, o Lixão (antigo aterro) do Jangurussu, nas margens do Rio Cocó (1978 à 1998), uma das principais drenagens de Fortaleza e que deságua na praia de Caça e Pesca.

d) Tanques de armazenamento de combustíveis (Postos de serviço)

Os hidrocarbonetos formados somente por carbono e hidrogênio são considerados os compostos orgânicos mais simples da química orgânica. O carbono é um átomo tetravalente capaz de se ligar a outros átomos em diversos arranjos, o que possibilita a formação de uma extensa variedade de substâncias com características diversas; pode formar cadeias retas, ramificadas, cíclicas e aromáticas, ou uma combinação delas, com vários tamanhos. Em geral, os hidrocarbonetos são pouco reativos, pouco corrosivos e muito pouco solúveis em água, a ligação entre eles e sua disposição espacial dão origem a diferentes grupos de hidrocarbonetos, cada grupo sendo formado por substâncias que apresentam características físico-químicas similares, embora a magnitude dessas características possa variar consideravelmente (FONSECA, 1992 *apud* PEDROSA, 2004).

Os postos de combustíveis, de modo geral, representam uma fonte potencial de contaminação para as águas subterrâneas em decorrência de vazamentos acidentais na manipulação e/ou em decorrência de vazamentos de tanques subterrâneos.

Os compostos benzeno, tolueno e etil-benzeno são bastante conhecidos como prejudiciais a saúde humana, estando relacionados a vazamento de gasolina, óleo diesel e querosene.

e) Águas Superficiais Poluídas

A poluição de águas superficiais tem como fontes principais os efluentes domésticos, industriais e águas de termelétricas, consideradas fontes pontuais. As fontes lineares são as águas de chuva com respectivos escoamentos urbanos, materiais em suspensão e drenagens de áreas agrícolas.

Os principais parâmetros que definem a qualidade das águas superficiais dependem do clima, vegetação circundante, litótipos da região, do ecossistema aquático e da ação antrópica; por isto, tem-se de manter padrões para potabilidade, para poluição de águas de superfície e de águas subterrâneas incluindo salinização das mesmas. No Brasil, os padrões de qualidade são definidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que observam os padrões da Organização Mundial de Saúde (OMS). Os principais parâmetros definidores da qualidade das águas são: coliformes fecais, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Teste de Carbono Orgânico Total, Sólidos Sedimentáveis, Turbidez, pH, Alcalinidade e Acidez, Eh, Oxigênio Dissolvido, óleos e graxas e produtividade da água.

f) Saneamento Básico

Os despejos são compostos de materiais rejeitados ou eliminados devido à atividade normal de uma comunidade. O sistema de esgotos existe para afastar a possibilidade de contato de despejos, esgoto e dejetos humanos com a população, águas de abastecimento e alimentos; ajuda a reduzir despesas com o tratamento, tanto da água de abastecimento quanto das doenças provocadas pelo contato humano com os dejetos, além de controlar a poluição das águas superficiais e subterrâneas.

O esgoto (também chamado de “águas servidas”) pode ser de vários tipos: sanitário (água usada para fins higiênicos e industriais), séptico (em fase de putrefação), pluvial (águas pluviais), combinado (sanitário + pluvial), cru (sem tratamento) e fresco (recente, ainda com oxigênio livre).

A contribuição domiciliar para o esgoto está diretamente relacionada com o consumo de água; a diferença entre água e esgoto é a quantidade de microorganismos no último, que é muito maior. O esgoto não precisa ser tratado, depende das condições locais, desde que estas permitam a oxidação; quando isso não é possível, ele é tratado em uma Estação de Tratamento de Água Residual (ETAR) ou em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

O saneamento é de responsabilidade do município; no entanto, em virtude dos custos envolvidos, algumas das principais obras sempre foram administradas por órgãos estaduais ou federais e, quase sempre, são restritas a soluções para o problema das enchentes.

O diálogo sobre as políticas de recursos e de saneamento ambiental apresenta elevado potencial de integração em razão da estreita relação entre elas. É notória a necessidade do gerenciamento participativo e descentralizado com vistas a garantir os usos múltiplos dos recursos hídricos com prioridade ao consumo humano e a necessidade de universalização do acesso aos serviços de infraestrutura sanitária, controle social e a transparência na gestão (SILVA, 2012, p. 1).

g) Agricultura

A agricultura pode contaminar a água subterrânea através de solutos dissolvidos por chuva ou irrigação, fertilizantes minerais ou naturais, sais, herbicidas e pesticidas (MANOEL FILHO, 2008).

O uso de fertilizantes e pesticidas nas atividades agrícolas é responsável pela degradação da qualidade da água subterrânea em áreas de cultivo intenso, onde, os três principais nutrientes exigidos pelas culturas são: nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (P).

Dentre os fertilizantes, o principal contaminante é o nitrogênio (N) na forma de nitrato (NO_3^-) que move-se com a água subterrânea e pode atingir extensas áreas.

Atualmente não se tem trabalhos que qualifiquem e quantifiquem os poluentes que causem riscos de poluição das águas subterrâneas pelas práticas da agricultura na área. Sabe-se que, o que mais se cultiva no município de Fortaleza são as hortaliças, alface, coentro e cebolinha. Estas abastecem todo o município, exportando inclusive para a região Norte do país.

5.5. Uso e ocupação do solo

A crescente industrialização, os avanços tecnológicos e a explosão demográfica têm feito com que os parâmetros físicos, químicos e biológicos das águas subterrâneas sejam alterados, provocando poluição destas águas (ARAÚJO; SANTAELLA, 2001). Logo, não se pode abordar gestão das águas sem conhecer o uso e ocupação do meio físico.

O município de Fortaleza dispõe da Lei 7.987 de dezembro de 1996 (FORTALEZA, 2010), conhecida como a *Lei do Uso e Ocupação do Solo Urbano*, que foi atualizada em agosto de 2010. Essa Lei divide o município em três Macrozonas de planejamento: a Macrozona Urbanizada, atendida integralmente pela rede de abastecimento d'água e parcialmente pela rede de esgotos, onde se concentra a maior parte da população e possui boa infraestrutura urbana; a Macrozona Adensável, onde existem tendências a expansão das atividades urbanas e possui em parte serviço de esgoto e abastecimento de água, e; Macrozona de Transição, que não possui serviços urbanos de esgoto e abastecimento de água e constitui-se como espaço de reserva para expansão urbana (Lei N° 7.987/1996).

Além dessas divisões, a Lei N° 7.987/1996, em seu Art.4º, diz que para efeito da aplicação da legislação de parcelamento, de uso e ocupação do solo do município, o seu território foi dividido, também, em Microzonas de Densidade (subdivisões de uma macrozona) que são fundamentadas na distribuição das atividades e serviços, nas condições naturais do solo, infraestrutura básica, densidade populacional existente e projetada e, as Zonas Especiais identificadas por características do ambiente natural, cultural e econômico.

As subdivisões desta Microzona são: Áreas de Urbanizada Especial, Preservação, Proteção, Interesse Ambiental (Dunas), Orla Marítima, Faixa de Paria, Interesse Urbanístico, Institucionais, Urbanização Prioritária e Industriais. Ressalta-se que as Microzonas foram projetadas para dez anos (1996 – 2006).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são abordadas, a hidrogeologia, situação atual das obras de captação, a hidrogeoquímica e a qualidade das águas; o levantamento das fontes potenciais de poluição e do uso e ocupação do meio físico.

6.1. Hidrogeologia

No município de Fortaleza são encontrados 2 (dois) domínios hidrogeológicos: o Sedimentar (Constituído por Dunas, Barreiras e Aluvionar) e o Cristalino (Tabela 6.1.1 e Figura 6.1.1).

Na área a Hidrogeologia está descrita por aquífero através do conhecimento de entrada (recarga) e saída (exutório) e de dados hidrogeológicos.

Tabela 6.1.1 - Áreas dos aquíferos no município de Fortaleza – Ceará

| Aquífero | Área (km ²) | Porcentagem (%) |
|--------------|-------------------------|-----------------|
| Dunas | 99,40 | 31,58 |
| Barreiras | 121,40 | 38,56 |
| Aluvionar | 38,55 | 12,25 |
| Cristalino | 55,45 | 17,61 |
| Total | 314,80 | 100 |

6.1.1. Domínio Hidrogeológico Sedimentar

O Domínio Hidrogeológico Sedimentar corresponde aos sedimentos clásticos do meio sedimentar, estando o aquífero representado pela porosidade intergranular primária, com possibilidades hidrogeológicas variáveis e na dependência da litologia e espessura saturada. Esse domínio engloba três aquíferos: Dunas, Barreiras e Aluviões.

Aquífero Dunas

O conjunto de dunas foi considerado, para efeito de estudo, como um aquífero único que engloba Dunas e Paleodunas, em função das características litológicas e

hidrodinâmicas similares dos corpos dunares fixos e móveis, impossibilitando uma nítida distinção em nível regional (MORAIS, 2011). Ocorre bordejando a orla da área do município; localmente, observa-se que adentram ao continente na porção leste e oeste, mais precisamente na Praia do Futuro e Barra do Ceará.

As Dunas constituem, por sua natureza e expressão espacial, um importante sistema aquífero capaz de suprir, em parte, as necessidades de água. Elas são compostas por areias extremamente homogêneas, finas, com diâmetro efetivo de 0,15 a 0,25 mm e espessura entre 15 a 25 m. Por vezes, ocorrem leitos siltico-argilosos a argilosos, oriundos da própria variação da energia de deposição dos grãos. Geralmente se encontram sobrejacentes a Formação Barreiras (CAVALCANTE, 1998).

A recarga hídrica de todo esse pacote de sedimentos se dá por infiltração pluvial direta e, embora a precipitação média sobre a área aflorante seja considerável, parte desta água sofre facilmente os efeitos da evapotranspiração, já que o nível das mesmas neste sistema é subaflorante, especialmente nas zonas de menores cotas altimétricas. De acordo com CAVALCANTE (*op. cit.*), o nível estático regional é, em média, de 6 m e a vazão média obtida a partir de poços tubulares rasos (profundidade inferior a 20m) é de 6,0 m³/h.

Os exutórios naturais principais são as drenagens dos rios Cocó, Pacoti e Ceará, as lagoas interdunares, o mar e a evapotranspiração. Como exutório artificial tem-se os poços tubulares e as cacimbas que explotam o Aquífero Dunas.

Aquífero Barreiras

O Barreiras, no contexto regional, não é considerado 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. Porém, em Fortaleza, tem o caráter de aquífero, com grande variação de fácies, espessura entre 20,0 e 60,0 m e apresenta intercalações diferenciadas de leitos siltico-argilo-arenosos, que condicionam esta formação a ter diferentes parâmetros hidrodinâmicos (Permeabilidade, porosidade e transmissividade), tanto vertical quanto horizontalmente, com os níveis arenosos representando os principais em termos de vocação aquífera (CAVALCANTE, 1998).

Cavalcante (1998) encontrou, a partir de poços analisados da RMF, valores para o rebaixamento do nível d'água de 5,0 a 30,0 m, com mínimo de 1,2 m e máximo de 47,0 m. No município de Fortaleza esta tendência de distribuição pode ser confirmada, considerando 20,0 m como sendo o rebaixamento médio nos poços que captam o Aquífero Barreiras; nível estático na área ocorre com valores inferiores a 15,0 m.

A vazão atinge até 12,0 m³/h, com predominância nos bairros do Pici, Conjunto Palmeiras (porção sul), Pirambu e Álvaro Weyne (Porção noroeste).

Como exutórios naturais, as águas subterrâneas do Barreiras tem, de maneira geral, a rede de drenagem e as lagoas; e como artificiais são os poços tubulares.

Como exemplo, a partir do Banco de Dados do SIAGAS (2012), o poço (P111) localizado no setor norte da área (Joaquim Távora) capta o Sistema Aquífero Sedimentar Barreiras a uma profundidade de 18 m e espessura saturada no intervalo de 16 a 36 m (Figura 6.1.2).



P107 - Poço tubular do Colégio Salomé Bastos - Via Velha, Agosto/2010 (UTM: 9689713/546203)



P121 - Poço tubular da praça da baía São Gerardo, Agosto/2010 (UTM: 9588061/545541)



P125 - Chafariz do Polo de Lazer da Sargento Fiermino - São Gerardo, Agosto/2010 (UTM: 958933/545160)



P201 - Poço tubular do Igreja Nossa Senhora do Lourdes - Papica, Agosto/2010 (UTM: 958945/550483)

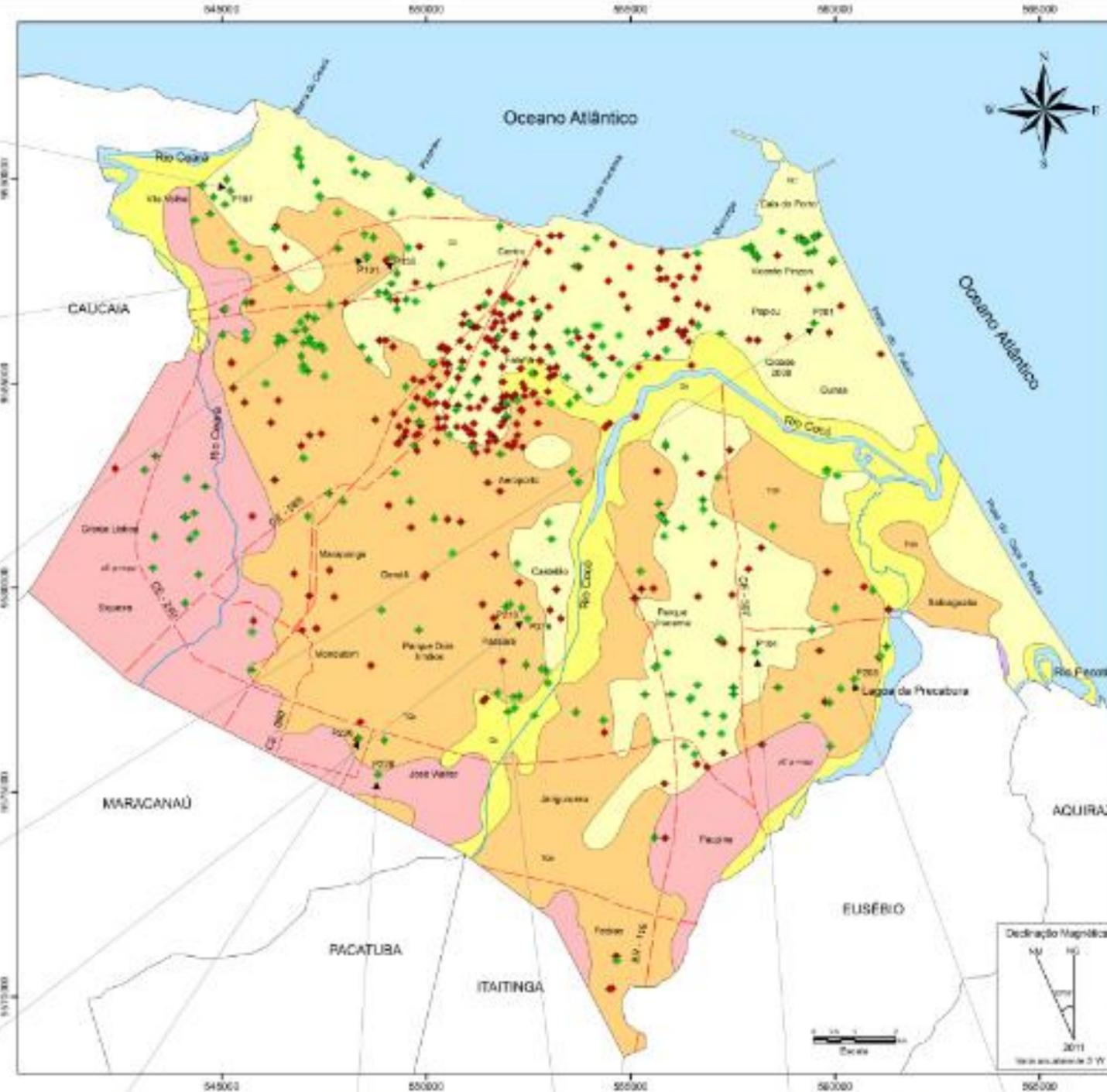


P218 - Poço tubular do RNB - Passará, Agosto/2010 (UTM: 9576342/553179)

Dados: 539 poços

Projeção de Coordenadas UTM Datum South American, 1955

Fonte: Base hidrogeológica elaborada a partir do Atlas geológico do Ceará - CPRM (2003).



P230 - Poço tubular do Sítio Ipumirim Menduim (Piedade Ayton Sorria), Agosto/2010 (UTM: 9676325/548339)



P228 - Poço Amazônico no Corpo de Bombeiros do Estado do Ceará - José Walter, Agosto/2010 (UTM: 967542/548626)



P218 - Poço tubular do RNB - Passará, Agosto/2010 (UTM: 967634/553165)



P164 - Poço manual (pedra) - Alagadinho Novo, Agosto/2010 (UTM: 9679433/558059)



P206 - Chafariz da Rua Jd. 215 - Lagoa Redonda, Agosto/2010 (UTM: 9677758/560476)

LEGENDA

COLUNA HIDRO-ESTRATIGRÁFICA

| Símbolo | Aquífero | Período | Características hidrogeológicas |
|---------|-------------------|-----------------------|---|
| | Aluvionar | Quaternário | Argila, silte, areia e cascalho, pequenas a médias espessuras, nível estático em torno de 2m e poços com profundidade máxima de 15m. |
| | Dunas | Quaternário | Areias quartzosas inconsolidadas de granulação fina a média, espessuras entre 15 a 25m, nível estático médio de 5m e vazão média de 0,2 a 0,5 m³/h. |
| | Bancadas | Terciário-quaternário | Níveis silício-argilo-arenosos, com espessuras entre 20 a 60m, nível estático regional médio inferior a 15m, profundidades dos poços entre 40 e 60m e vazões que variam de 1,2 a 3,0 m³/h. |
| | Cratão (Freatico) | Proterozoico inferior | Litolitos ígneos e meta-mórficos. Profundidade dos poços de 50 a 60m, vazões atingem até 60m, nível estático entre 0,7 a 1,5m e as vazões em torno de 2m³/h, com exceção dos poços localizados no Sul e Oeste da área, onde as vazões atingem até 12m³/h. |

CONVENÇÕES

- Poços com amostra de água para análise físico-química
- Poços inspecionados em campo
- Sistema Viário
- Rede de drenagem
- Rios

SECRETARIAS EXECUTIVAS REGIONAIS (SER) DE FORTALEZA - CE



REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA - CE



Universidade Federal do Ceará
 Centro de Ciências
 Departamento de Geografia
 Unidade de Pós-Graduação em Geografia (Geopost)

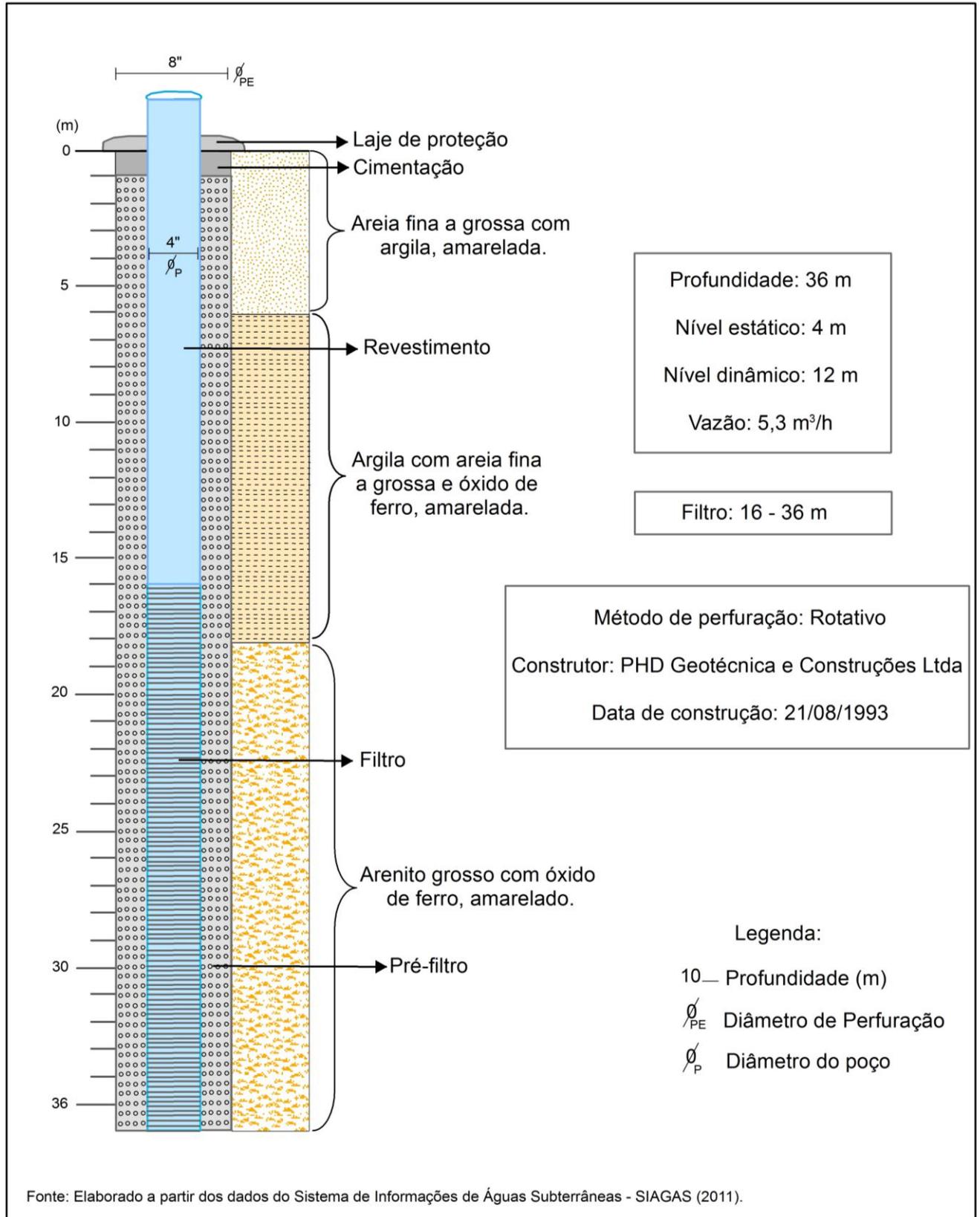
Tese: AVALIAÇÃO SITUACIONAL QUALITATIVA SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE FORTALEZA, CEARÁ - UFRAE, COMO SUBSÍDIO À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Figura 8.1 - Características hidrogeológicas e distribuição dos poços em Fortaleza, Ceará

Autora: Maira da Conceição Ramos Gomes
 Orientador: Prof. Dr. Sérgio Nazareno Cavalcante - 08561000400

LOCAL: FORTALEZA, CE DATA: FEVEREIRO 2011

Figura 6.1.2 - Perfil construtivo e litológico do poço tubular P111, localizado no bairro Joaquim Távora, Fortaleza - CE. Coord.: 9586270/553450.



Aquífero Aluvionar

As aluviões constituem aquíferos livres que ocorrem ao longo das margens 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 2,0 metros e profundidade moderada, onde a máxima é de 15,0 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 ocorre por infiltração das águas de chuvas e pela drenagem influente que, no período de estiagem, passam a funcionar como o exutório, além da evapotranspiração.

6.1.2. Domínio Hidrogeológico Cristalino (Fraturado)

Esse contexto engloba os litotipos ígneos e metamórficos; no município de Fortaleza o embasamento cristalino (Domínio Cristalino) não é aflorante.

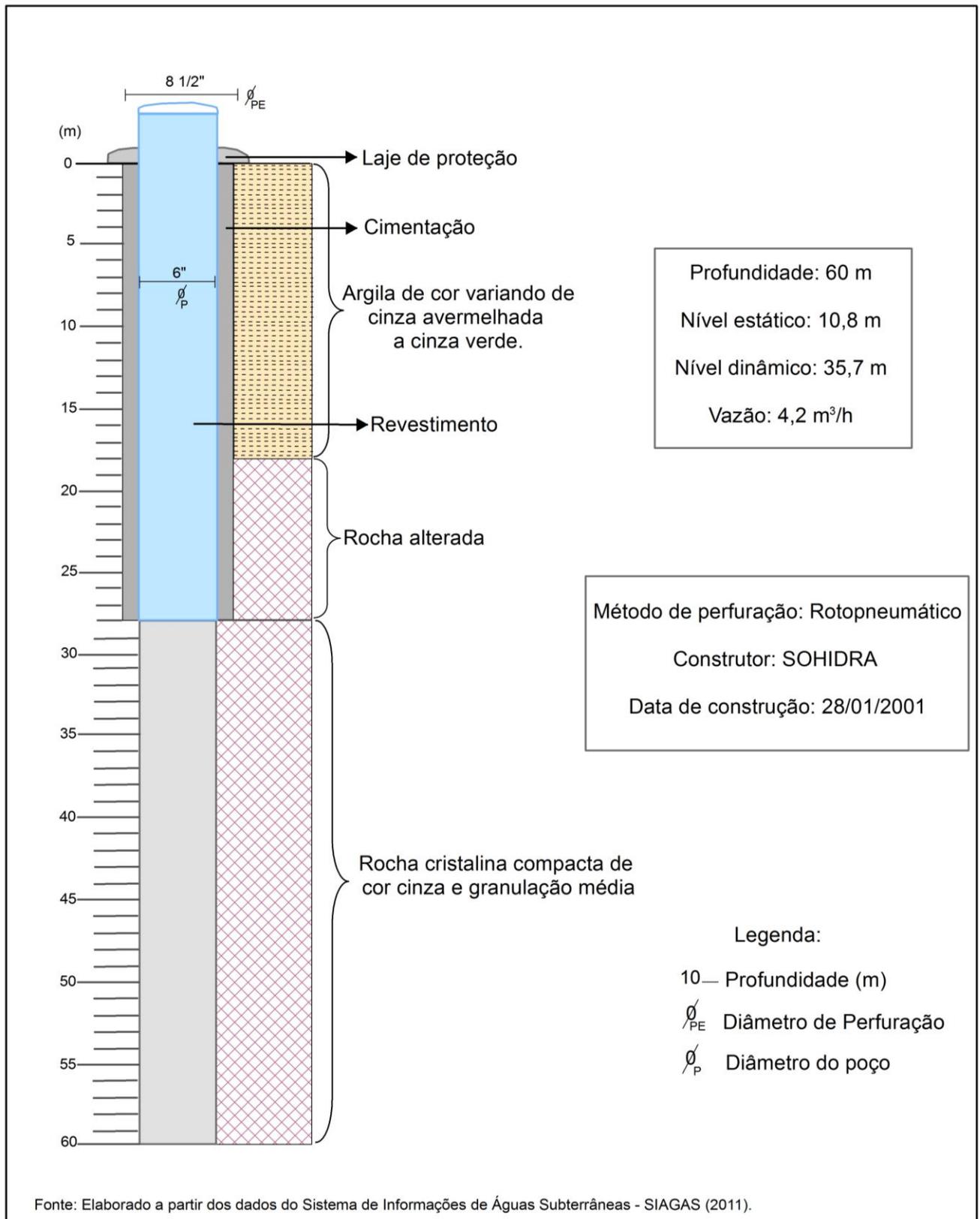
Cavalcante (1998) identificou que os poços no contexto Cristalino da RMF tem uma profundidade predominantemente de 50,0 a 60,0 m, podendo atingir até 80 m; o nível estático localiza-se entre 0,7 a 15,0 m e o rebaixamento entre 5,0 e 35,0 m, dependendo do tipo de equipamento usado para o teste de produção e do tempo de bombeamento, enquanto as vazões são em torno de 2 m³/h e a capacidade específica inferior a 1,00 [(m³/h)/m].

A análise de 101 fichas de poços construídos sob o acompanhamento da CPRM no Projeto Fortaleza (MORAIS, 1984), confirma esta tendência desse valor da vazão para Fortaleza, com exceção dos poços localizados nos bairros Conjunto Palmeiras (Sul) e Granja Portugal (Oeste), onde as vazões atingiram até 12 m³/h.

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

Como exemplo, a partir do SIAGAS (2012), o poço (P390), localizado no setor sul da área (Jangurussu), capta água do Aquífero Cristalino, atingindo a rocha alterada em 18m de profundidade e vazão de 4,2 m³/h (Figura 6.1.3).

Figura 6.1.3 - Perfil construtivo e litológico do poço tubular P390, localizado no bairro Jangurussu, Fortaleza - CE. Coord.: 9578206/551868.



6.2. Situação atual das obras de captação das águas subterrâneas

As formas de captação dos recursos hídricos subterrâneos são de fundamental importância na gestão da água.

No levantamento realizado pela GOLDER e PIVOT para a SRH/COGERH até maio de 2002, foram cadastrados 7.281 poços no município de Fortaleza (CEARÁ/SRH, 2002), sendo 6.519 particulares, 695 públicos e 67 sem informação. Destes 4.698 poços estão em uso, 1.514 desativados, 637 abandonados, 82 não instalados, 2 em construção e 348 sem informação (GOMES, 2008, p.48).

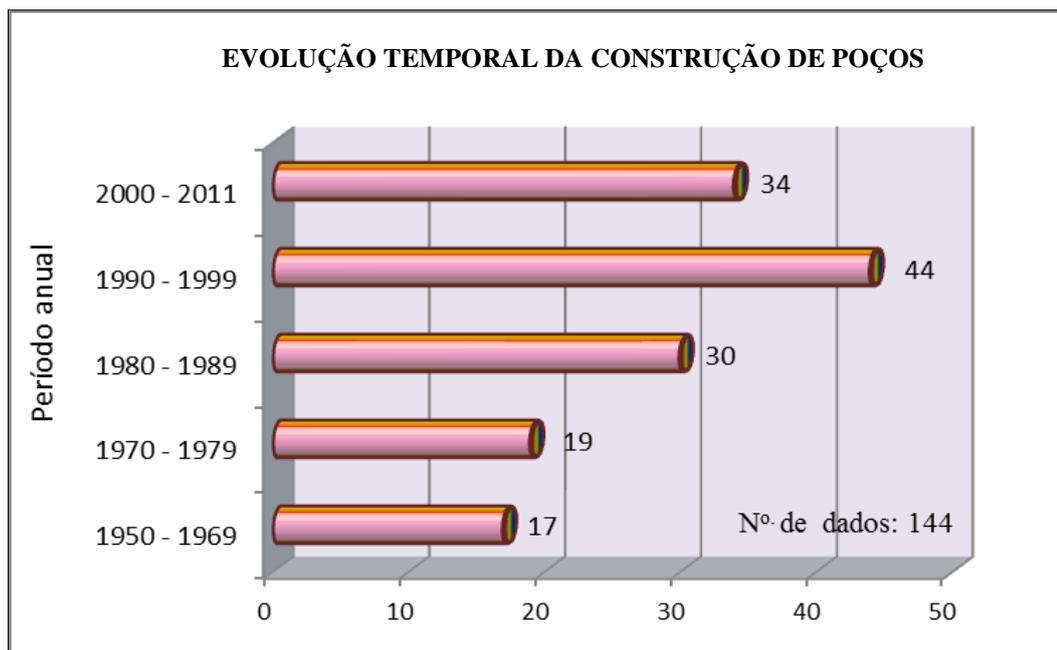
Neste trabalho foram estudados 539 poços atualizados da CEARÁ/SRH (2002), incluindo no conjunto, novos poços cadastrados *in situ* (Apêndice A) que representam 296 poços visitados, onde 250 (291 amostras) deles tiveram suas águas analisadas.

Nas últimas três décadas houve um forte crescimento na construção de poços como mostra a figura 6.2.1. Dos 144 poços construídos em 1950 a 2011, 108 (75%) são dos últimos 30 anos (Figura 6.2.1). Isto mostra a importância que a água subterrânea vem tendo para a população de Fortaleza, mas está associada à uma crescente deterioração qualitativa e/ou escassez das águas superficiais. Obras com mais de 30 anos de construção aparecem em pequeno percentual (25%), em relação àqueles posteriores a 1980, havendo, no entanto, um considerável número de poços (30%) sem informação sobre a data de construção.

A partir de 1980 começa a utilização de tubos de PVC geomecânico, minimizando riscos de ocorrência do íon ferro nas águas subterrâneas decorrentes de sua liberação a partir de tubos de ferro, outrora utilizados em poços.

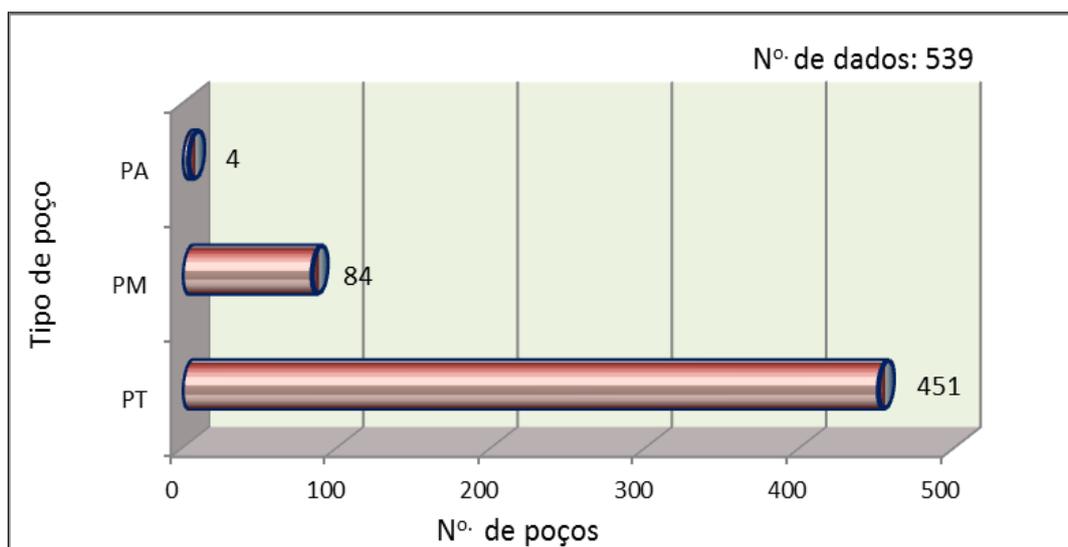
A Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) esteve em 1981 à beira de um colapso no abastecimento de água, em virtude do período de seca que iniciou em 1979, prolongando-se até 1983. Por falta de recarga hídrica decorrente da prolongada estiagem, a situação tornou-se calamitosa no segundo semestre de 1983;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

Figura 6.2.1 - Evolução da construção dos poços cadastrados em campo, Fortaleza - Ceará



Os dados sobre os tipos dos 539 poços mostram que 451 (84%) são poços tubulares, 84 (15%) são manuais (poços escavados) e 4 (1%) são amazonas (Figura 6.2.2).

Figura 6.2.2 - Tipos de poços cadastrados em campo, Fortaleza, Ceará



LEGENDA: PA – Poço Amazonas; PM – Poço Manual (Cacimba); PT – Poço tubular.

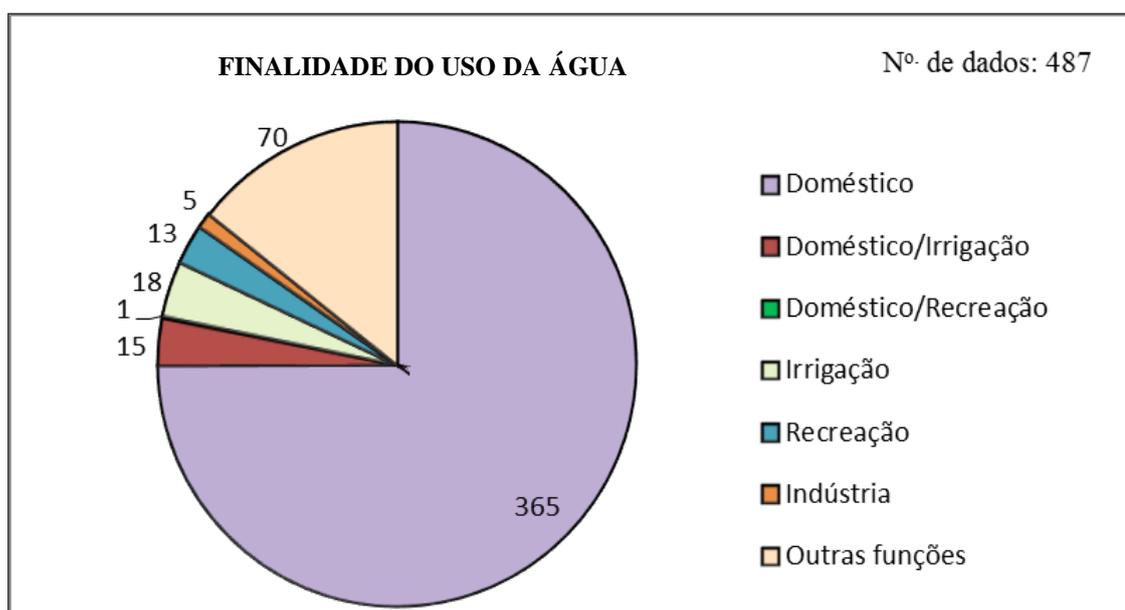
Levando em conta o caráter público e privado dos poços, 407 (76%) são privados e 129 (24%) são públicos; dos poços privados e públicos estão em uso 94% e 79%,

respectivamente. Observa-se no município uma predominância maior de poços particulares em uso (94%) do que poços públicos (80%) em uso, ou seja, mais de 50% dos poços em Fortaleza são de domínio privado, utilizados nas indústrias, hotelarias, hospitais e escolas.

A situação atual dos 539 poços cadastrados em campo é: 487 estão em uso, 44 desativados, 1 abandonado, 1 não instalado e 6 sem informações. Os poços em uso (ativos) são aqueles que funcionam regularmente. Os desativados (paralisados) estão sem funcionar por problemas de manutenção ou quebra de equipamentos. O não instalado é o poço que foi construído, mas não foi equipado com sistema de bombeamento e os abandonados são os poços obstruídos, entupidos com cimento, lixo ou soterrado, cuja recuperação é praticamente impossível.

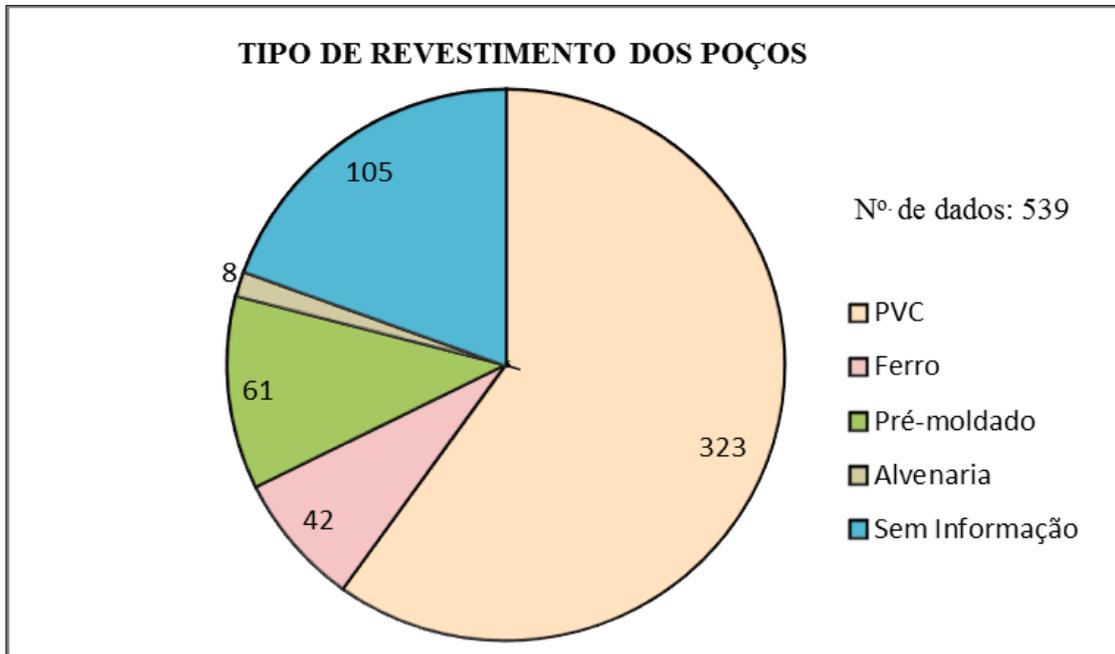
As águas dos poços em uso na área são exploradas para diversos fins; dos 487 em uso, 75% são para uso doméstico (Figura 6.2.3).

Figura 6.2.3 - Finalidade do uso da água subterrânea – Fortaleza, Ceará



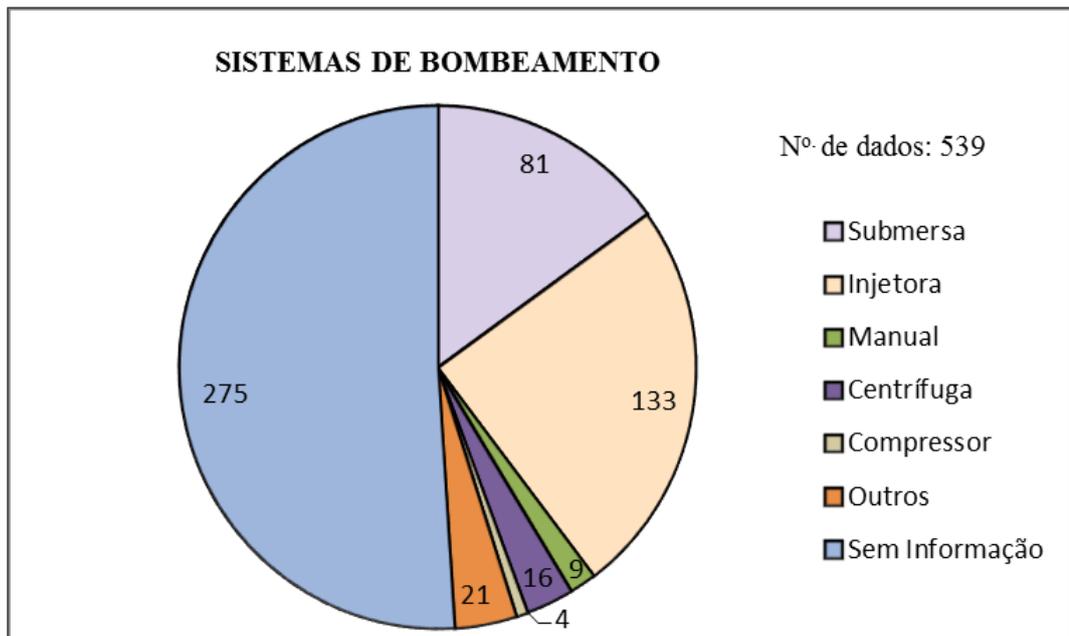
A Figura 6.2.4 apresenta os diferentes tipos de revestimento utilizados nos poços, mostrando que predomina o uso de PVC em 74% deles do conjunto de 434 poços. O revestimento de ferro era usado em poços tubulares profundos até a década de 60, hoje inteiramente substituído pelo PVC; o material pré-moldado e alvenaria são utilizados em poços manuais (cacimbas) e poços amazonas.

Figura 6.2.4 - Tipo de revestimento dos poços em Fortaleza, Ceará



Dos 539 poços cadastrados, 264 têm dados sobre tipo de sistema de bombeamento; observa-se na Figura 6.2.5, que predomina bombas injetoras (50%) e submersas (31%).

Figura 6.2.5 - Tipo de sistemas de bombeamento dos poços em Fortaleza, Ceará



Os poços com revestimentos de PVC são de dois tipos na área; PVC geomecânico, o mais apropriado para poços tubulares de acordo com as normas técnicas da ABNT e PVC branco (cano de esgoto). Como exemplo de poço tubular P201 com revestimento de PVC geomecânico, bomba submersa e profundidade de 80m, tem-se o poço localizado na Igreja Nossa Senhora de Lourdes (Papicu); suas águas utilizadas por 50 pessoas para uso doméstico (Figura 6.2.6). O poço P230 localizado no Sítio Ipaumirim, Mondubim (Planalto Ayrton Senna) é exemplo de poço tubular com revestimento de PVC branco (cano de esgoto); suas águas são para uso doméstico de 2 famílias constituídas de 14 pessoas (Figura 6.2.7).

O poço P227 localizado no Centro de Educação Infantil Vó Estefânia, no bairro José Walter (Figura 6.2.8), é um exemplo de poço manual (cacimba) com revestimento pré-moldado (Figura 6.2.9); suas águas são utilizadas para uso doméstico de 50 crianças, 80 idosos e 6 voluntários.

Figuras 6.2.6 e 6.2.7 - Poços tubulares com revestimento de PVC geomecânico (P201) e PVC branco (cano de esgoto) (P230), localizados nos bairros Papicu e Mondubim, respectivamente (Agosto/2010). Coord.: 9586468/559483 (P201) e 9576325/548339 (P230)



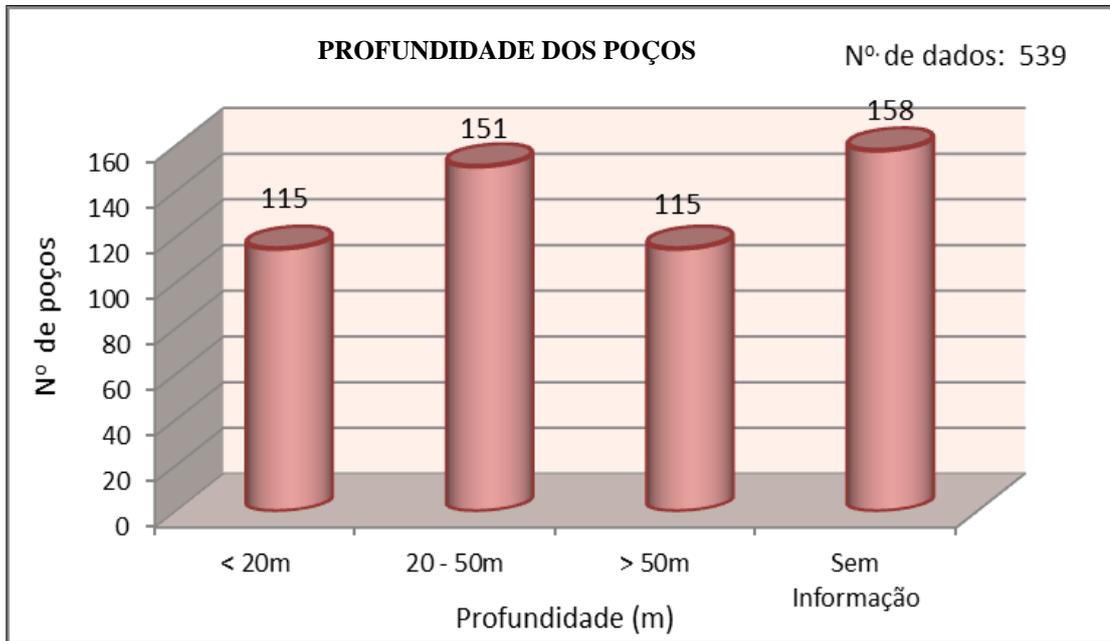
Figuras 6.2.8 e 6.2.9- Exemplo de poço manual (cacimba) com revestimento de pré-moldado (P227) localizado no bairro José Walter (Agosto/2010). Coord.: 9576269/548965

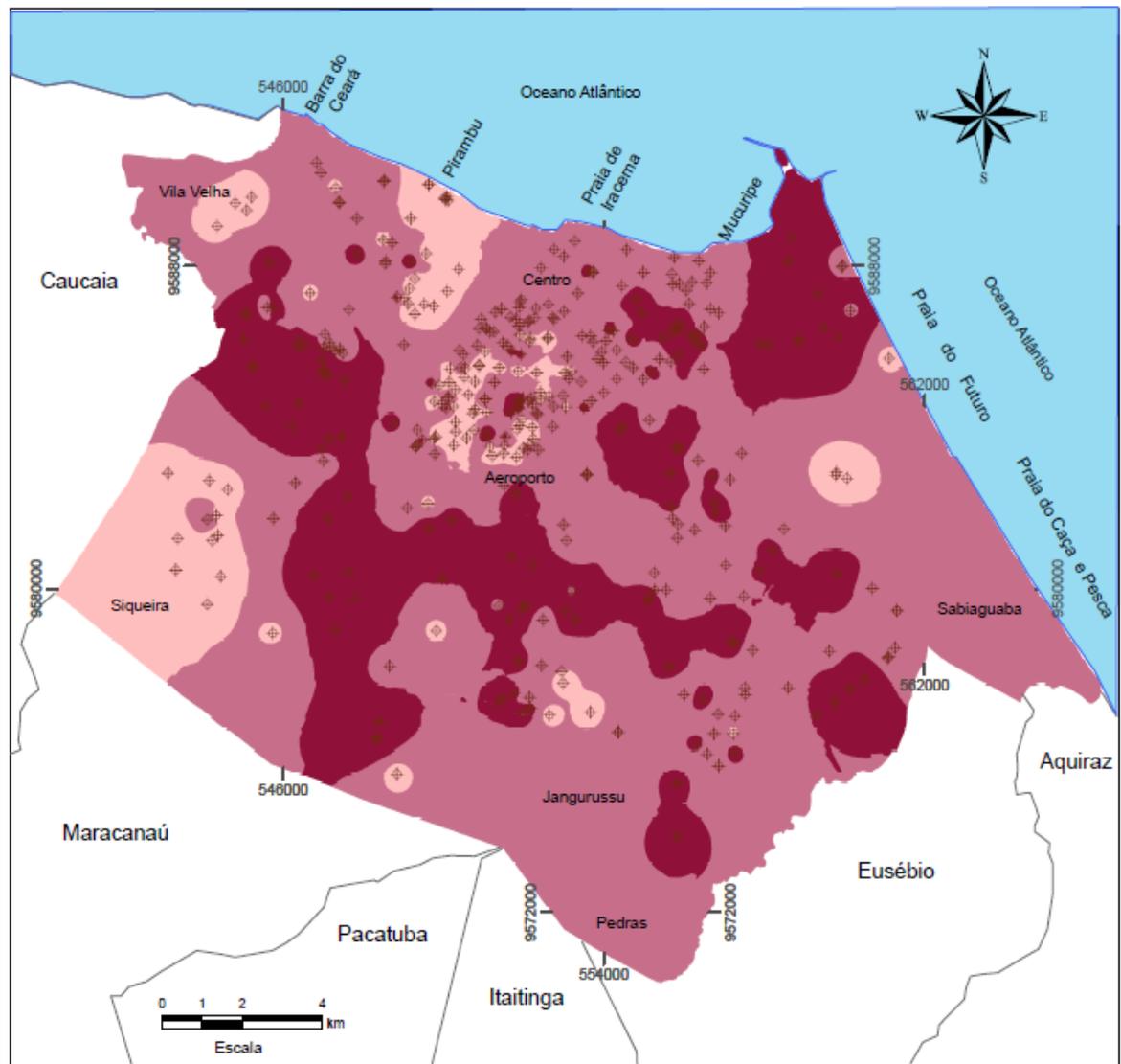


A profundidade do poço tubular nem sempre é diretamente proporcional à sua vazão; ou seja, aprofundar a perfuração para a construção de um poço tubular não significa, necessariamente, encontrar mais água em profundidade (CAVALCANTE; GOMES, 2011). Embora seja um parâmetro importante no dimensionamento para captação de água na unidade aquífera associada aos custos envolvidos. Dos 381 poços com dados de profundidade (Figuras 6.2.10 e 6.2.11), 266 têm profundidade inferior a 50 m, reflexo da presença de camadas sedimentares (Dunas e Barreiras) com espessuras geralmente inferiores a 50 m. Os poços tubulares construídos no meio cristalino na área têm em geral, profundidade de 60 m. Observa-se na Figura 6.2.11 que pontualmente, na parte central de Fortaleza, estão os 115 poços com profundidades superiores a 50 m, refletindo assim o aquífero Cristalino.

A profundidade média dos poços tubulares (PT) é de 45,2 m, com máximo de 140 m (profundo) e mínimo de 4 m (raso), enquanto a média dos poços manuais (PM) é 8,1 m, com máximo de 40 m e mínimo de 1,2 m; os poços amazonas (PA) têm profundidade de 4 a 10 metros.

Figura 6.2.10 – Profundidade dos poços, Fortaleza - Ceará





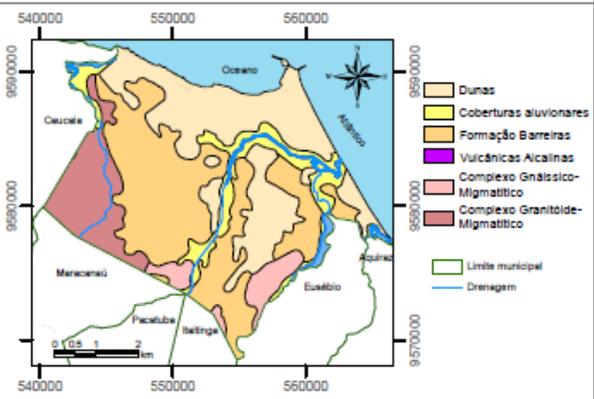
Nº de dados: 381 poços

LEGENDA

PROFUNDIDADE DOS POÇOS (m)

- < 20 (115 dados)
- 20 - 50 (151 dados)
- > 50 (115 dados)
- Poços

ESBOÇO LITOLÓGICO DE FORTALEZA - CE




 Universidade Federal do Ceará
 Centro de Ciências
 Departamento de Geologia
 Curso de Pós-Graduação em Geologia (Doutorado)

Figura 6.2.11 - Distribuição espacial da profundidade dos poços, Fortaleza - Ceará

Tese: ANÁLISE SITUACIONAL QUALITATIVA SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE FORTALEZA, CEARÁ - BRASIL COMO SUBSÍDIO À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Autora: Maria da Conceição Rabelo Gomes

Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante - DEGEO/CC/UFCE

Local: Fortaleza/CE

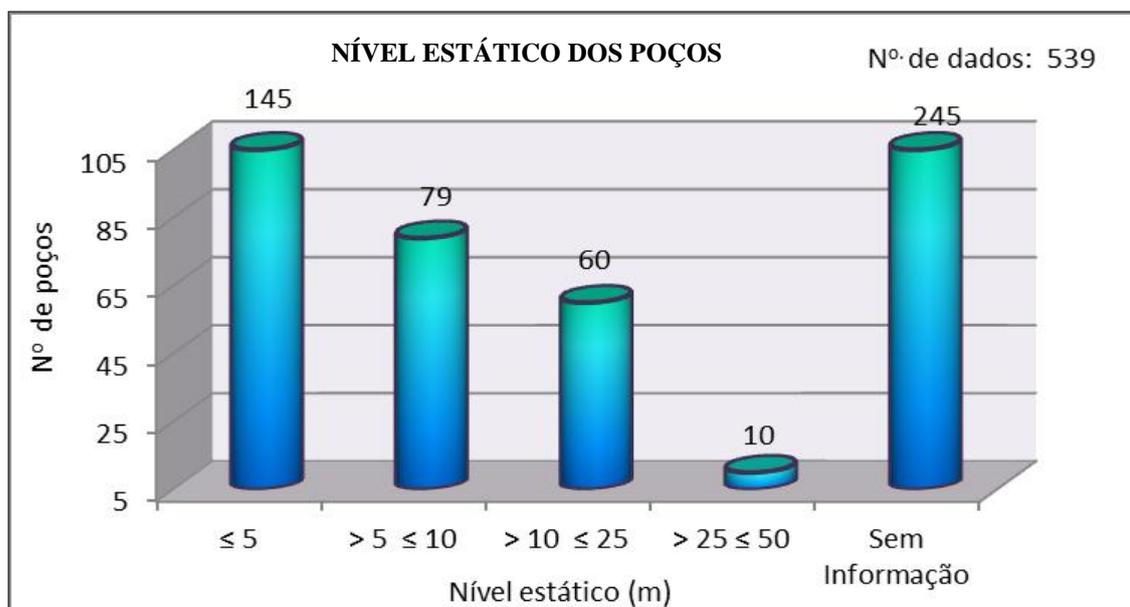
Data: Abril/2013

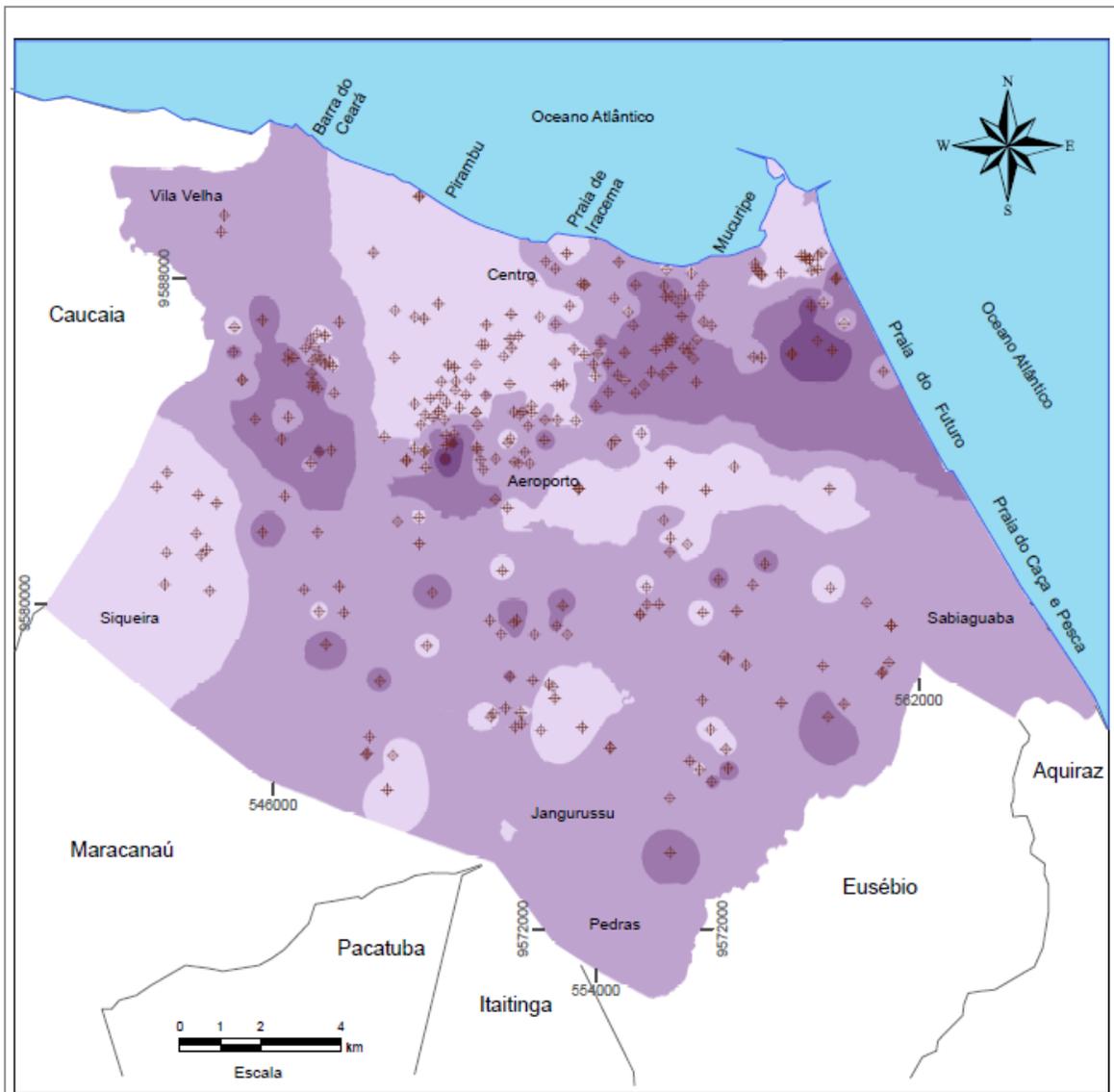
Os dados hidráulicos de poços, principalmente os relacionados ao nível estático, constituem uma série temporal e, portanto, a variável está associada a uma incerteza não-sistemática condicionada por outras variáveis hidrológicas (pluviometria e escoamento superficial), geológicas (fluxo subterrâneo e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

De acordo com Cavalcante e Gomes (2011), as águas subterrâneas não são fotogênicas e somente são visíveis no momento em que são captadas pelos poços, jorram dos poços artesianos (Jorranes) ou migram das diferentes e diversas fontes hídras naturais. A profundidade em que se encontram geralmente reflete seu nível estático natural, nível hidrostático ou nível d'água, e que pode ser raso (Freático) (profundidade do nível estático até 15 m), medianamente profundo (profundidade do nível estático entre 15 m e 30 m) ou profundo (profundidade do nível estático superior a 30m).

As Figuras 6.2.12 e 6.2.13 mostram que dos 294 poços com dados de nível estático na área, 224 (76%) têm profundidades inferiores ou iguais a 10 m (nível raso ou freático) e apenas 60 (24%) têm valores superiores 10 m. Geralmente, níveis estáticos inferiores a 10 m refletem o comportamento das águas nos Domínios Hidrogeológicos Dunas e Barreiras.

Figura 6.2.12 - Nível estático das águas subterrâneas – Fortaleza, Ceará





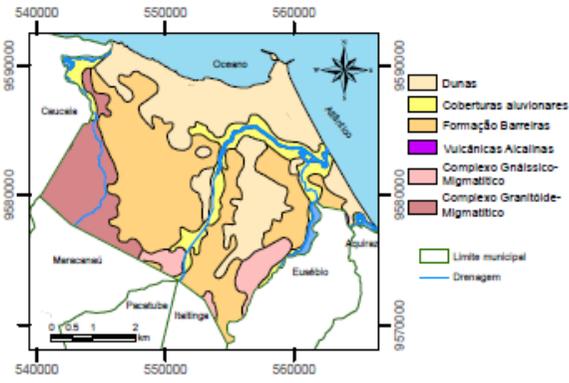
Nº de dados: 294 poços

LEGENDA

NÍVEL ESTÁTICO (m)

- < 5 (145 dados)
- 5 - 10 (79 dados)
- 10 - 25 (60 dados)
- 25 - 50 (8 dados)
- > 50 (2 dados)
- Poços

ESBOÇO LITOLÓGICO DE FORTALEZA - CE




 Universidade Federal do Ceará
 Centro de Ciências
 Departamento de Geologia
 Curso de Pós-Graduação em Geologia (Doutorado)

Figura 6.2.13 - Distribuição espacial do nível estático dos poços, Fortaleza - Ceará

Tese: ANÁLISE SITUACIONAL QUALITATIVA SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE FORTALEZA, CEARÁ - BRASIL COMO SUBSÍDIO À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Autora: Maria da Conceição Rabelo Gomes

Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante - DEGEO/CC/UFCE

Local: Fortaleza/CE

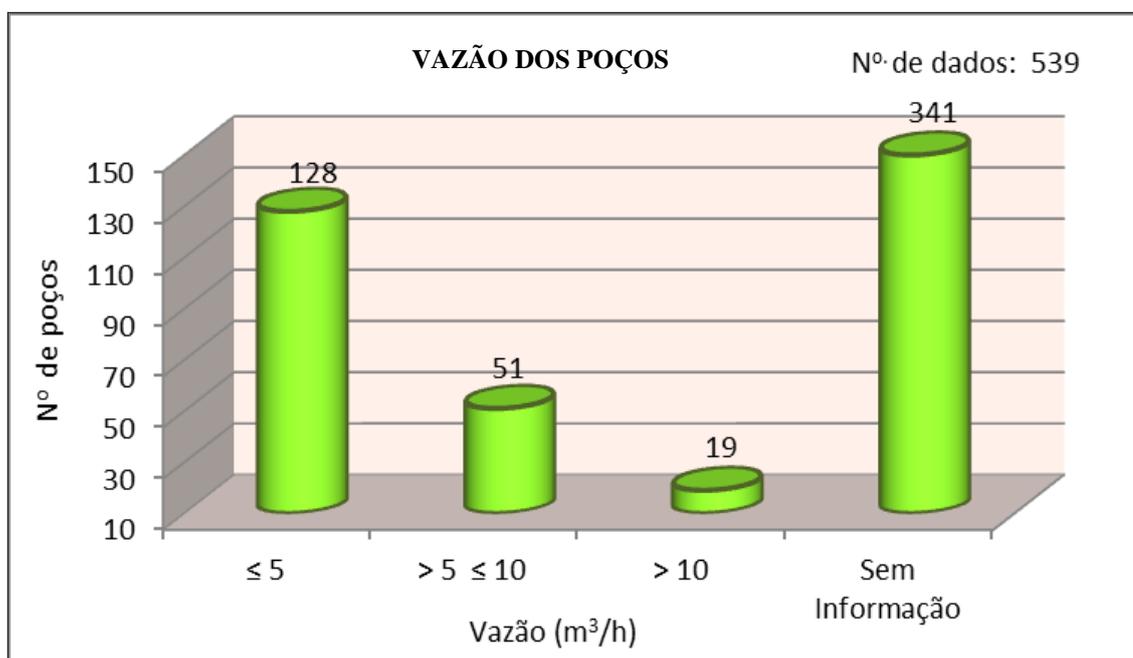
Data: Abril/2013

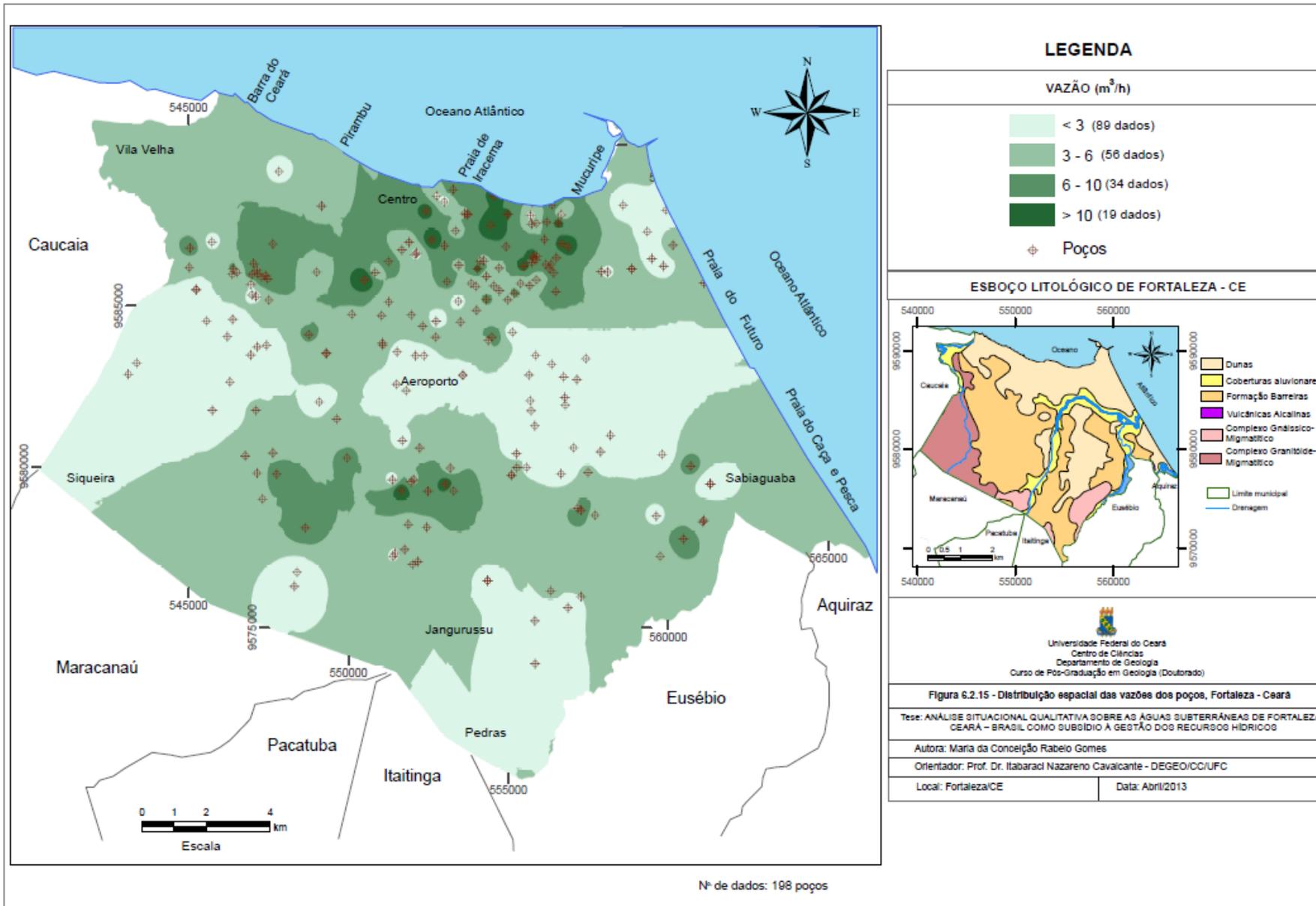
Dos 539 poços cadastrados em campo, 198 têm dados de vazão; 128 (65%) poços são iguais ou inferiores a 5,0 m³/h, em 51 (26%) iguais ou inferiores a 10 m³/h e em apenas 19 (9%) dos poços as vazões são superiores a 10 m³/h (Figuras 6.2.14 e 6.2.15).

As vazões de poços tubulares (PT) têm média de 4,7 m³/h, variando de 0,08 m³/h a 19,8 m³/h, enquanto as dos poços manuais (PM) variam de 1,1 e 1,2 m³/h; não existem dados de vazões dos poços amazonas, por não ser comum obtê-lo no ato da construção do poço. Vazões superiores a 5 m³/h estão distribuídos pontualmente na porção noroeste ao centro-leste da área, caracterizando o sistema aquífero sedimentar (Figura 6.2.15).

A vazão do poço depende das características hidrogeológicas e do projeto técnico-construtivo da obra (CAVALCANTE; GOMES, 2011). 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.

Figura 6.2.14 - Vazões dos poços em Fortaleza, Ceará





.3. Hidrogeoquímica

A água apresenta composição química relacionada a vários fatores, como solo, litologia, tempo de residência, clima etc. Portanto, dificilmente, a composição química por si só caracteriza a origem da água, além do que, não é propriedade conservativa da água; por exemplo, águas armazenadas em diferentes tipos litológicos, podem, quanto aos íons dominantes, serem iguais (GOMES, 2005).

6.3.1. Composição Físico-Química das Águas Subterrâneas

Aqui são abordados pH, Eh, Condutividade Elétrica (CE), Salinidade, Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Dureza, Alcalinidade Total, Bicarbonatos, Carbonatos, Cálcio, Magnésio, Cloreto, Sódio, Potássio, Sulfato, Ferro total e Nitrato nas águas subterrâneas de 250 poços (291 amostras).

6.3.1.1. pH

As 291 amostras de água subterrânea analisadas no município de Fortaleza (APÊNDICE C) são caracterizadas pela predominância do tipo ácida (81%); 74% (57 amostras) e 83% (234 amostras) na estação chuvosa e na de estiagem, respectivamente. A Tabela 6.3.1, mostra que o valor mínimo de pH é de 4,06 na estiagem e 4,50 na estação chuvosa. Considerando a estação chuvosa de janeiro a maio e a estiagem de junho a dezembro.

No caso das águas subterrâneas, a medida do pH, como variável ambiental, pode ser avaliada em função do pH das águas das chuvas, que efetivamente contribuem para a recarga dos aquíferos. Neste sentido, em áreas industrializadas e urbanizadas, o pH das águas de chuva varia frequentemente entre 3 e 4 (FREEZE; CHERRY, 1979 *apud* FERNANDES, 2005, p.16). Assim, as águas subterrâneas com valores de pH na faixa de 5 a 6 são águas recentes, oriundas provavelmente da infiltração das águas das chuvas.

Tabela 6.3.1 - Parâmetros estatísticos do pH de laboratório das águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011)

| Nº de amostras | Data da Coleta | Precipitação (mm) | Temperatura (°C) | Mínimo | Máximo |
|----------------|----------------|-------------------|------------------|-------------|-------------|
| 8 | Dezembro/2001 | 27,0 | 28,0 | 5,27 | 7,28 |
| 10 | Maio/2002 | 133,1 | 27,0 | 4,96 | 8,10 |
| 10 | Junho/2005 | 161,4 | 26,5 | 4,52 | 6,92 |
| 5 | Julho/2005 | 52,7 | 26,6 | 4,06 | 6,88 |
| 16 | Novembro/2005 | 8,0 | 27,9 | 5,91 | 8,13 |
| 9 | Janeiro/2006 | 55,4 | 27,9 | 4,50 | 6,90 |
| 15 | Maio/2007 | 181,6 | 27,5 | 5,69 | 7,70 |
| 29 | Novembro/2007 | 5,0 | 27,7 | 4,70 | 7,90 |
| 8 | Dezembro/2007 | 86,8 | 27,6 | 5,76 | 8,04 |
| 19 | Fevereiro/2008 | 75,3 | 27,8 | 4,70 | 7,89 |
| 4 | Março/2008 | 282,7 | 26,6 | 4,53 | 5,94 |
| 14 | Junho/2008 | 77,9 | 26,6 | 5,40 | 7,60 |
| 10 | Novembro/2008 | 9,0 | 27,8 | 4,22 | 7,54 |
| 14 | Junho/2009 | 236,8 | 26,4 | 5,60 | 7,38 |
| 100 | Agosto/2010 | 0,4 | 28,3 | 4,45 | 8,39 |
| 20 | Novembro/2011 | 12,6 | 27,9 | 5,73 | 7,9 |

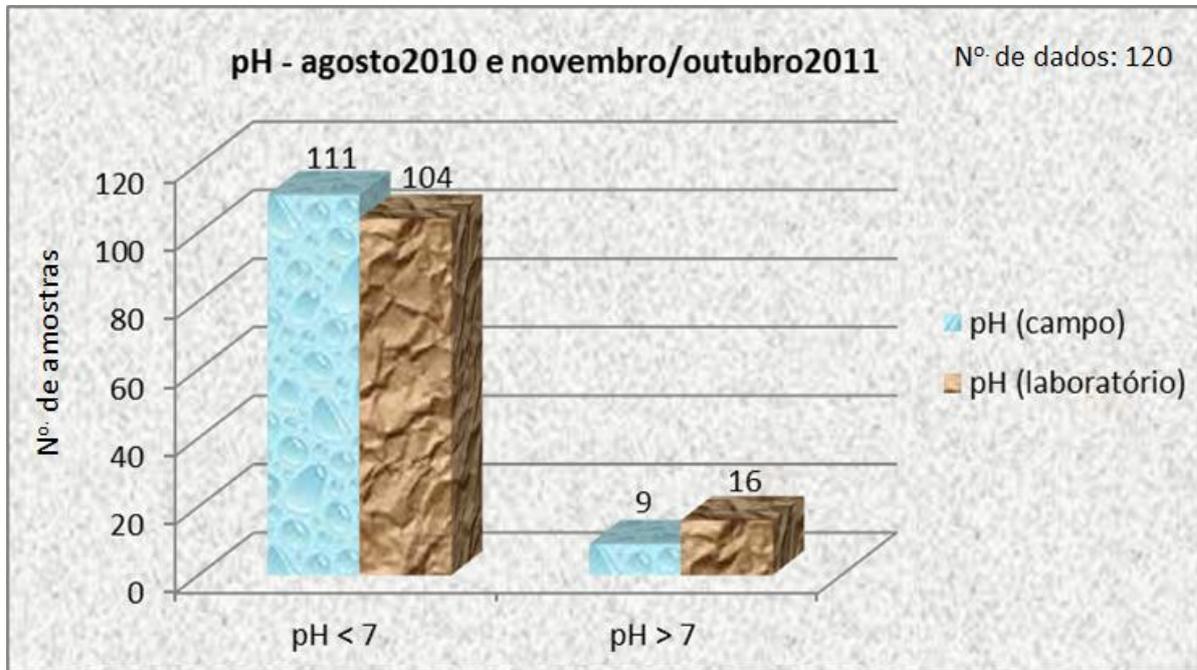
Nº de dados: 291 amostras.

A principal razão dos valores de pH da água serem inferiores a 6 é a quantidade significativa de minerais de argila; que dissolve e libera sílica e alumínio anormalmente alta para a água (HOUNSLOW, 1995). Valores mais elevados de pH geralmente se encontram em águas com predominância dos íons Na^+ e Ca^{++} ou em águas ricas em bicarbonatos; as águas poluídas geralmente são mais ácidas.

Além da alcalinidade, o pH é essencialmente uma função do gás carbônico dissolvido (CO_2) e dos ácidos orgânicos disponíveis nos solos que aumentam a acidez das águas subterrâneas e a capacidade de dissolver Fe e Mg.

Os valores de pH determinados em laboratórios são normalmente diferentes dos medidos em campo; por causa da fuga de gases, oxidações e/ou reduções e variações de temperaturas a que estão sujeitas as amostras de águas durante a sua coleta, armazenamento e transporte. Foram utilizadas 120 amostras para medida em laboratório e com medidas em campo. A Figura 6.3.1 mostra dados de pH analisados em campo e laboratório, ressaltando a acidez das águas subterrâneas de Fortaleza ($\text{pH} < 7$).

Figura 6.3.1 - pH de campo e de laboratório das águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período: agosto/2010 e outubro/novembro de 2011)



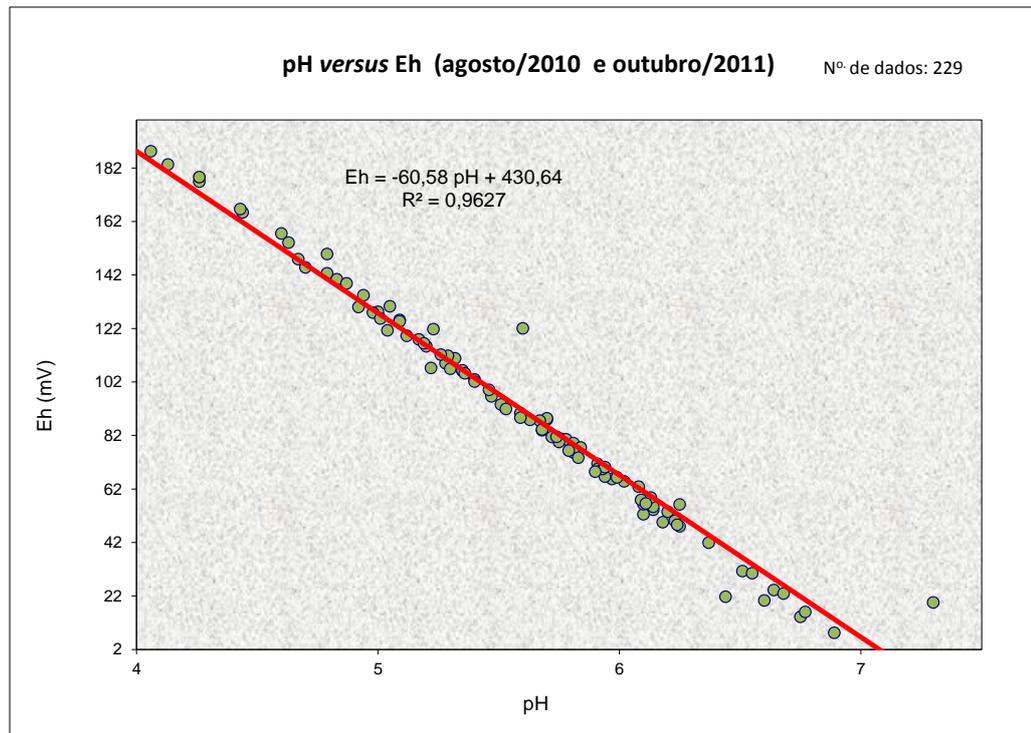
6.3.1.2. Eh

O potencial Redox (Eh) das 229 amostras analisadas *in situ* apresenta valores positivos e negativos, variando de -96,3 a -0,2 mV (14% das amostras) e 1,2 a 191,4 mV (86% das amostras).

O equilíbrio de oxi-redução ou potencial Redox é influenciado na água pela possibilidade de entrada de O₂ do ar ou cargas iônicas provenientes de Fe³⁺, Mn³⁺, SO₄²⁻, H⁺, e consumo de O₂ pelas substâncias redutoras, como matéria orgânica, Fe²⁺, Mn²⁺, NH₄⁺, H² e OH⁻ (SCHOELLER, 1962).

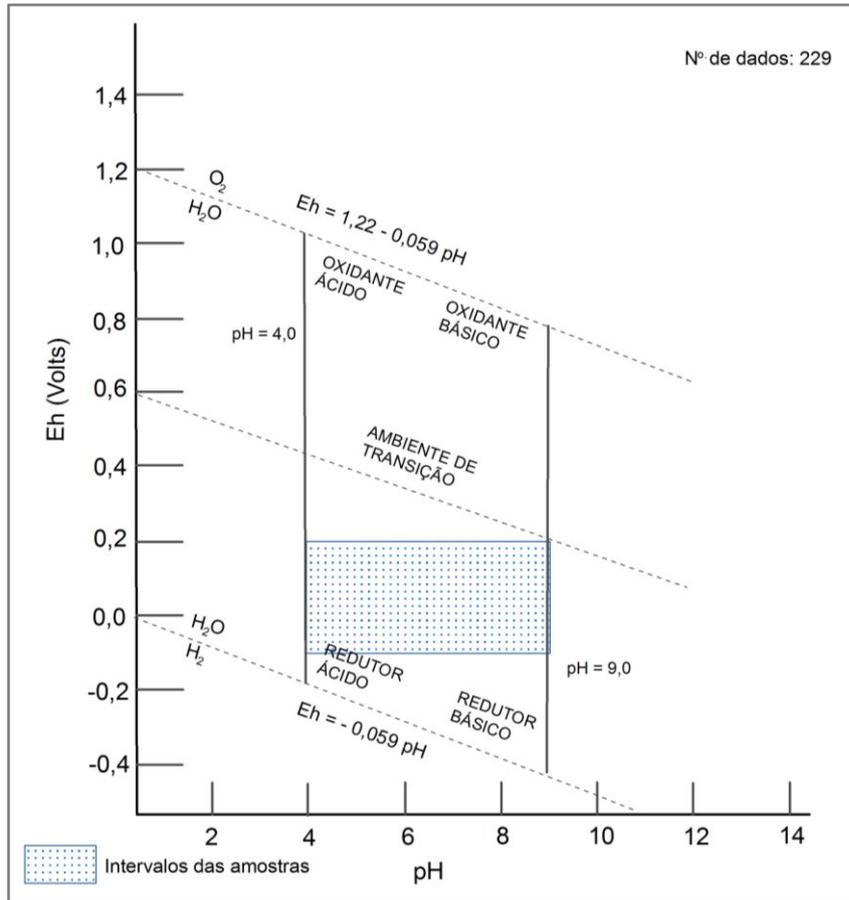
Para medir o grau de associação linear entre os valores de pH e Eh, utilizou-se o coeficiente de correlação linear de Pearson (**r**). A Figura 6.3.2 mostra que o pH e Eh apresentam relação linear significativa e forte, indicando a dependência inversa deles no meio geológico, cresce inversamente em relação uma à outra. Ressalta-se que quanto mais próximo estiver de $r \geq 0,50$ ou $r \geq -0,50$, mais forte é a associação linear entre as duas variáveis.

Figura 6.3.2 - pH *versus* Eh nas águas subterrâneas, município de Fortaleza - Ceará (Período: agosto/2010 e outubro/novembro de 2011)



O diagrama proposto por Krauskopf (1972) apresentado na Figura 6.3.3 utiliza os valores de Eh e pH para caracterizar o ambiente natural de ocorrência das amostras; o intervalo do Eh de -0,1 V a 0,2 V e do pH entre 4 e 9, classifica o ambiente como “reduzidor e ácido/básico”.

Figura 6.3.3 - Diagrama Eh-pH de Krauskopf (1972) aplicado às águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará



6.3.1.3. Condutividade Elétrica, Salinidade e Sólidos Totais Dissolvidos

Em campo (agosto/2010 e outubro/2011) foram medidos os parâmetros de CE (condutividade elétrica), salinidade e STD de 120 amostras de águas de poços (Tabela 6.3.2). A maior frequência de valores de CE e de STD na área são 610 uS/cm e 262 mg/L, respectivamente; calculados pela moda (M_0).

A concentração de sais dissolvidos pode ocorrer através do clima (temperatura e precipitação), vegetação (as raízes das plantas podem concentrar os sais) e pela dissolução (superfície de contato, circulação lenta, temperatura e pressão).

Tabela 6.3.2 - Parâmetros estatísticos de CE, Salinidade e STD medidos em campo nas águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período: agosto/2010 e outubro/2011)

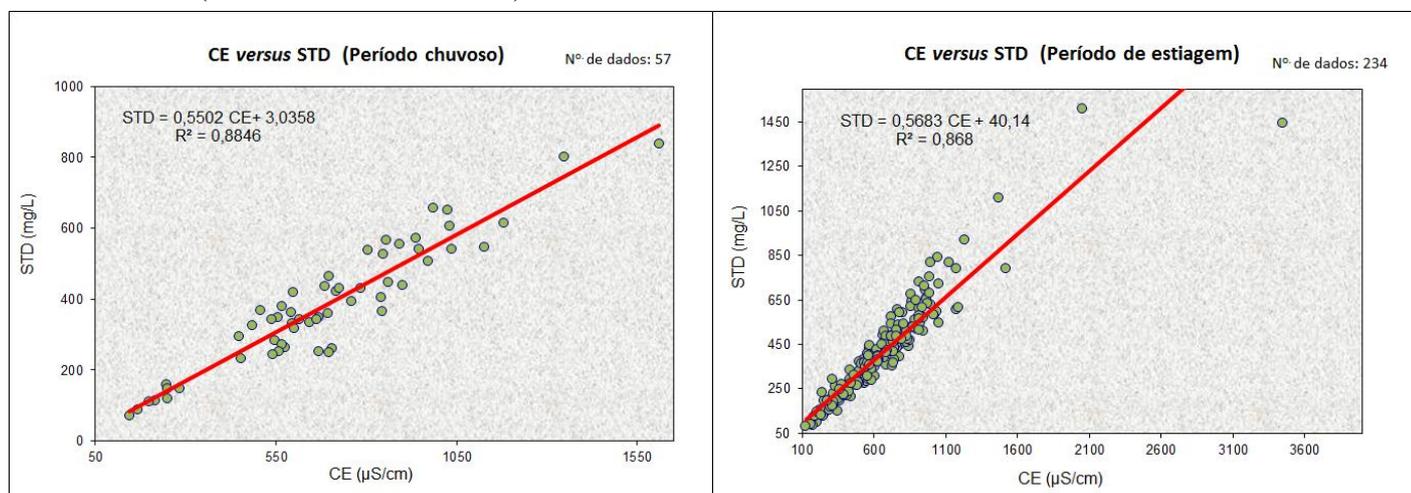
| Parâmetro | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | Mediana | Moda |
|------------|--------|---------|--------|---------------|---------|--------|
| CE (uS/cm) | 0,48 | 1544,00 | 697,62 | 243,25 | 670,00 | 610,00 |
| Salinidade | 0,01 | 0,77 | 0,33 | 0,11 | 0,32 | 0,29 |
| STD (mg/L) | 0,24 | 772 | 347,39 | 117,87 | 331,00 | 262,00 |

Nº de dados: 120 amostras.

De acordo com o coeficiente de correlação linear de Pearson (r), a correlação entre CE e STD é positiva e significativa ($r \geq 0,50$) nos dois períodos do ano (Figura 6.3.4).

Os valores considerados mais baixos da CE devem-se às pequenas concentrações dos constituintes em solução, enquanto que os valores mais elevados podem estar associados, pontualmente, as maiores concentrações de íons principalmente de cloretos. O aumento de STD depende das condições climáticas, observando-se o aparecimento de maiores concentrações de sais no período de estiagem.

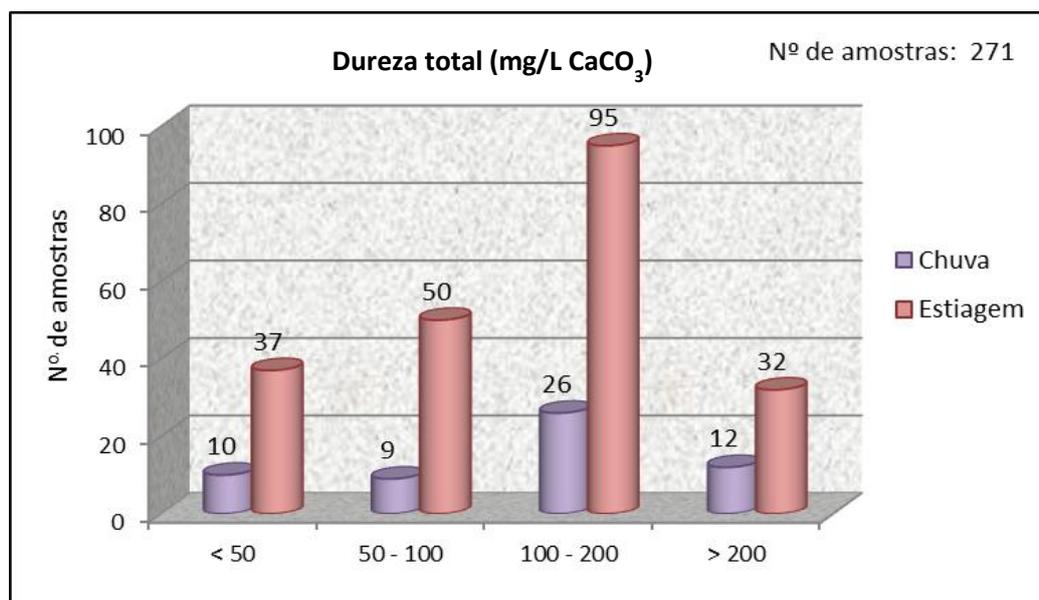
Figura 6.3.4 - CE versus STD medidos em laboratório nas águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011)



6.3.1.4. Dureza Total

As águas analisadas são consideradas “duras”, com predominância de 46 e 45% no período de chuva e de estiagem (Figura 6.3.5), respectivamente, refletindo, o contato das águas com Carbonato de Cálcio (CaCO_3), Dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), MgCO_3 (Magnesita) e CaSO_4 (Sulfato de cálcio), principalmente. Águas “duras” são consideradas incrustantes e consomem muito sabão, além de dificultar o cozimento dos alimentos.

Figura 6.3.5 – Dureza de águas subterrâneas em Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011)



6.3.1.5. Alcalinidade Total

Utilizando a classificação apresentada por Santos (2008), 95% no período chuvoso e 97% no período de estiagem das 291 águas analisadas foram classificadas como bicarbonatadas (Tabela 6.3.3). A alcalinidade de bicarbonatos em águas subterrâneas é derivada do CO_2 na atmosfera e no solo.

Tabela 6.3.3 - Classificação da Alcalinidade Total das águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011)

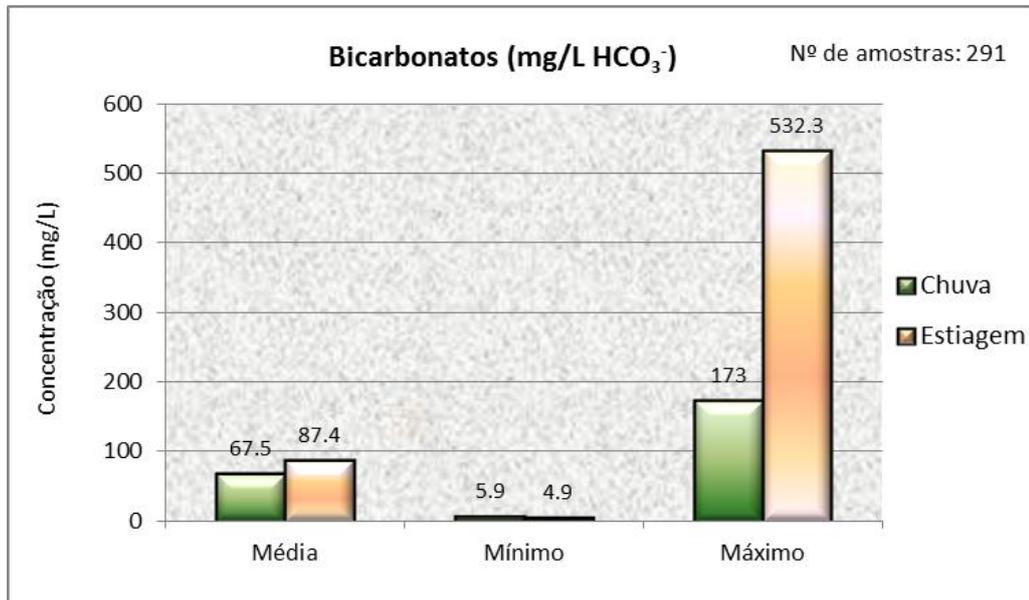
| pH | Alcalinidade (mg/L) | Amostras (N ^o de dados: 291) | | | |
|-----------|--|---|----|---------------------|-----|
| | | Período chuvoso | | Período de estiagem | |
| | | Amostras | % | Amostras | % |
| 9,4 a 8,3 | Alcalinidade de carbonatos de bicarbonatos | - | - | 1 | 0,5 |
| 8,3 a 4,6 | Alcalinidade de bicarbonatos | 54 | 95 | 227 | 97 |
| 4,6 a 3,0 | Ácidos minerais | 3 | 5 | 6 | 2,5 |

Fonte: Adaptado de Santos (2008).

6.3.1.6. Bicarbonatos e Carbonatos

Em águas que contêm elevadas concentrações de íons de bicarbonato (Figura 6.3.6), há tendência de precipitação do cálcio e do magnésio sob a forma de carbonatos reduzindo, então, a concentração destes elementos na solução do solo e, conseqüentemente, aumentando a proporção de sódio. Os menores valores de bicarbonato indicam áreas de recarga e crescendo de acordo com o sentido do fluxo subterrâneo (SILVA; BONOTTO, 2006).

Figura 6.3.6 - Bicarbonato nas águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011)

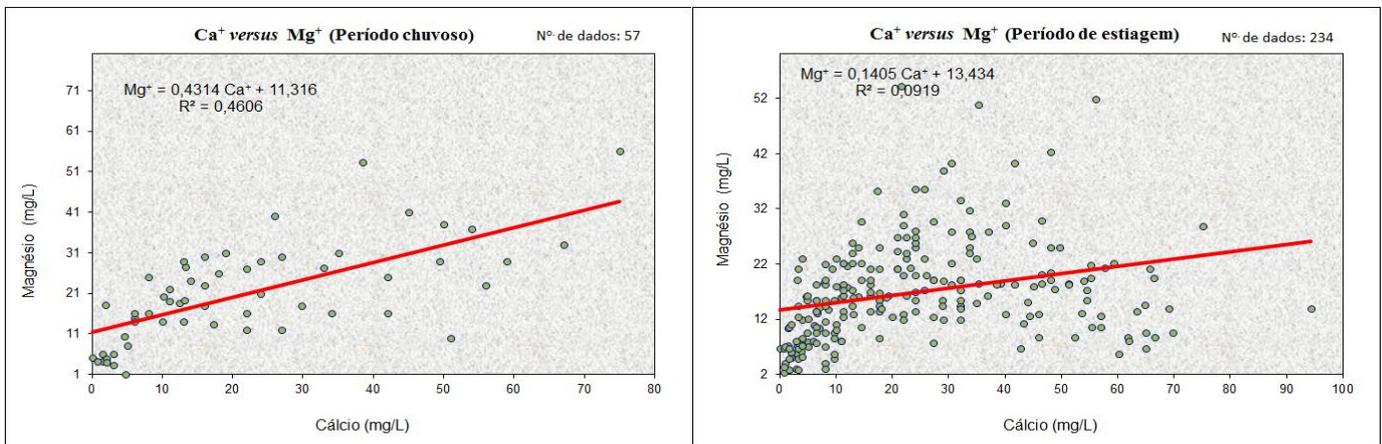


6.3.1.7. Cálcio e Magnésio

O cálcio variou de 0,78 (setor oeste) a 94,25 mg/L (setor sul), enquanto o magnésio variou de 4,7 a 75 mg/L, ambos na porção norte da área.

De acordo com o coeficiente de Pearson (r), os valores de cálcio e magnésio apresentaram uma correlação linear insignificante de 0,46 e 0,09 ($r \leq 0,50$) nos períodos chuvoso e de estiagem, respectivamente (Figura 6.3.7). O magnésio apresenta propriedades semelhantes ao cálcio, porém é mais solúvel e mais difícil de precipitar.

Figura 6.3.7 - Cálcio *versus* Magnésio nas águas subterrâneas, Fortaleza – Ceará (Período de 2001 a 2011)



6.3.1.8. Cloreto e Sódio

O cloreto é o ânion inorgânico mais frequente nas águas analisadas no nordeste brasileiro; bastante solúvel, estável em solução e de difícil precipitação; não sofre oxidação e nem redução em águas naturais.

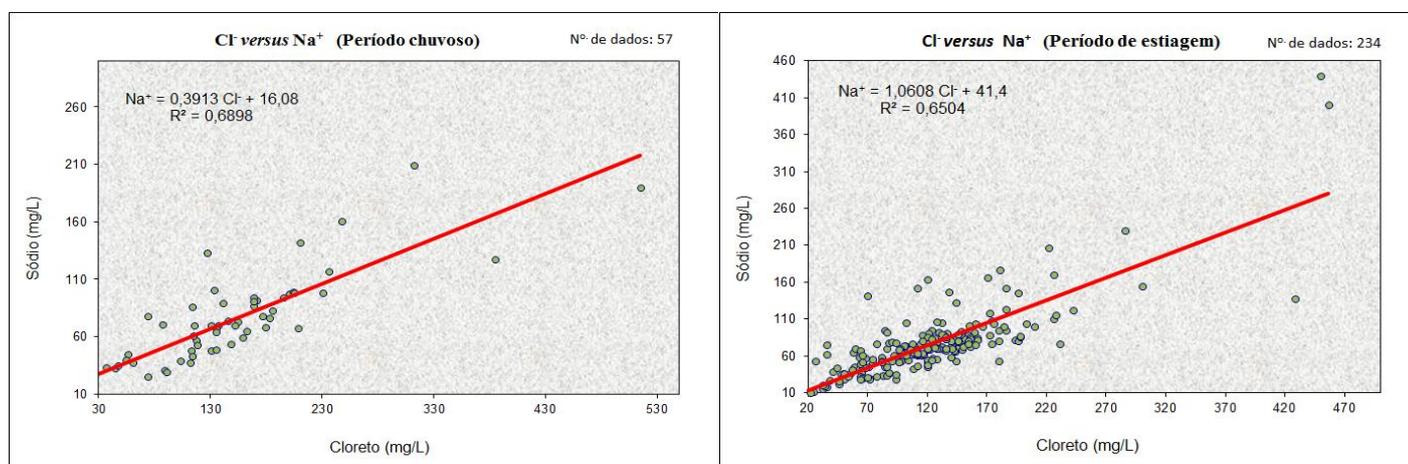
O cloreto atingiu 515 mg/L (chuva) e 456,5 mg/L (estiagem) nas porções sul e sudoeste da área, respectivamente. A ocorrência de maiores concentrações de águas cloretadas na área está potencialmente relacionada às águas marinhas e pluviais, geologia (meio cristalino) ou fonte de poluição que favorece a concentração do mesmo nas águas subterrâneas.

Nas águas analisadas, os teores de sódio variaram de 7 a 209,5 mg/L (chuva) e 9 a 440 mg/L (estiagem) e, quando lixiviado, esse elemento tende a permanecer em solução, pela grande solubilidade de seus compostos. A ocorrência das maiores concentrações de sódio nas águas é resultante de elevadas concentrações de bicarbonato e, conseqüentemente, há redução do cálcio e magnésio na solução do solo.

O sódio costuma ser mais abundante do que o potássio, sendo os feldspatos geralmente as mais importantes fontes desse elemento, uma vez que a albita e a anortita são decompostas mais facilmente do que os feldspatos potássicos (SILVA; BONOTTO, 2006).

Na Figura 6.3.8 verifica-se que as concentrações de cloreto e sódio apresentam correlação significativa, mas baixa (0,68 e 0,65), o que caracteriza que somente parte dela são águas cloretadas sódicas.

Figura 6.3.8 - Cloreto *versus* Sódio nas águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011)



6.3.1.9. Potássio e Sulfato

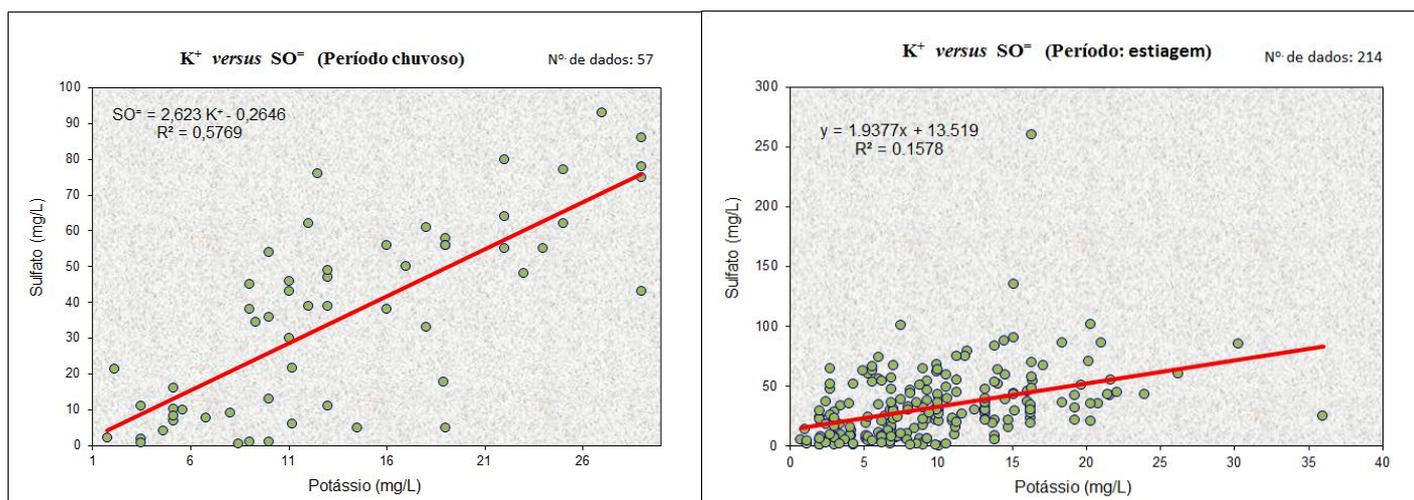
Nas águas analisadas, os teores de potássio variaram de 1,74 a 29,0 mg/L (chuva) e 0,74 a 35,9 mg/L (estiagem).

O potássio ocorre em rochas na forma não facilmente solubilizada, sendo combinável com outros produtos de intemperismo, particularmente os minerais argilosos, conforme sugere Hem (1959) ao mostrar a tendência do potássio em estar sempre presente nos sedimentos argilosos em proporções maiores do que nas rochas ígneas (SILVA; BONOTTO, 2006).

Os teores de sulfato variaram de 0,43 a 93 mg/L (chuva) e 0,17 a 260 mg/L (estiagem). O sulfato ocorre em águas naturais superficiais e subterrâneas. As concentrações variam de acordo com as condições ambientais. As águas subterrâneas que percolam áreas com formação de gesso (gipsita – CaSO_4) contêm alto teor de sulfato devido à boa solubilidade.

De acordo com o coeficiente de Pearson (r), os valores de K^+ e SO_4^{2+} apresentaram uma correlação linear significativa no período chuvoso ($r = 0,57$) e insignificante no período de estiagem ($r = 0,16$) (Figura 6.3.9). Quanto mais longe estiver de $r \geq 0,50$, mais fraca é a associação linear entre as duas variáveis.

Figura 6.3.9 - Potássio *versus* Sulfato nas águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011)



6.3.1.10. Ferro total

Na área é comum a ocorrência da “*capa rosa*” nas águas subterrâneas; a origem é a concentração de ferro na área que está correlacionada a dois fatores:

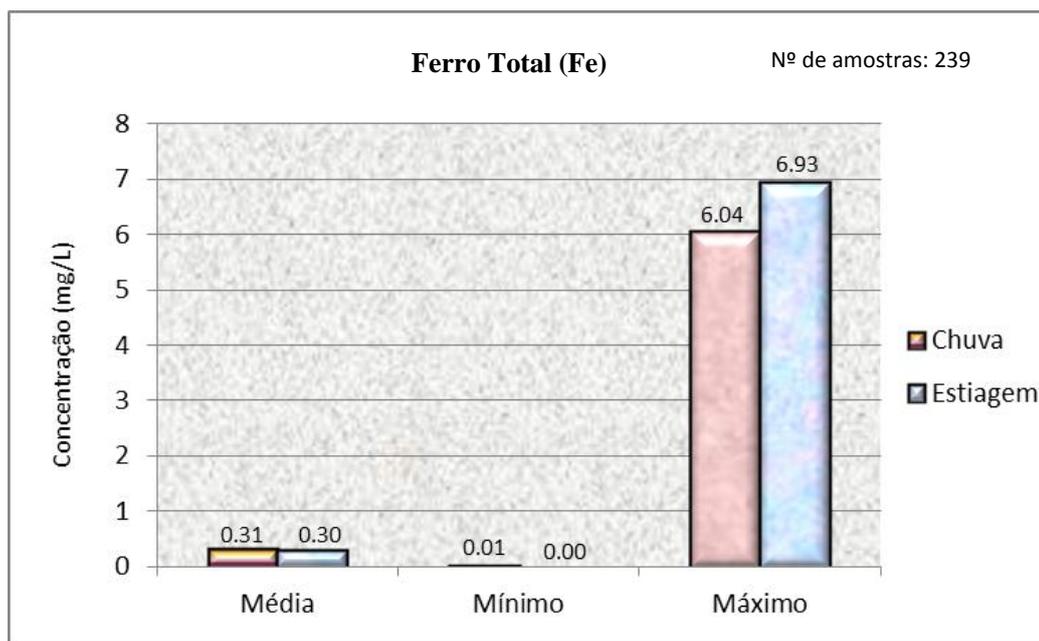
1) Ao Sistema Aquífero Barreiras, que normalmente apresenta camadas lateríticas com elevadas concentrações de ferro.

2) A vegetação densa dá origem a uma abundante produção de gás carbônico nos solos, devido à respiração das raízes das plantas e decomposição da matéria orgânica. Assim, o CO₂ e os ácidos orgânicos disponíveis nos solos na área aumentam a acidez das águas subterrâneas e a capacidade de dissolver Fe e Mn; em consequência, as águas subterrâneas são mais ácidas, com relativamente altos teores em Fe e Mn, mas em geral pouco concentradas (FENZL, 1988).

De acordo com as análises, as maiores concentrações de ferro nas águas subterrâneas ocorreram pontualmente no setor noroeste (P16) e nordeste (P109) da área, na faixa de 6,04 a 6,93 mg/L, respectivamente (Figura 6.3.10), indicando a locação desses poços no Domínio Barreiras.

De acordo com Szikszay (1993), a presença ou ausência de ferro na água subterrânea depende dos seus estados de oxidação e de condições de pH. Durante a oxidação de sulfeto de ferro, através de formação de sulfato de ferro e ácido sulfúrico, as bactérias de oxidação de sulfetos (*Thiobacillus thiooxydans* e *Thiobacillus ferrooxydans*) contribuem para a solubilização do ferro.

Figura 6.3.10 - Ferro em águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011)

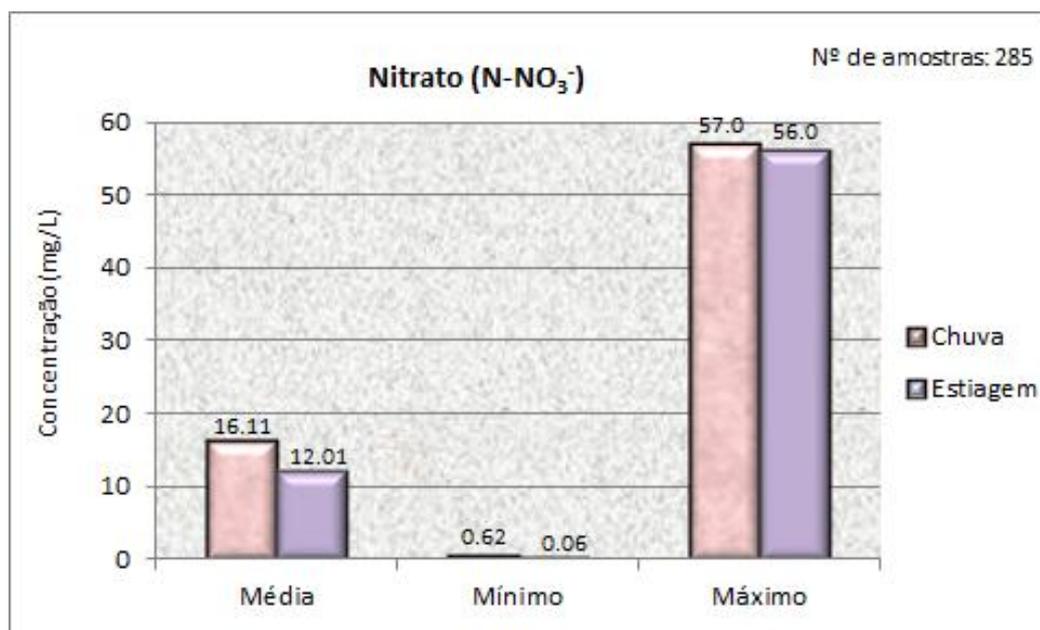


6.3.1.11. N-Nitrato

De acordo com as análises, nos dois períodos de amostragem, os valores de nitrato foram semelhantes, atingindo a 57 e 56 mg/L (Figura 6.3.11) nos bairros João Arruda (setor noroeste) e o Cristo Redentor (setor norte), respectivamente, indicando potenciais fontes de poluição, como fossas e resíduos de animais comuns na área.

Em termos geoquímicos, esse íon não é proveniente de processos geológicos, e sim de atividades antrópicas (poluição) pois, segundo Santos (2008), geralmente os teores de nitrato nas águas subterrâneas naturais é de 0,1 a 10mg/L.

Figura 6.3.11 - N-Nitrato em águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011)

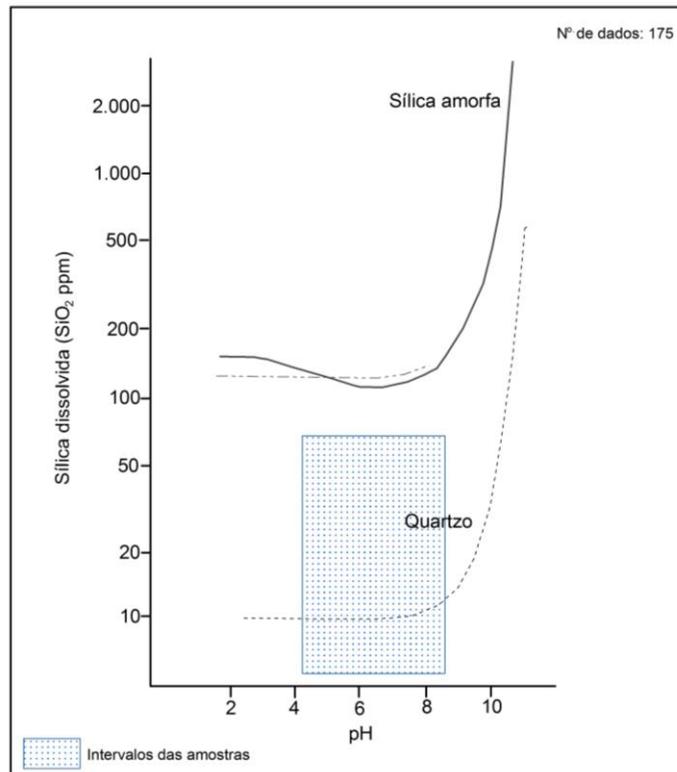


6.3.1.12. Sílica

O diagrama proposto por Krauskopf (1972) apresentado na Figura 6.3.12 representa a variação da solubilidade da SiO₂ com pH; as amostras estão concentradas no intervalo 2,9 a 64,9 mg/L de SiO₂, com pH variando de entre 4,5 e 8,4.

A sílica dissolvida representa a parcela da sílica que permanece em solução após o intemperismo químico das rochas. Sua solubilidade é diretamente proporcional à temperatura (MANASSÉS, 2009).

Figura 6.3.12 – Solubilidade do SiO₂ segundo Krauskopf (1972) aplicada em águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará



6.3.2. Relações Iônicas nas Águas Subterrâneas

No Quadro 6.3.1 são mostradas as principais razões iônicas calculadas para as águas subterrâneas do município de Fortaleza.

Quadro 6.3.1 - Principais razões iônicas médias nas águas subterrâneas na área de estudo e a classificação de Hem (1985)

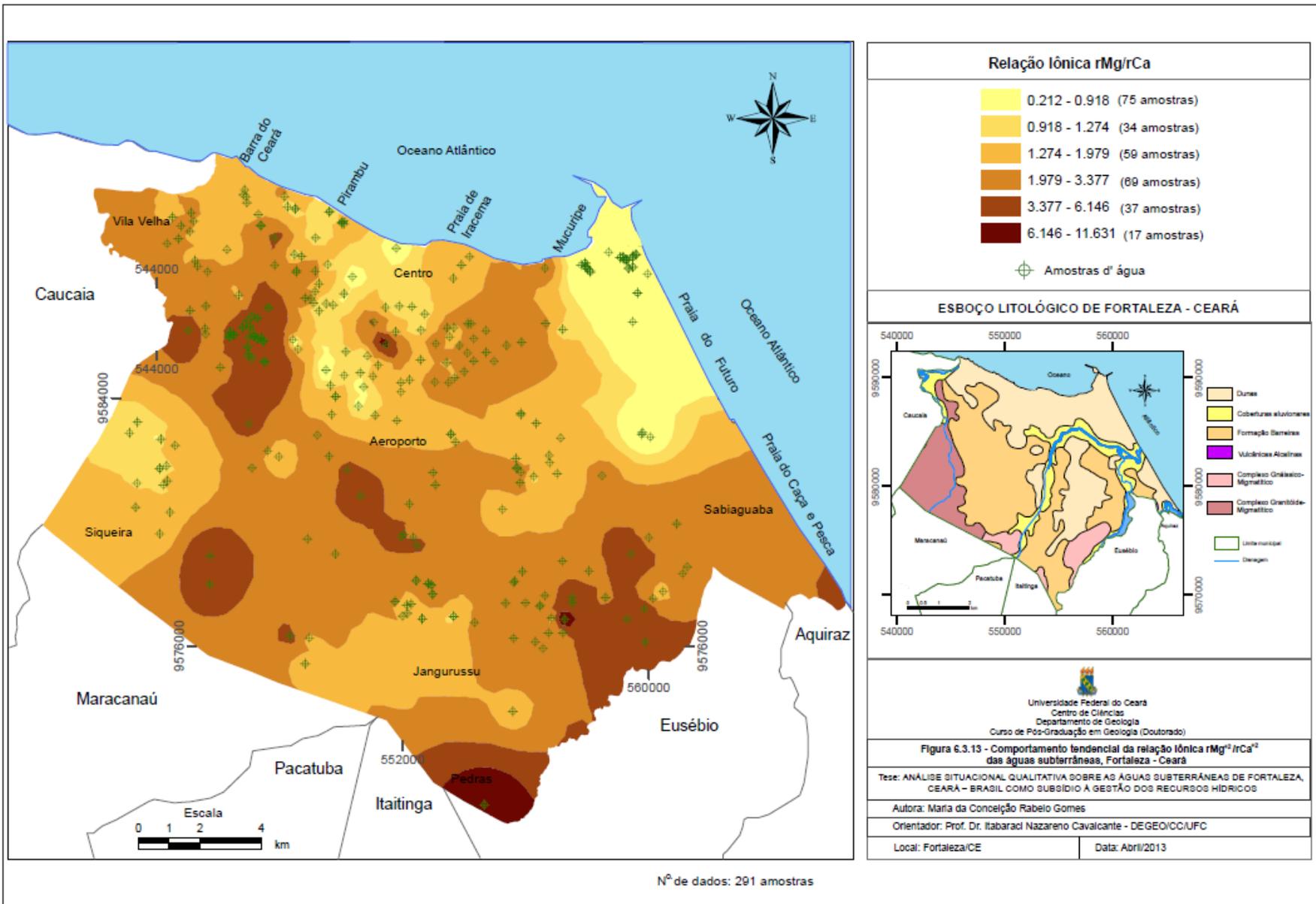
| Razão Iônica | Resultado | Tipologia química |
|------------------------------|-----------|---|
| rMg^{+2}/rCa^{+2} | 2,384 | Relações com litotipos ricos em silicatos magnesianos. |
| rCa^{+2}/rMg^{+2} | 0,863 | Não há indicação de intrusão marinha. |
| $rCa/(HCO_3^- + rSO_4^{2+})$ | 0,644 | Não há indicação de intrusão marinha. |
| rK^+/rNa^+ | 0,098 | Água de circulação em rocha cristalina. |
| rNa^+/rCl^- | 0,961 | Precipitação de sais de Na^+ fluxo através de rochas cristalinas. |
| $rCl^-/rHCO_3^-$ | 5,799 | - |

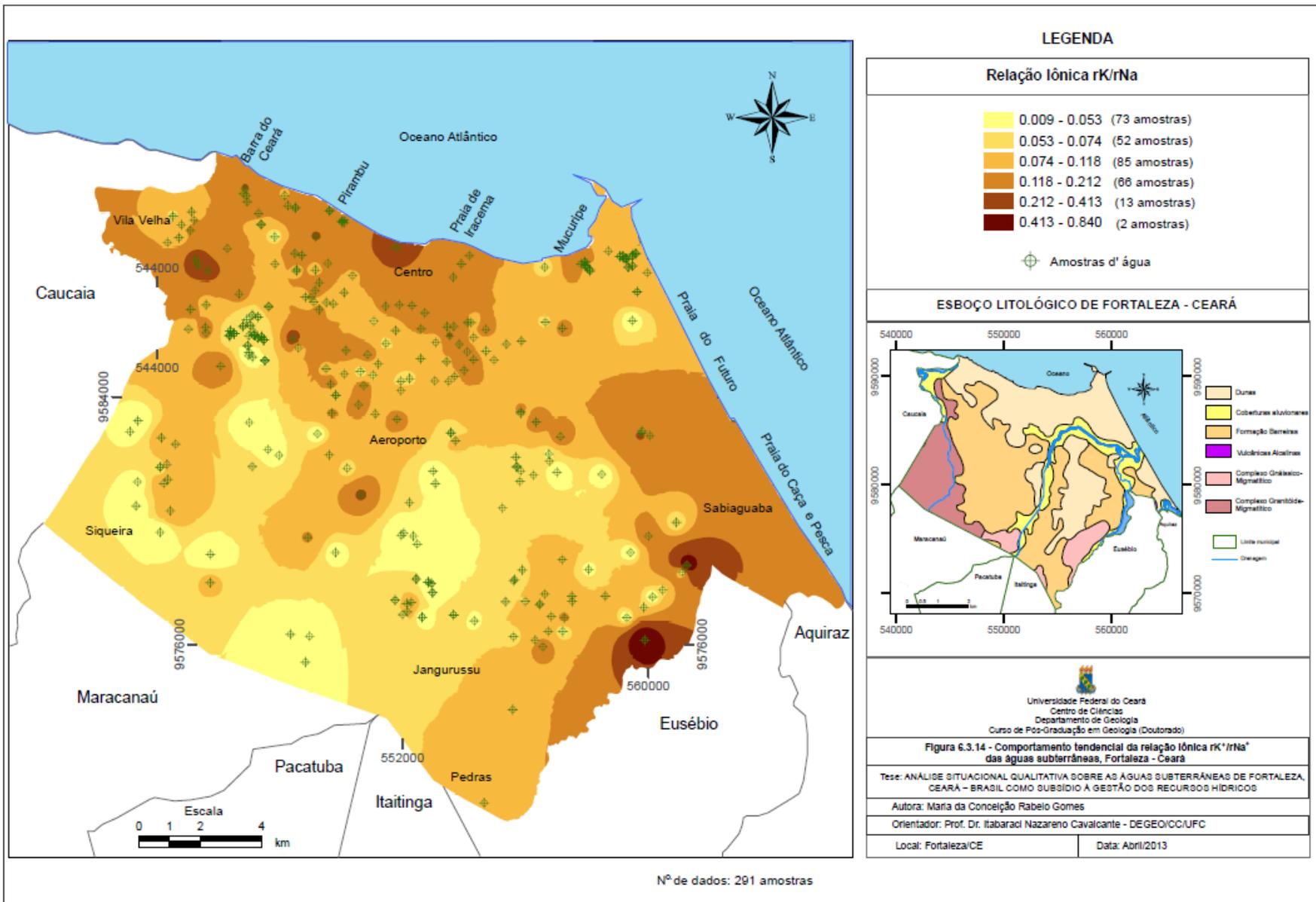
Obs: Valores em meq/L de 291 amostras subterrâneas.

Os mapas de zoneamentos das razões iônicas rMg^{+2}/rCa^{+2} e rK^+/rNa^+ , representa o comportamento espacial dessas relações iônicas mostrados nas Figuras 6.3.13 e 6.3.14.

A razão rMg^{+2}/rCa^{+2} , predomina com valores superiores a 1,258 (63%) indicando a associação de silicatos magnesianos na área de estudo (poços que estão captando água do Cristalino); os menores valores (< 1,258) ocorrem em áreas de Dunas e Coberturas Aluvionares (Figura 6.3.13).

A razão rK^+/rNa^+ apresenta valores entre 0,009 e 0,840 (Figura 6.3.14). Segundo Custódio (1965), nas águas subterrâneas, em geral, a relação rK^+/rNa^+ apresenta valores menores que 1, por fixação de K^+ nos argilominerais; os maiores valores iônicos (> 0.088) estão nos ambientes dunares (areias quartzosas) e aluvionares (argila, silte, areia e cascalho).





6.3.3. Classificação iônica

Para a classificação iônica foi utilizado um arquivo de dados (291 amostras de águas subterrâneas) divididos em dois períodos distintos (57 amostras coletadas no período chuvoso e 234 amostras coletadas na estiagem).

No período chuvoso, predominam águas Cloretadas (86%) Sódicas (67%), seguidas das Mistas (14%) e Mistas (33%); no período de estiagem, as águas foram classificadas predominantemente como Cloretadas (81%) Sódicas (77%), seguidas das Mistas (15%) Mistas (23%) e Bicarbonatadas (4%). As Figuras 6.3.15 e 6.3.16 mostram os diagramas de Piper (PIPER, 1944) com as amostras dos dois períodos amostrados.

De acordo com o quimismo das águas, os aquíferos de Fortaleza são caracterizados por águas Cloretadas Sódicas, nos dois períodos de amostragem, tendo 50% do ânion cloreto (Cl⁻) sobre os demais. Esta predominância (86% e 81%) está relacionada às águas marinhas e à evaporação, que aumentam a concentração do cloreto nas águas subterrâneas, favorecida pela proximidade da área de pesquisa ao Oceano Atlântico, inserida na faixa costeira. A concentração do cloreto se deve às suas propriedades químicas, como alta solubilidade, baixa precipitação e raio iônico. A predominância dos constituintes iônicos (Na e Cl) nas águas subterrâneas é independente do período de recarga do aquífero (Figuras 6.3.15 e 6.3.16).

De acordo com a classificação química proposta por Hounslow (1995), os dados analisados (meq/L) apresentam a predominância dos íons NaCl devido a dissolução da halita ou mistura com água do mar.

Em termos de proporções iônicas, se obteve as seguintes relações das águas subterrâneas de Fortaleza:

✚ Na^+ (3,27 meq/L) > K^+ (0,27 meq/L) - Intemperismo de feldspatos e micas (poços que captam água do Cristalino); o K é facilmente retido pelas plantas e minerais argilosos;

✚ Ca^{++} (1,12 meq/L) < Mg^{++} (1,14 meq/L) - Intemperismo dos silicatos (poços que captam água do Cristalino);

✚ Ca^{++} (1,12 meq/L) > SO_4^{2-} (0,69 meq/L) - Fonte de sulfato é o CaSO_4 (anidrita); comum nos Domínios Sedimentar e Cristalino.

✚ Na^+ (3,27 meq/L) < Cl^- (3,58 meq/L) - A fonte principal de cloreto é o NaCl; o sódio com menor concentração em reação ao cloreto é causado pela remoção através de troca iônica. Ocorre normalmente em Domínio Sedimentar.

Figura 6.3.15 - Classificação iônica das águas subterrâneas, Fortaleza – Ceará (Período: maio/2002 a março/2008)

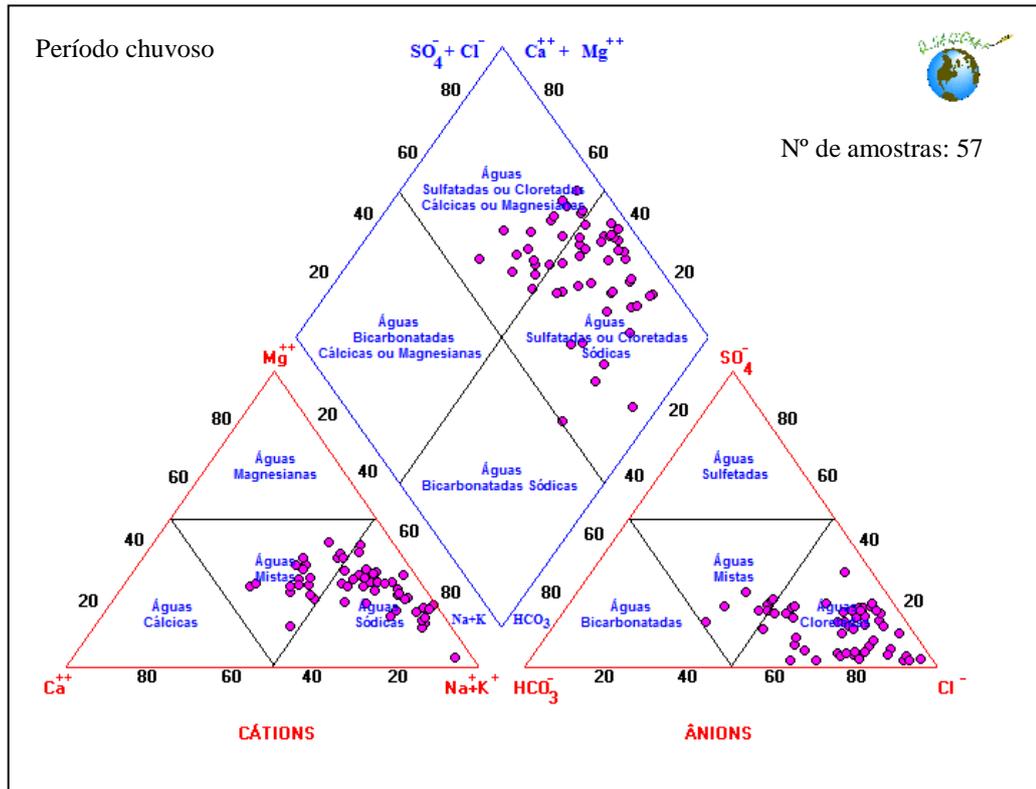
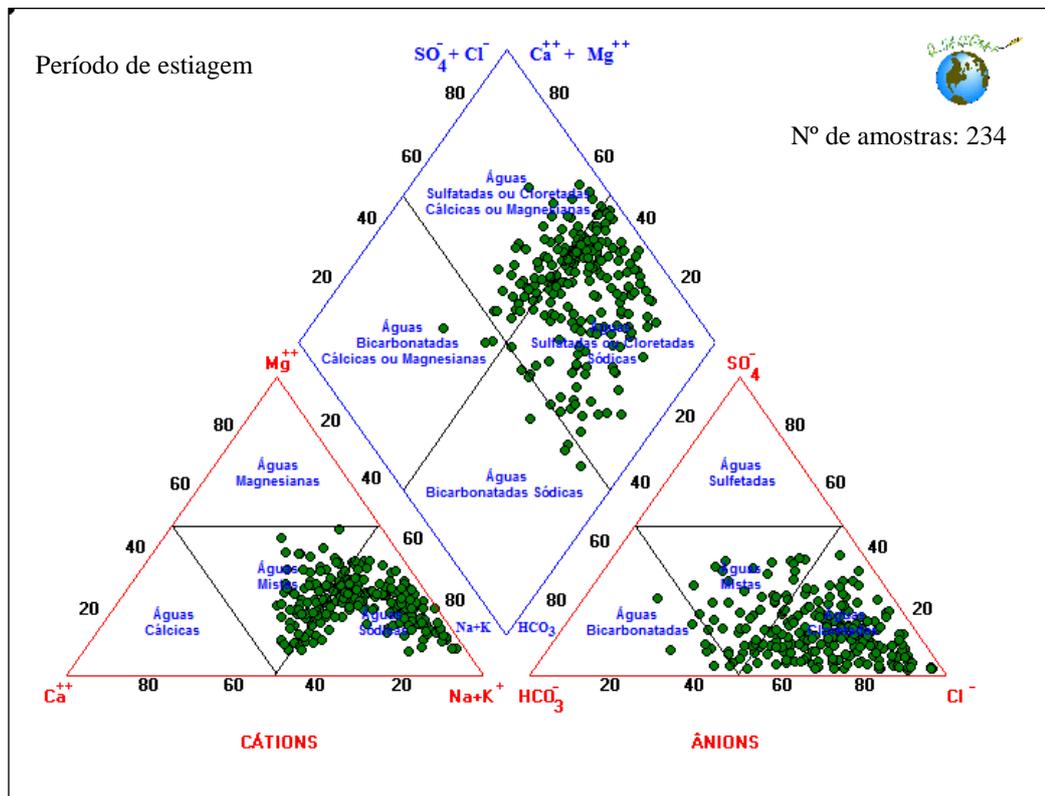


Figura 6.3.16 - Classificação iônica das águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período: dezembro/2001 a novembro/2011)



6.4. Qualidade e uso das Águas Subterrâneas

O município de Fortaleza apresenta uma elevada densidade populacional (7.786,52 hab/km²), causando potencial influência das atividades humanas sobre a qualidade química das águas. Nos grandes centros urbanos ocorrem problemas associados às descargas de poluentes, como efluentes líquidos industriais e domésticos, vazamentos de depósitos em combustíveis e chorumes provenientes de lixões e aterros sanitários.

6.4.1. Consumo humano

A água potável é definida como “aquela que pode ser consumida pelo homem sem ocasionar danos à saúde”. Os padrões de potabilidade para o consumo humano variam internacionalmente e no Brasil é regido pela Portaria N° 2914 do Ministério da Saúde de 12/12/2011 (BRASIL, 2011).

6.4.1.1. Análises Físico-químicas

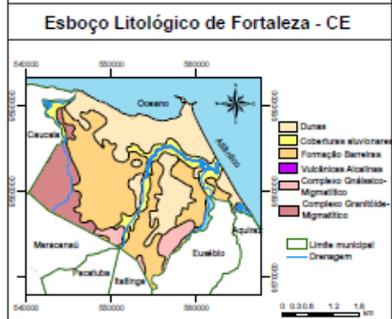
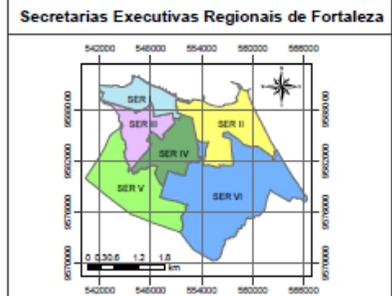
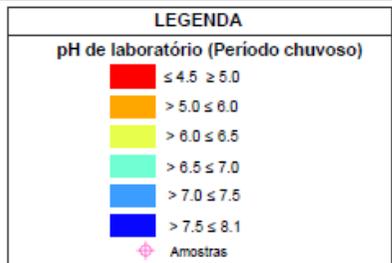
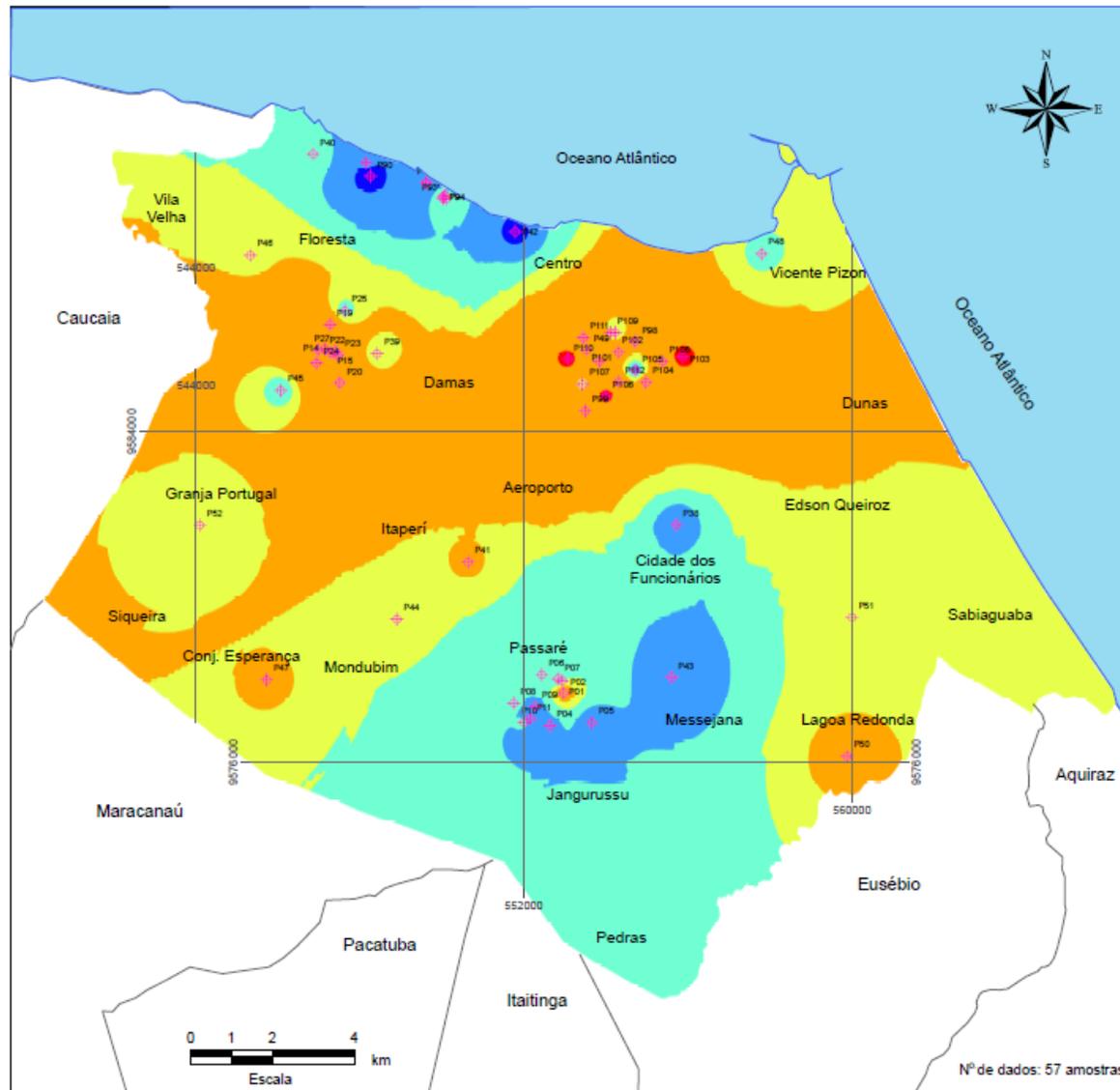
Das 291 análises físico-químicas (Tabela 6.4.1 e Apêndice C) pode-se avaliar as águas subterrâneas destinadas ao uso doméstico.

pH

Os valores de pH mostram a predominância de águas ácidas (Figuras 6.4.1 e 6.4.2) nas duas etapas de amostragem (Tabela 6.4.1), e de acordo com a Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), a faixa de valores para o consumo humano é de 6,0 a 9,5. Em 105 amostras o pH é inferior a 6,0 (36%), mas são águas consumidas pela população. Em geral, as águas de pH baixo tendem a ser corrosivas ou agressivas a determinados materiais (superfícies de cimento-amianto, por exemplo), enquanto que as águas de alto pH tendem a formar incrustações, além disso, com pH ácido também podem causar doenças como gastrite, câncer gástrico e restrições nos usos gerais de indústrias.

Quanto a avaliação da distribuição espacial dos valores de pH (Figuras 6.4.1 e 6.4.2), observa-se que nos dois períodos de amostragem (chuvoso e estiagem) predominam (56 e 62%) águas com pH inferior a 6,5; no período chuvoso, pontualmente ao norte e sul, as águas são alcalinas (pH > 7), ao passo que no período de estiagem eles ocorrem pontualmente ao norte, oeste e centro-sul da área.

Os baixos valores (< 6) de pH encontrados nas águas desses poços provavelmente estão associados ao Aquífero Barreiras e, resultando assim, reações de equilíbrio entre a água e o meio geológico, e também pela introdução de águas recentes no aquífero (águas de chuva), com concentrações mais elevadas de CO_2 , promovendo a diminuição do pH e aumentando, assim, a acidez das águas subterrâneas.




 Universidade Federal do Ceará
 Centro de Ciências
 Departamento de Geologia
 Curso de Pós-Graduação em Geologia (Doutorado)

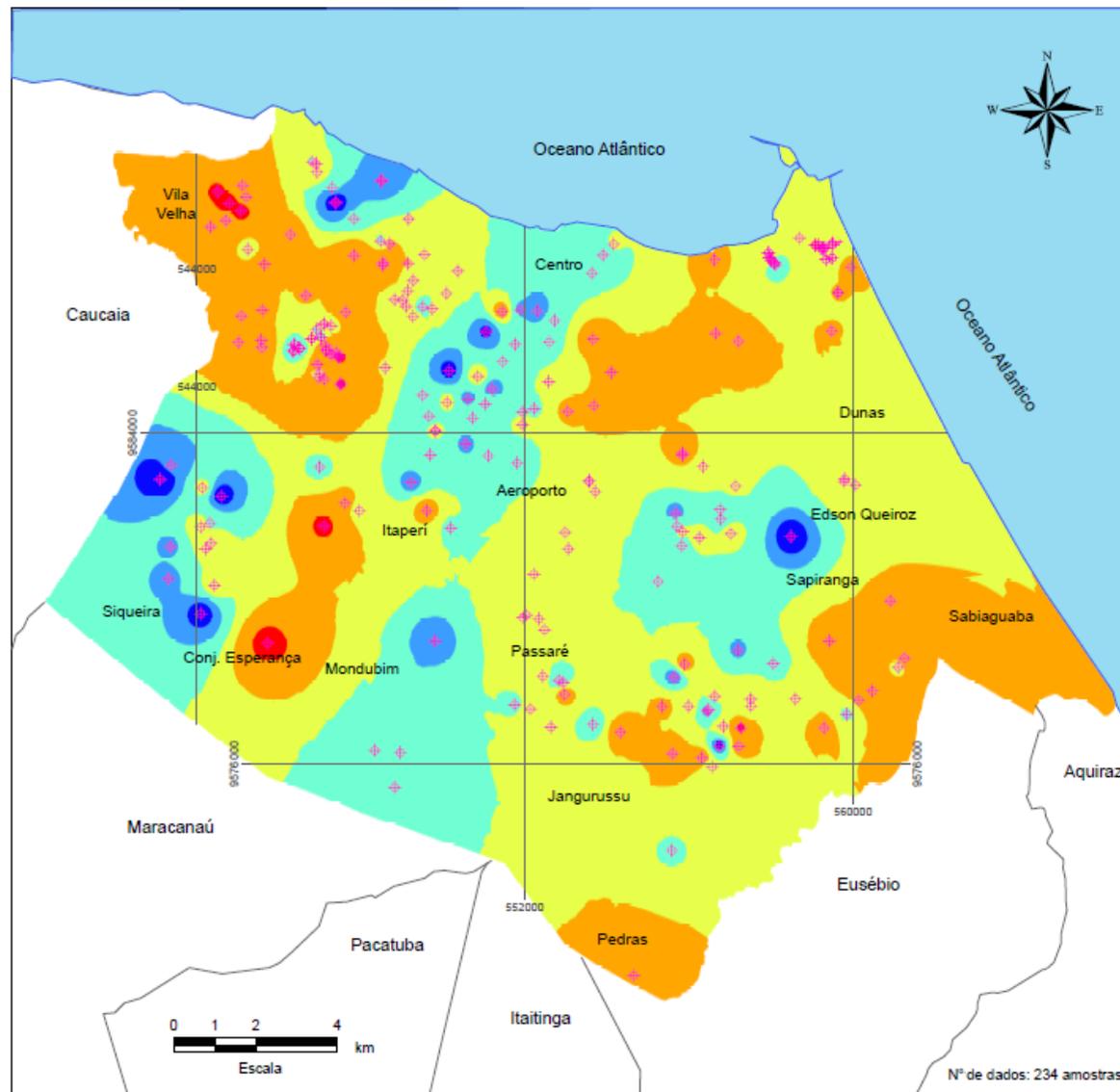
Tese: ANÁLISE SITUACIONAL QUALITATIVA SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE FORTALEZA, CEARÁ - BRASIL, COMO SUBSÍDIO À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Figura 8.4.1 - Zoneamento Tendencial de pH nas Águas Subterrâneas (Período chuvoso)

Autora: Maria da Conceição Rabelo Gomes

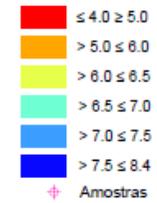
Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante - DEGE/CC/UFCE

Local: Fortaleza/CE Data: Abril/2013

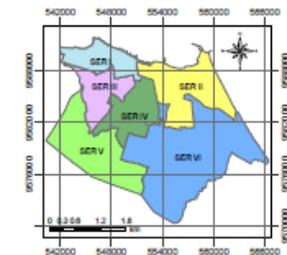


LEGENDA

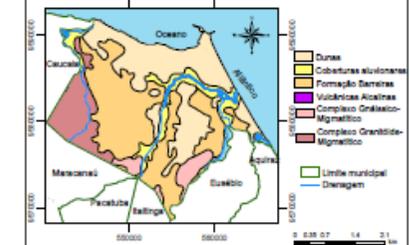
pH de laboratório (Período de estiagem)



Secretarias Executivas Regionais de Fortaleza



Esboço Litológico de Fortaleza - CE



Universidade Federal do Ceará
 Centro de Ciências
 Departamento de Geologia
 Curso de Pós-Graduação em Geologia (Doutorado)

Tese: ANÁLISE SITUACIONAL QUALITATIVA SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE FORTALEZA, CEARÁ - BRASIL COMO SUBSÍDIO À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Figura 6.4.2 - Zoneamento Tendencial de pH nas Águas Subterrâneas (Período: estiagem)

Autora: Maria de Conceição Rabelo Gomes

Orientador: Prof. Dr. Itamarci Nazareno Cavalcante - DEGEOL/CC/UFCE

Local: Fortaleza/CE

Data: Abril/2013

Cloreto

O cloreto na área aparece em oito (8) amostras acima do Valor Máximo Tolerável (250 mg/L) na Portaria N° 2914/2011 do MS (BRASIL, 2011), atingindo 515 mg/L (P10) no Passaré (Período chuvoso) e 456,5 mg/L (P37) no Bom Jardim (período de estiagem) (Tabela 6.4.1) nas porções sul e sudoeste da área (Figuras 6.4.3 e 6.4.4), respectivamente; estas concentrações são responsáveis pelo aumento gradativo de salinidade das águas e, conseqüentemente, pelo aumento dos STD. Das 291 amostras analisadas de águas subterrâneas, 283 (97%) encontram-se dentro do padrão aceitável, podendo ser usadas para consumo humano.

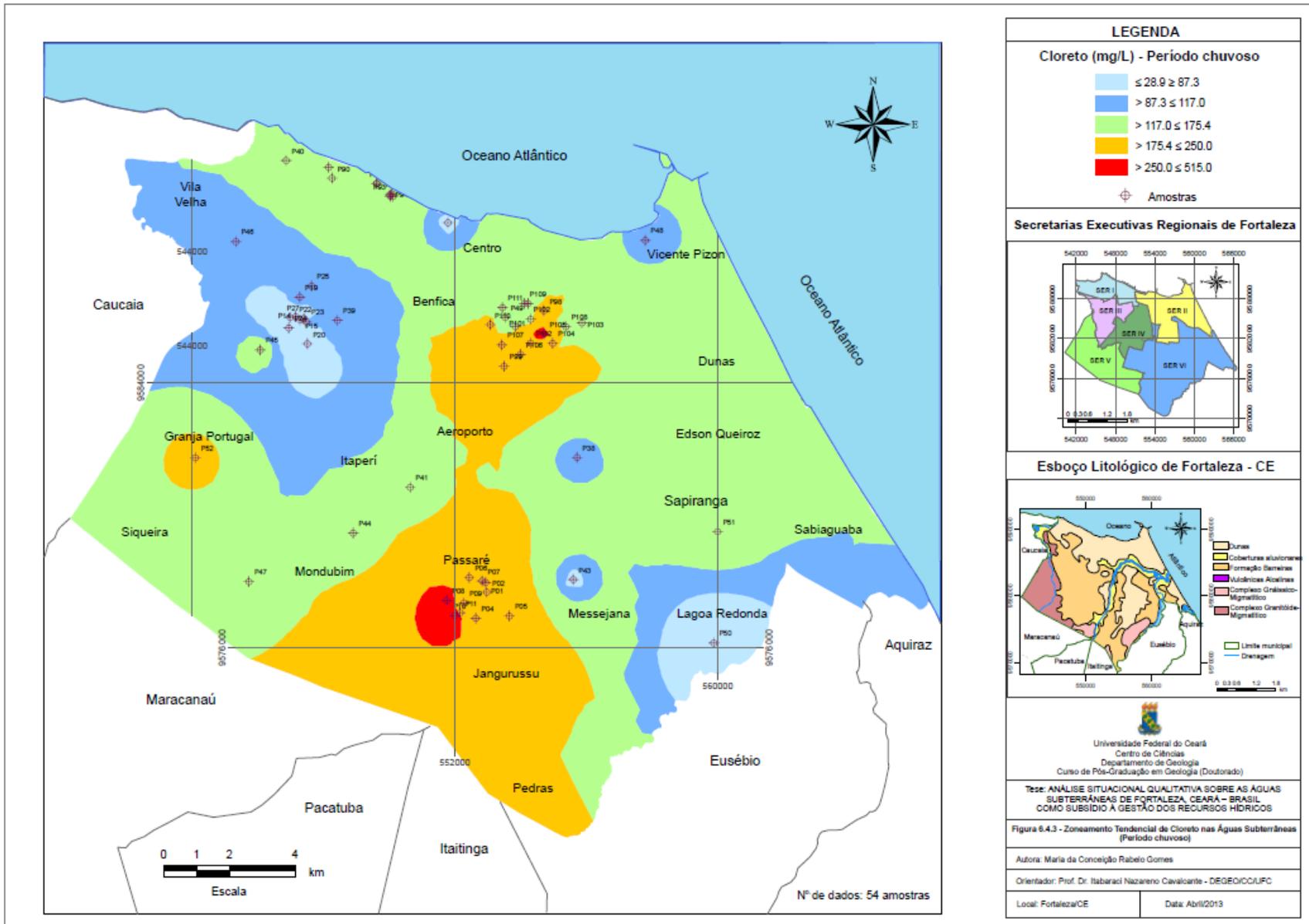
As origens desse elemento podem estar associadas à influência das águas marinhas sobre as continentais, já que a área encontra-se localizada na zona litorânea, ou à captação das águas subterrâneas no meio cristalino, tendo em vista que os cloretos são provenientes da lixiviação de minerais ferromagnesianos de rochas ígneas ou, ainda, a uma fonte de poluição antrópica rica em cloretos e que possa estar cedendo-os para as águas subterrâneas (CAVALCANTE, 1998).

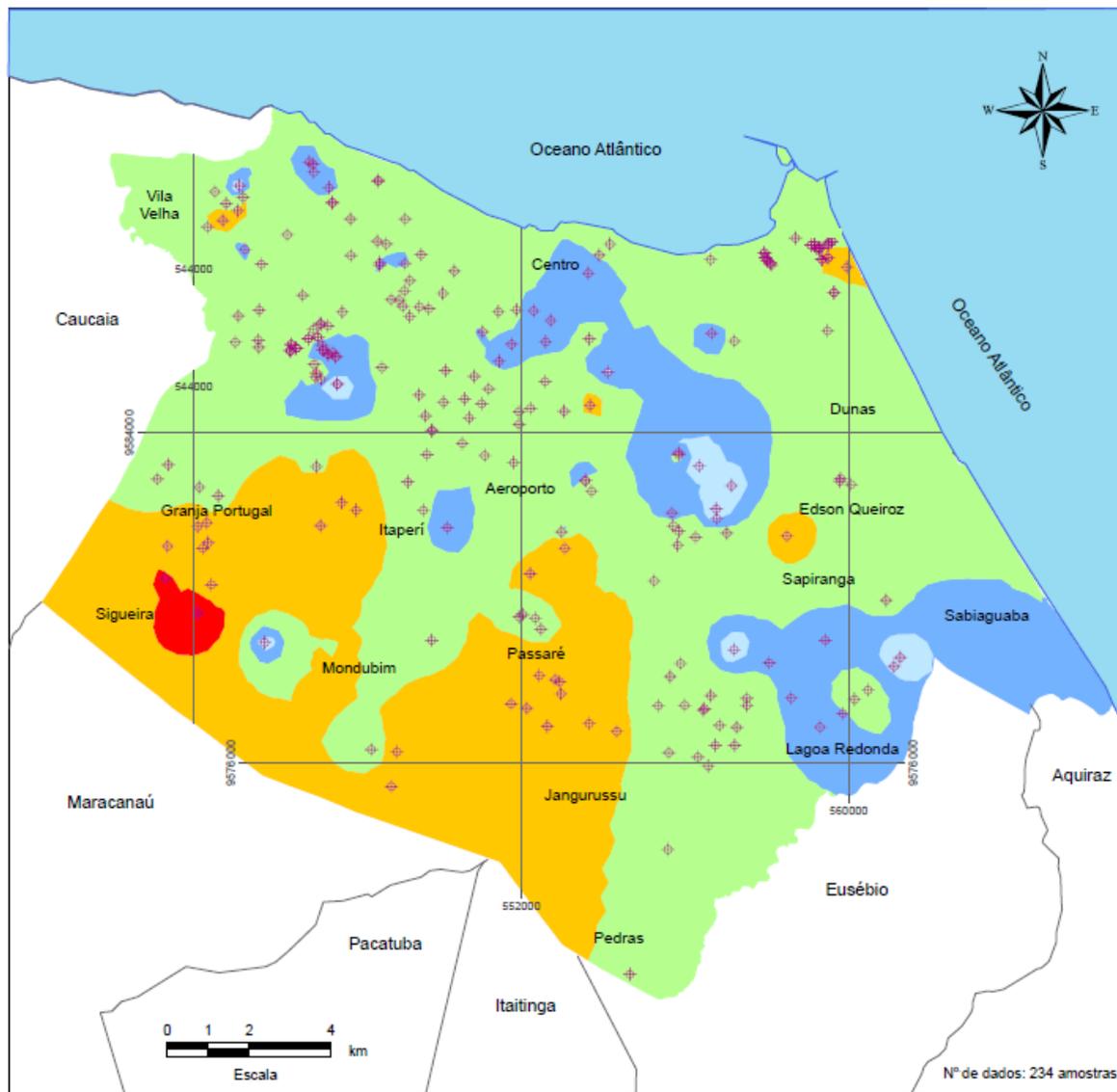
Para os altos valores encontrados no cristalino, deve-se considerar a baixa porosidade e permeabilidade do meio, o que implica em um maior tempo de residência da água e em concentração progressiva deste elemento (CAVALCANTE *et al.*, 1990).

As descargas de esgotos sanitários constituem-se nas principais fontes de cloretos em meio urbano, uma vez que cada pessoa expele, pela urina, cerca de 6g de cloretos por dia. Isto faz com que os esgotos apresentem concentrações de cloretos que ultrapassam a 15 mg/L (CETESB, 1990 *apud* FERNANDES, 2005, p. 19).

As águas subterrâneas apresentam, geralmente, teores de cloretos inferiores a 100 mg/L. Contudo, em função de sua alta solubilidade e do lento movimento das águas no aquífero, podem ocorrer aumentos gradativos e constantes de seus teores na direção do fluxo subterrâneo. Assim, valores acima de 100 mg/L podem ser tomados como referência para indicar esta tendência (SANTOS, 2008).

Segundo Matta (2002), este parâmetro constitui importante padrão de potabilidade, uma vez que provoca sabor nas águas, corrosões em estruturas de metal, incrustações em tubos de revestimentos, aumento da dureza das águas e ações negativas no metabolismo de organismos.



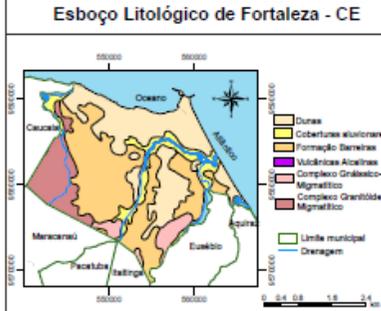
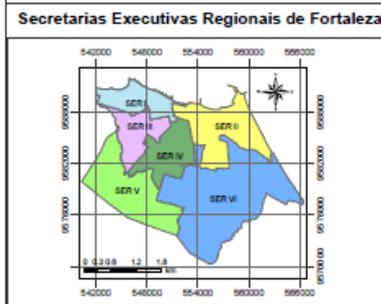


LEGENDA

Cloreto (mg/L) - Período de estiagem

| | |
|------------|-----------------|
| Blue | ≤ 18.0 ≤ 68.0 |
| Light Blue | > 68.0 ≤ 92.4 |
| Green | > 92.4 ≤ 142.5 |
| Yellow | > 142.5 ≤ 250.0 |
| Red | > 250.0 ≤ 456.5 |

⊕ Amostras




 Universidade Federal do Ceará
 Centro de Ciências
 Departamento de Geologia
 Curso de Pós-Graduação em Geologia (Doutorado)

Tese: ANÁLISE SITUACIONAL QUALITATIVA SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE FORTALEZA, CEARÁ - BRASIL COMO SUBSÍDIO À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Figura 6.4.4 - Zoneamento Tendencial de Cloreto nas Águas Subterrâneas (Período: estiagem)

Autora: Maria da Conceição Rabelo Gomes

Orientador: Prof. Dr. Itamaraci Nazareno Cavalcante - DEGEO/CC/UFCE

Local: Fortaleza/CE Data: Abril/2013

Sulfato

Das 291 amostras, 290 (99,9%) podem ser usadas para consumo humano e somente uma amostra (Tabela 6.3.1), a sudoeste da área (P221 - Parangaba), teve sulfato fora do padrão de potabilidade (250mg/L) estabelecido pela Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). A concentração de sulfato na água varia de acordo com as condições ambientais, pois as águas subterrâneas que percolam áreas com formação de gesso (CaSO_4) contêm alto teor de sulfato devido à boa solubilidade.

De acordo Custódio e Llamas (1983) as altas concentrações desse elemento podem provocar efeitos laxativos e na presença de íons de magnésio e sódio pode causar distúrbios gastrointestinais.

Santiago *et al.* (2007) afirma que as menores concentrações estão em águas de chuva e águas superficiais sujeitas à redução de sulfato. As maiores concentrações estão em salmouras de sulfato de magnésio.

Sódio

O sódio é o um dos principais responsáveis pelo aumento gradativo da salinidade das águas naturais do ponto de vista catiônico. Os teores de sódio mostram que 5 (2%) das amostras de água subterrânea analisadas estão fora do limite permitido (200 mg/L) pela Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde (Tabela 6.4.1), localizadas uma na porção sul, 2 à oeste e 2 à sudoeste; de todas elas, somente 1 amostra (209,5 mg/L), à sudoeste da área, foi coletada no período chuvoso. As maiores concentrações de sódio nas águas têm origem em altas concentrações de bicarbonato e com isso, a redução do cálcio e magnésio na solução do solo.

Potássio, Cálcio e Magnésio

Em relação aos íons potássio, cálcio e magnésio, a Portaria N° 2914/2011 do MS (BRASIL, 2011) não estabelece um valor máximo permissível para suas concentrações. Os valores médios, mínimos e máximos desses íons nas águas subterrâneas de Fortaleza estão listados na Tabela 6.4.1.

O potássio variou pontualmente de 0,75 (1 amostra no oeste e 2 no setor Leste/Sul) a 35,99 mg/L (1 amostra no setor oeste); o cálcio variou de 0,78 (2 amostras no setor oeste) a 94,25 mg/L (1 amostra na parte sul da área), e o magnésio de 4,7 a 75 mg/L, ambos na porção norte da área.

O potássio tem a tendência de estar sempre presente nos sedimentos argilosos em proporções maiores do que nas rochas ígneas. O cálcio é abundante na maioria das águas e rochas, enquanto o magnésio é muito raro nas águas subterrâneas devido a sua escassez geoquímica.

O potássio regula os batimentos cardíacos, controla os impulsos nervosos e as concentrações musculares e a sua ausência provoca fadiga, ausência de açúcar no sangue e insônia. O cálcio tem a função de manter os ossos saudáveis, além de atuar no mecanismo de coagulação do sangue, controlar impulsos nervosos e as contrações musculares. Em grandes quantidades, pode causar dores musculares, fraqueza, sede, desidratação, enjoo e pedras nos rins, e sua ausência pode provocar raquitismo e osteoporose. O magnésio tem a função de converter o açúcar em energia, além de ser necessário para o bom funcionamento dos nervos e músculos. Sua carência pode provocar nervosismo e tremores e em excesso pode provocar distúrbios intestinais (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983).

Ferro

As concentrações de ferro nas águas subterrâneas em 16% (distribuídos aleatoriamente na porção norte, sul, leste e oeste da área) estão acima do permitido pela Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde (0,3 mg/L) (Tabela 6.4.1). Na área, é comum a ocorrência da “*capa rosa*” nas águas subterrâneas, cuja origem pode estar vinculada ao Sistema Aquífero Barreiras que normalmente apresenta em seus níveis lateríticos elevadas concentrações de ferro.

Suas fontes são minerais ferro-magnesianos (máficos) portadores de Fe, tais como a magnetita, biotita, pirita, piroxênios e anfibólios. Em virtude de afinidades geoquímicas, quase sempre é acompanhado do manganês.

No organismo humano, o ferro atua na formação da hemoglobina, a sua carência pode causar anemia e seu excesso pode aumentar a incidência de problemas cardíacos e diabéticos.

Alumínio

O alumínio está presente em 63 amostras (Tabela 6.4.1), sendo 3 (porção oeste da área) estão fora do limite permitido (0,2 mg/L) pela Portaria N° 2914/2011 do MS (BRASIL, 2011). O aumento da concentração de alumínio está associado ao período de chuva e, portanto, com a alta turbidez da água. O nível de alumínio no consumo humano tem sido associado ao aumento de casos de demência senil do tipo Alzheimer.

Na água, o alumínio é complexado e influenciado pelo pH, temperatura e a presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes. A solubilidade é baixa em pH entre 5,5 e 6,0; por isso, as maiores concentrações devem aparecer em profundidade, onde o pH é menor e pode ocorrer anaerobiose. Se a estratificação, e consequente anaerobiose, não for muito forte, o teor de alumínio diminui no corpo de água como um todo, a medida que se distancia a estação chuvosa (FIGUEIREDO, 2004, p.52).

Fluoreto

Nas amostras analisadas, 100% (201 dados) delas (Tabela 6.4.1) estão dentro do limite permitido (1,5mg/L) pela Portaria N° 2914/2011 do MS (BRASIL, 2011). Os fluoretos são comumente encontrados em pequenas concentrações nas águas subterrâneas. Possui solubilidade limitada e pouco contribui para a alcalinidade da água, pois se hidroliza rapidamente.

O flúor, em baixo teores, até 1,5 mg/L, é benéfico a saúde na prevenção de cáries dentárias de crianças em fase de crescimento. Acima deste teor já é prejudicial, causando manchas nos dentes e deformação dos ossos. Doses excessivas causam a morte. É muito tóxico para os vegetais.

Dureza Total

A dureza total nas amostras analisadas (Tabela 6.4.1) estão 100% dentro do limite permitido (500 mg/L) pela Portaria N° 2914/2011 do MS (BRASIL, 2011).

A dureza nas águas subterrâneas é uma propriedade que provoca incrustações nas tubulações, causando sérios problemas ao sistema de abastecimento, além de dificultar o cozimento dos alimentos.

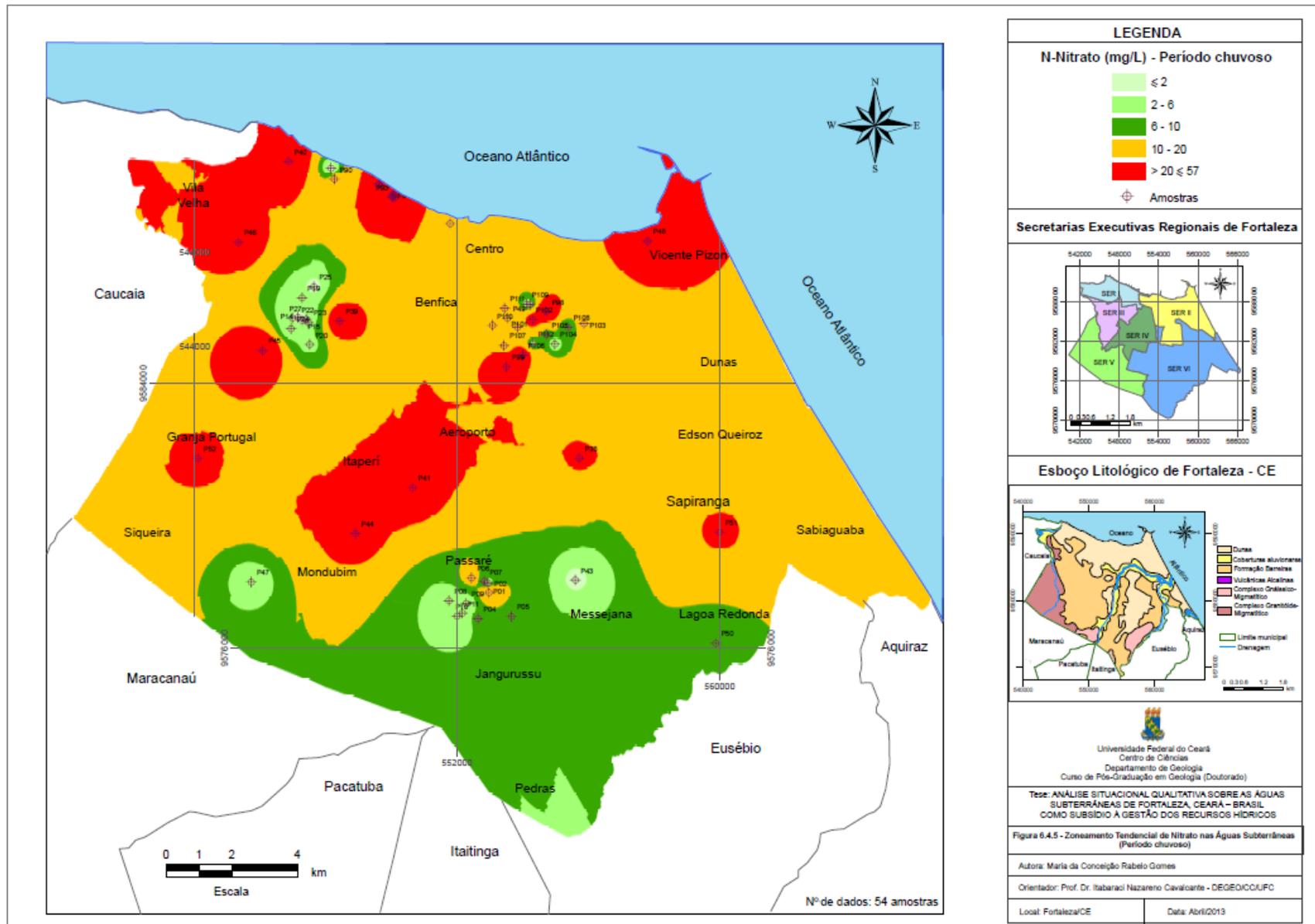
Em geral, os sais em contato com as águas, podendo ser um Carbonato de Cálcio (CaCO_3), Dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), MgCO_3 (Magnesita) e CaSO_4 (Sulfato de cálcio) definem a dureza da água.

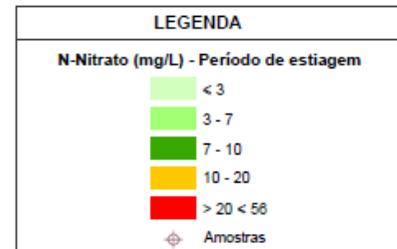
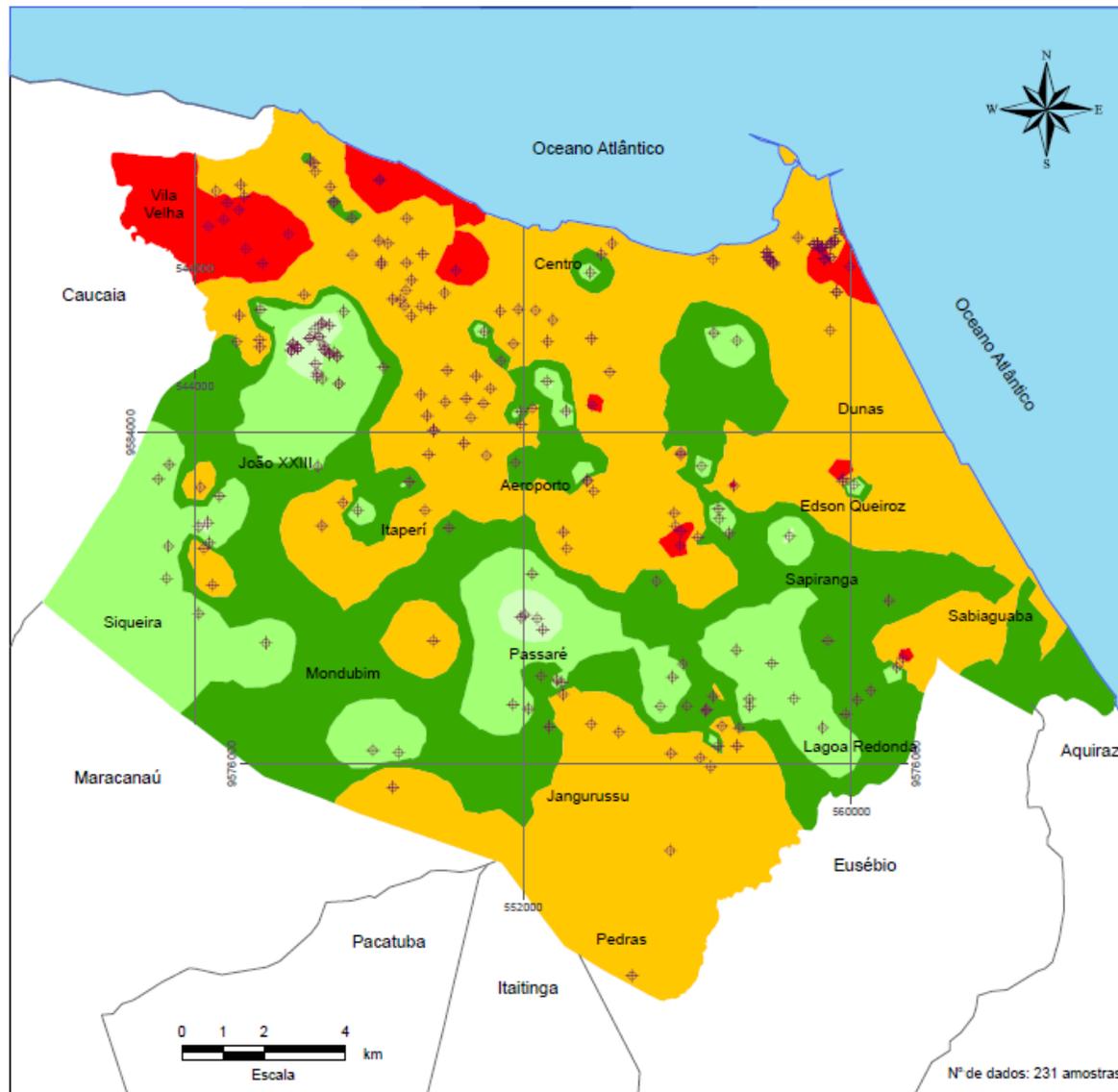
N-Nitrato

Das 285 amostras analisadas (Tabela 6.4.1), 50% (142) delas estão acima do permissível pela Portaria N° 2914/2011 (10 mg/L N-Nitrato), atingindo em até 46% (Cristo Redentor - sul) e 47% (Dom Lustosa - oeste) acima do limite máximo recomendado pela Portaria N° 2914/2011 do MS (BRASIL, 2011).

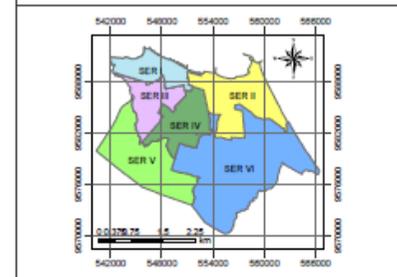
A distribuição espacial de nitrato na área mostra aumento na zona centro-norte (Figuras 6.4.5 e 6.4.6) refletindo o efeito das ações antrópicas pela concentração populacional ao longo dos bairros. As análises realizadas em águas subterrâneas no período de 2001 a 2011 apresentaram altas concentrações de nitrato (>10mg/L de N-Nitrato), com 56% (período chuvoso) e 48% (estiagem) das amostras fora do aceitável para consumo humano.

Segundo Lemos e Medeiros (2006), o nitrato no sistema digestivo é transformado em nitrosaminas, que são substâncias carcinógenas. O excesso de íons nitrato na água e no alimento pode levar a um aumento na incidência de câncer de estômago. Crianças com menos de três (03) meses de idade tem bactérias em seu aparelho digestivo que reduzem o nitrato a nitrito que se liga muito fortemente à moléculas de hemoglobina, impedindo-as de transportar oxigênio para as células do organismo. A deficiência de oxigênio leva à danos neurológicos permanentes, dificuldade de respiração e, em casos mais sérios, à morte por asfixia (metaglobenemia ou “*síndrome do bebe azul*”).

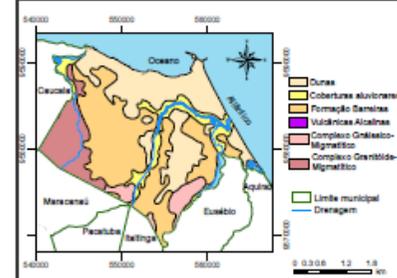




Secretarias Executivas Regionais de Fortaleza



Esboço Litológico de Fortaleza - CE



Universidade Federal do Ceará
 Centro de Ciências
 Departamento de Geologia
 Curso de Pós-Graduação em Geologia (Doutorado)

Tese: ANÁLISE SITUACIONAL QUALITATIVA SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE FORTALEZA, CEARÁ - BRASIL COMO SUBSÍDIO À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Figura 6.4.6 - Zoneamento Tendencial de Nitrato nas Águas Subterrâneas (Período: estiagem)

Autora: Maria da Conceição Rabelo Gomes

Orientador: Prof. Dr. Itabaráci Nazareno Cavalcante - DEGEOL/CC/UFCE

Local: Fortaleza/CE Data: Abril/2013

Nº de dados: 231 amostras

Turbidez

Dos 216 dados analíticos (Tabela 6.4.1), 60 (28%) amostras distribuídas aleatoriamente na área apresentaram valores de turbidez acima do padrão de potabilidade estabelecidos pela Portaria N° 2914/2011, que é o Valor Máximo Tolerável de 5,0 UT. Isso se deve, provavelmente, ao baixo mecanismo de diluição nas amostras coletadas durante o período de estiagem, e/ou também à ausência de proteção sanitária dos poços, o que permite a entrada de impurezas, aumentando a turbidez das águas.

STD

Nas amostras analisadas, os Sólidos Totais Dissolvidos estão em 98,6% delas abaixo do limite permitido (1000 mg/L) pela Portaria N° 2914/2011 do MS (Tabela 6.4.1).

A distribuição espacial do STD na área pode ser visualizada nas Figuras 6.4.7 e 6.4.8; o STD aumenta pontualmente na parte noroeste e ao sul no período chuvoso, e a sudoeste e ao norte durante a estiagem.

Este comportamento é semelhante àquele observado para os cloretos, refletindo um processo de incorporação de águas recentes (águas de chuva), fazendo com que ocorra a diluição das concentrações de íons dissolvidos na água. Este processo é imediato e ocorre apenas durante o período chuvoso, após o qual as concentrações tendem a se reequilibrar.

A concentração de sais nas águas subterrâneas de Fortaleza pode ser produzida por diversos fatores, sendo os mais prováveis a dissolução e o processo de evaporação.

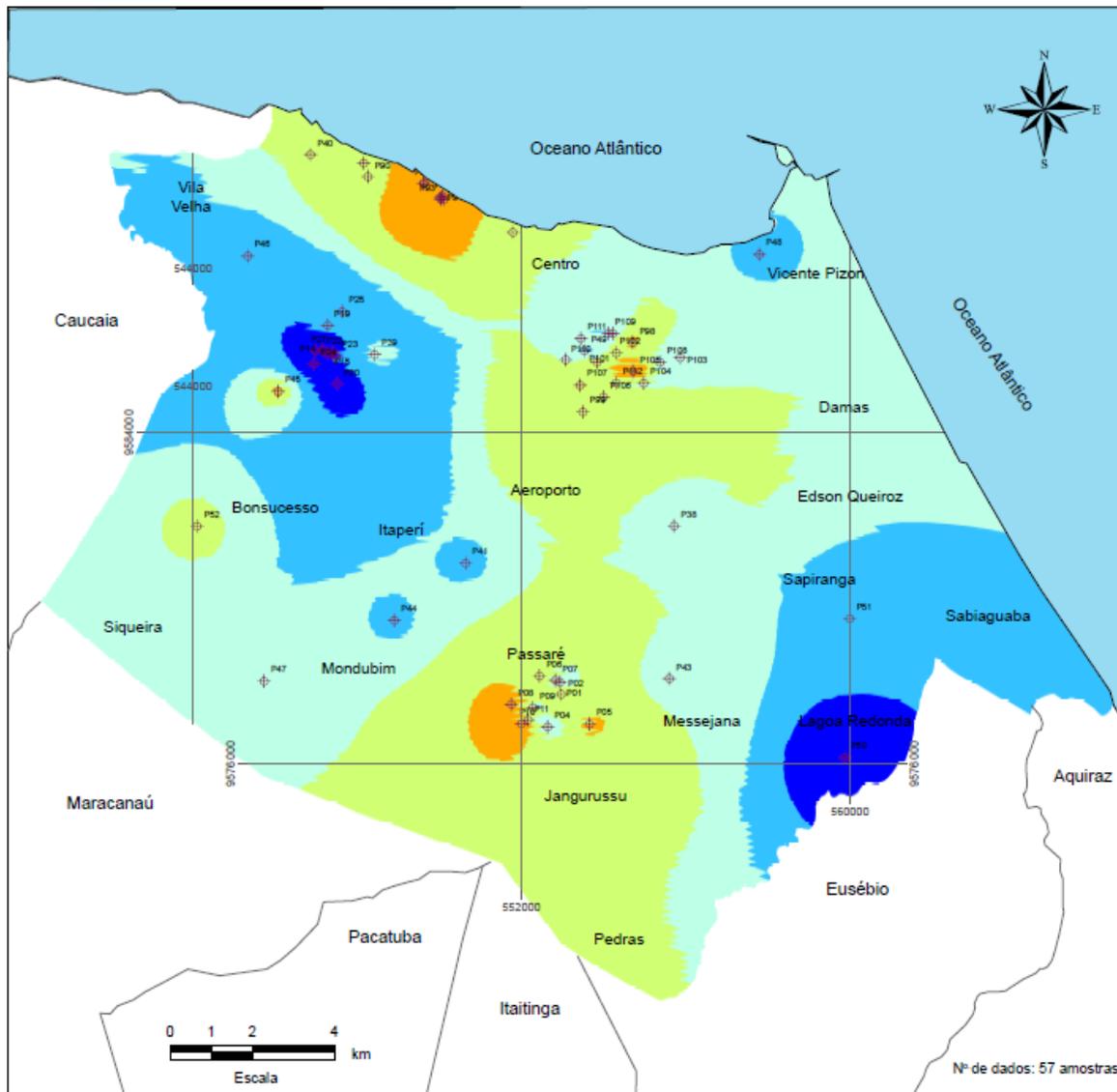
No primeiro caso, a concentração por dissolução nas águas subterrâneas tende a atingir um equilíbrio com as rochas que estão em contato e, quanto mais lenta a circulação maior é o tempo de contato, conseqüentemente, maior será o acréscimo na concentração total de sais na água do aquífero; o segundo processo é influenciado essencialmente pelas condições climáticas, podendo se verificar o aparecimento de maiores concentrações de sais nas regiões de climas quentes e secos (POHLING *et al.*, 1981).

Fosfato

Das 46 amostras (Tabela 6.4.1) analisadas somente no período de estiagem, duas amostras no setor noroeste da área apresentaram o máximo de 1,42 mg/L (poços P140 - Parquelândia e P143 - Vila Éllery).

Segundo Mathess (1982), a concentração de fosfato deve ser baixa (< 0,5 mg/L) em águas naturais, devido a ação dos microrganismos. Valores acima de 1,0 mg/L

geralmente são indicativos de águas poluídas. O fosforo, por via antropogênica, pode ser acrescido às águas subterrâneas por derivados de detergentes, efluentes domésticos, inseticidas e pesticidas.



LEGENDA

STD (mg/L) de laboratório (Período chuvoso)

- 70 - 200
- 200 - 300
- 300 - 400
- 400 - 500
- 500 - 838
- Amostras

Secretarias Executivas Regionais de Fortaleza

Esboço Litológico de Fortaleza - CE

Universidade Federal do Ceará
 Centro de Ciências
 Departamento de Geologia
 Curso de Pós-Graduação em Geologia (Doutorado)

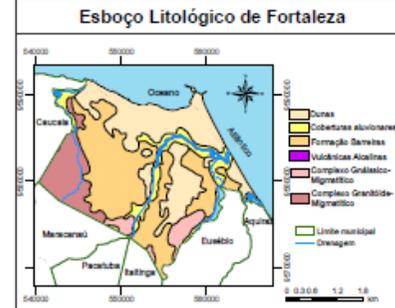
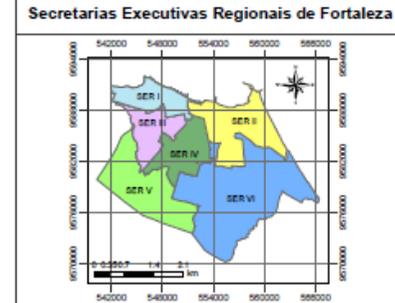
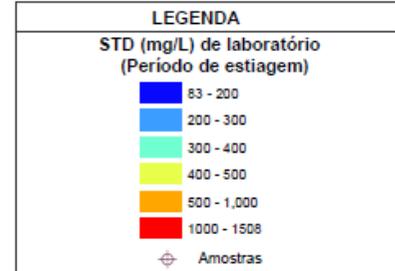
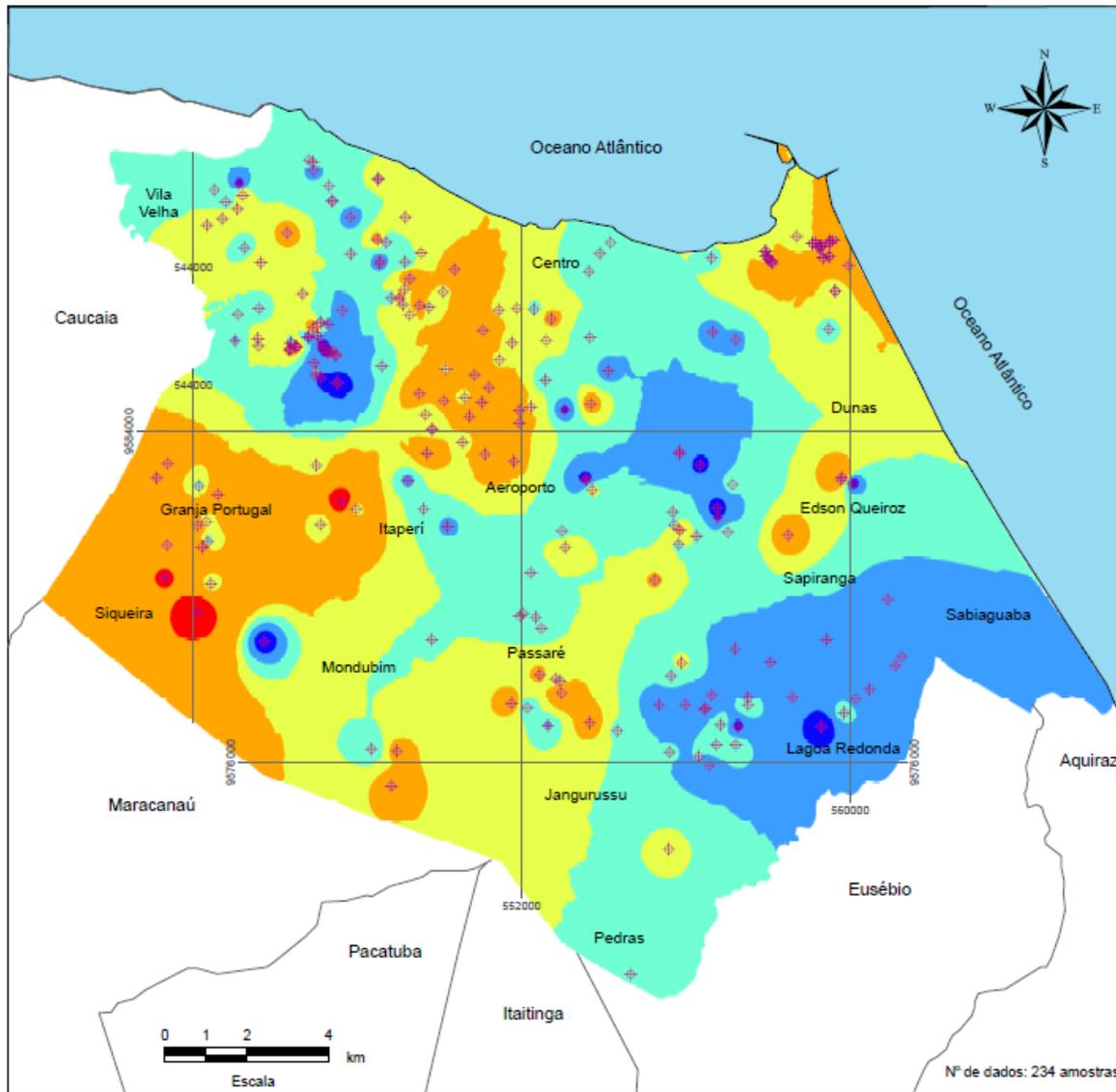
Tese: ANÁLISE SITUACIONAL QUALITATIVA SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE FORTALEZA, CEARÁ - BRASIL, COMO SUBSÍDIO À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Figura 8.4.7 - Zoneamento Tendencial de STD nas Águas Subterrâneas (Período chuvoso)

Autora: Maria da Conceição Rabelo Gomes

Orientador: Prof. Dr. Itabaci Nazareno Cavalcante - DEGEOC/UFC

Local: Fortaleza/CE Data: Abril/2013



Universidade Federal do Ceará
 Centro de Ciências
 Departamento de Geologia
 Curso de Pós-Graduação em Geologia (Doutorado)

Tese: ANÁLISE SITUACIONAL QUALITATIVA SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE FORTALEZA, CEARÁ - BRASIL COMO SUBSÍDIO À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Figura 6.4.8 - Zoneamento Tendencial de STD nas Águas Subterrâneas (Período: estiagem)

Autora: Maria da Conceição Rabelo Gomes

Orientador: Prof. Dr. Itamaraci Nazareno Cavalcante - DEGEOL/CAUF

Local: Fortaleza/CE Data: Abril/2013

Tabela 6.4.1 - Parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011)

| Parâmetro analisado | Período Chuvoso (57 amostras) | | | Período de Estiagem (234 amostras) | | | VMP pela Portaria 2914/2011 do MS. |
|---|-------------------------------|--------|--------|------------------------------------|--------|--------|------------------------------------|
| | Média | Mínimo | Máximo | Média | Mínimo | Máximo | |
| pH (a 25°C) | - | 4,50 | 8,10 | - | 4,06 | 8,39 | 6,0 – 9,5 |
| CE (µS/cm) | 689,10 | 145,0 | 1611,0 | 660,9 | 125,0 | 3450,0 | - |
| Bicarbonato (mg/L HCO ₃ ⁻) | 67,57 | 5,93 | 173,00 | 87,43 | 4,92 | 532,30 | - |
| Cloreto (mg/L Cl ⁻) | 148,73 | 28,99 | 515,00 | 119,41 | 18,00 | 456,5 | 250 |
| Sulfato (mg/L SO ₄ ⁻²) | 36,03 | 0,43 | 93 | 35,44 | 0,17 | 260,00 | 250 |
| Sódio (mg/L Na ⁺) | 74,28 | 7,0 | 209,5 | 75,23 | 9,00 | 440,00 | 200 |
| Potássio (mg/L K ⁺) | 13,83 | 1,74 | 29,00 | 10,12 | 0,74 | 35,99 | - |
| Cálcio (mg/L Ca ⁺) | 22,18 | 0,78 | 75,00 | 23,81 | 0,78 | 94,25 | - |
| Magnésio (mg/L Mg ⁺) | 20,71 | 1,10 | 56,00 | 16,80 | 2,40 | 54,24 | - |
| Ferro Total (mg/L Fe) | 0,31 | 0,01 | 6,04 | 0,30 | 0,00 | 6,93 | 0,3 |
| Alumínio (mg/L Al) | 0,05 | 0,00 | 0,17 | 0,07 | 0,01 | 0,42 | 0,2 |
| Fluoreto (mg/L F ⁻) | 0,49 | 0,30 | 1,0 | 0,18 | 0,03 | 1,00 | 1,5 |
| Alcalinidade Total (mg/L CaCO ₃) | 64,78 | 10,00 | 173,00 | 69,52 | 4,00 | 436,30 | - |
| Dureza Total (mg/L CaCO ₃) | 141,16 | 16,50 | 420,00 | 129,35 | 12,00 | 356,00 | 500 |

Legenda: VMP - Valor Máximo Permissível; MS - Ministério da Saúde; CE – Condutividade Elétrica e STD - Sólidos Totais Dissolvidos.

Tabela 6.4.1 - Parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011) (Continuação)

| Parâmetro analisado | Período Chuvoso (57 amostras) | | | Período de Estiagem (234 amostras) | | | VMP pela Portaria 2914/2011 do MS. |
|--|-------------------------------|--------|--------|------------------------------------|--------|---------|------------------------------------|
| | Média | Mínimo | Máximo | Média | Mínimo | Máximo | |
| Nitrogênio Amoniacal (mg/L N-NH _{3,4}) | 0,44 | 0,02 | 4,47 | 0,69 | 0,00 | 5,16 | 1,5 |
| Nitrito (mg/L N-NO ₂) | 0,10 | 0,00 | 0,84 | 0,66 | 0,00 | 17,87 | 1,0 |
| Nitrato (mg/L N-NO ₃) | 16,11 | 0,62 | 57,0 | 11,99 | 0,06 | 56,00 | 10,0 |
| Turbidez (UT) | 30,34 | 0,35 | 472,00 | 6,41 | 0,23 | 113,00 | 5,0 |
| STD (mg/L) | 382,17 | 70,00 | 838,00 | 416,91 | 82,85 | 1508,30 | 1000 |
| Sílica (mg/L SiO ₂) | 17,52 | 4,00 | 55,00 | 17,68 | 2,88 | 64,89 | - |
| Fosfato (Ortofosfato) (mg/L P-PO ₄) | - | - | - | 0,24 | 0,00 | 1,42 | - |

Legenda: VMP - Valor Máximo Permissível; MS - Ministério da Saúde; CE - Condutividade Elétrica e STD - Sólidos Totais Dissolvidos.

6.4.1.2. Análises Bacteriológicas

No Quadro 6.4.1 são apresentadas as análises bacteriológicas de 87 amostras de águas subterrâneas coletadas de 72 poços (Apêndice D). Os 72 poços localizados nos bairros Passaré, Barroso, Granja Portugal, Bom jardim, Vicente Pizon (Morro Santa Terezinha), Messejana, Barra do Ceará, Cristo Redentor e Pirambu foram selecionados pelos autores por serem bairros com ausência ou deficiência de saneamento básico, no período da pesquisa.

A qualidade da água é influenciada direta ou indiretamente por processos biológicos. Organismos uni ou multicelulares vivendo nas águas se adaptaram para usar sólidos dissolvidos e suspensos nos seus metabolismos e depois libertar o produto dos mesmos para as águas (SZIKSZAY, 1993).

Quadro 6.4.1 - Análises bacteriológicas das águas subterrâneas de Fortaleza, Ceará

| Análises Bacteriológicas | Nº de amostras | Período de coleta | Bairro/SER | Fonte de dados |
|---|----------------|--------------------|---|-------------------------|
| Bactéria <i>Escherichia coli</i> e <i>Klebsiella Sp</i> | 19 | 12/2001 05/2002 | Passaré e Barroso/VI | Souza (2002) |
| Coliformes Totais (Col/ml/37°C) | 10 | 11/2005 | Granja Portugal e Bom Jardim/V | Lemos & Medeiros (2006) |
| e Coliformes Fecais (Col/ml/45°C) | 28 | 11/2007 06/2008 | Vicente Pizon/II | Carneiro (2009) |
| Coliformes Termotolerantes | 14 | 11/2005 | Messejana/VI | Maia (2008) |
| | 16 | 12/2007 02/2008 | Barra do Ceará, Cristo Redentor e Pirambu/I | Pereira (2008) |

Legenda: SER = Secretaria Executiva Regional.

Em 2001/2002, das 19 amostras de águas subterrâneas analisadas na região circunvizinha ao Lixão do Jangurussu (setor sul da área) em dois períodos distintos, foi detectada a presença de bactérias em todas as amostras. O tipo de bactéria *Escherichia coli* estava presente em 18 amostras (período chuvoso e estiagem) e em uma amostra com o tipo *Klebsiella Sp* (período de estiagem), cujas concentrações variaram de 2.419,20 a 72,70 NMP/100mL. Esta contaminação na área está relacionada aos compostos nitrogenados e ao choro gerados pelo lixão, que podem ficar retidos nos sedimentos argilosos da Formação Barreiras.

As 10 amostras analisadas em 2005, nos bairros Granja Portugal e Bom Jardim (setor oeste da área), mostraram que 9 apresentaram coliformes totais e fecais e apenas a água de um poço tubular profundo não estava contaminada. As amostras tiveram valores de 240×10^3 a $2,3 \times 10^3$ de Coliformes Totais (Col/ml/37°C).

Das 28 amostras de águas subterrâneas do bairro Vicente Pizon (Morro Santa Terezinha) analisadas em 2007/2008, no setor norte de Fortaleza, todas apresentaram coliformes totais e fecais, com maiores concentrações no período chuvoso (máximo detectável pelo método: $> 2419,6$ NMP/100mL), situação mais favorável para o acesso dos

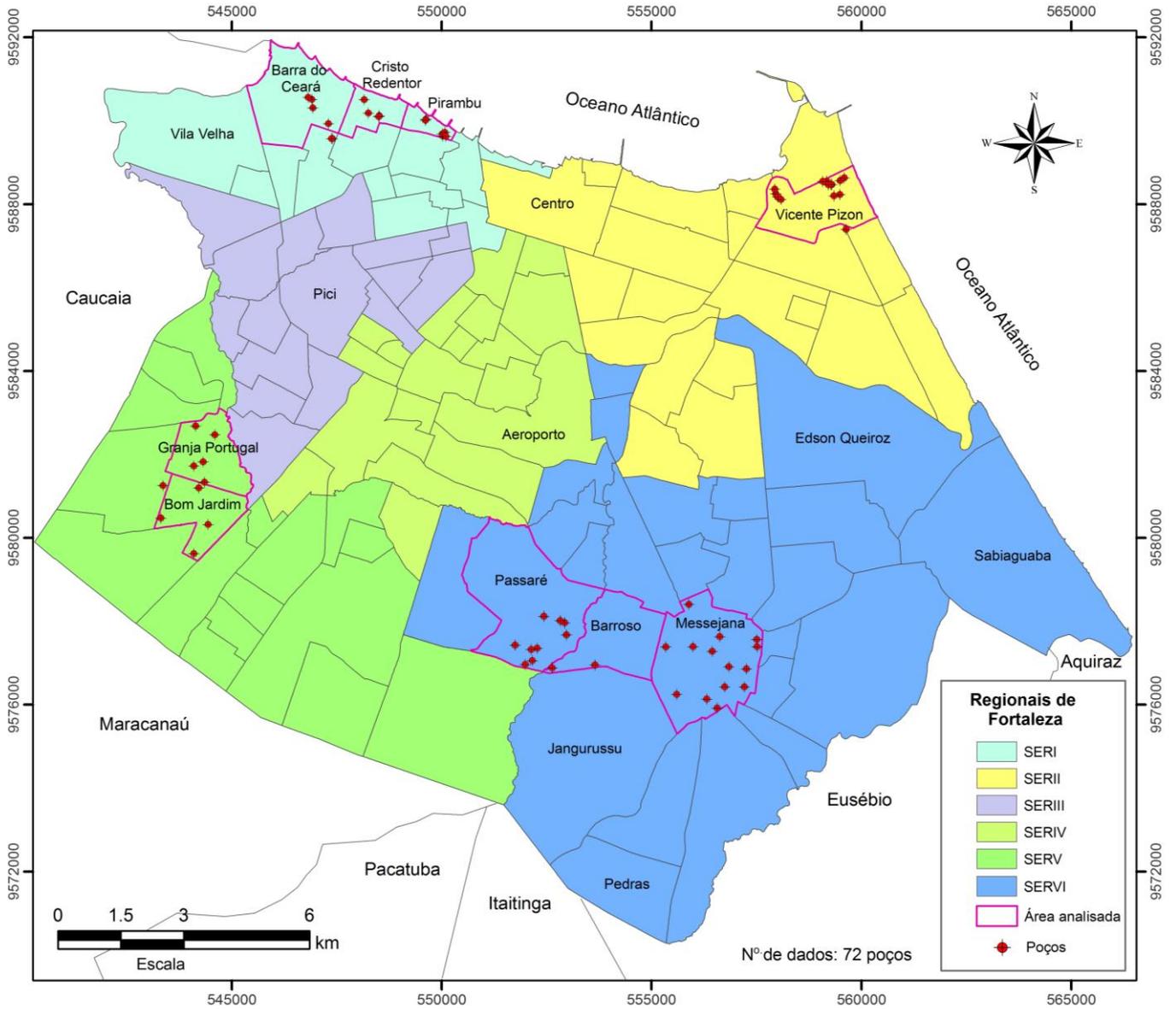
microrganismos ao aquífero durante esse período, época em que o nível freático se acha mais elevado.

As águas subterrâneas do bairro de Messejana (setor sul da área) analisadas em 2005 apresentaram bactérias do grupo Coliformes Termotolerantes; de 14 amostras, 6 apresentaram esse tipo de bactéria, que indicam contaminação direta ou indireta por fezes, tendo como consequência o risco de contaminação por micro-organismos patogênicos que são veiculados a água.

Foram analisadas 16 amostras em 2007/2008 em três bairros do setor norte da área; o Bairro Cristo Redentor e Pirambu apresentou em 5 amostras a presença de bactérias do grupo Coliformes Termotolerantes, enquanto ausência dessa bactéria no Bairro Barra do Ceará.

Assim, de acordo com essas pesquisas realizadas nos bairros de Fortaleza (Figura 6.4.9), pode-se constatar que das 87 amostras, em 77% (67 amostras) delas foi detectada a presença de coliformes totais e/ou fecais. A existência dos coliformes na água confere efetiva contaminação biológica, aumentando os riscos de incidência de doenças de veiculação hídrica.

Figura 6.4.9 - Distribuição dos poços amostrados para análises bacteriológicas em bairros de Fortaleza – CE (Período de 2001 a 2008)



6.4.2. Irrigação

Com a análise de 57 amostras de água subterrânea coletadas no período chuvoso e 234 na estiagem, pode-se avaliar a água para uso na irrigação (Tabela 6.4.2).

As 7 e 15 amostras coletadas nos períodos chuvoso e estiagem, respectivamente, pertencem à classe $C_1 - S_1$ mostrando um baixo risco de salinidade e valores de SAR (Razão de Adsorção de Sódio) entre 0 a 10, enquadrando-se na faixa de Baixo Risco de Sódio, podendo ser usada para irrigação em muitos tipos de lavouras e diferentes solos com pequeno risco de salinidade, exceto quando a permeabilidade do solo for extremamente pequena, dificultando muito o fluxo hídrico e permitindo a retenção de cloretos aumentando, assim, a salinidade dos solos.

Delas, 49% (28) e 73,5% (172) das amostras coletadas nos períodos chuvoso e estiagem pertencem a classe $C_2 - S_1$, identificando um Médio Risco de Salinidade e Baixo Risco de Sódio; são águas que podem ser utilizadas para irrigação em grande parte dos tipos de solos e plantas com tolerância salina e em função do SAR, são de excelente qualidade.

Em 33% (19) e 14,5% (34) das amostras coletadas no período chuvoso e estiagem, tem-se as às classes $C_3 - S_1$, identificando um Alto Risco de Salinidade e Médio Risco de Sódio.

As amostras do período chuvoso e estiagem são 4% (2) e 4,1% (10) do tipo $C_3 - S_2$, identificando um Alto Risco de Salinidade e um Médio Risco de Sódio e que só devem ser usadas em solos bem drenados e somente com plantas que apresentem boa tolerância salina.

As demais classes ($C_2 - S_2$, $C_2 - S_3$, $C_3 - S_3$ e $C_4 - S_3$) ocorrem com menor frequência na área (4 amostras). É difícil definir padrões químicos em termos de limites fixos para a irrigação em função direta das variações de tolerância para cada planta, bem como as variações pedológicas. Para as plantas devem ser consideradas a salinidade da água e sua concentração em elementos particularmente tóxicos, como o boro, que não foi analisado nesse trabalho.

As Figuras 6.4.10 e 6.4.11 apresentam a distribuição espacial das águas subterrâneas nas duas amostragens.

Tabela 6.4.2. - Frequência dos tipos de águas para irrigação, Fortaleza - Ceará (Período de 2001 a 2011)

| Tipos | Nº de Amostras | | Frequência Relativa (%) | | | |
|--------------------------------|-----------------|---------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|----------------|
| | Período Chuvoso | Período de Estiagem | Período Chuvoso | Período de Estiagem | Risco de salinidade | Risco de Sódio |
| C ₁ -S ₁ | 7 | 15 | 12 | 6,4 | Baixo | Baixo |
| C ₂ -S ₁ | 28 | 172 | 49 | 73,5 | Médio | Baixo |
| C ₂ -S ₂ | - | 1 | - | 0,43 | Médio | Médio |
| C ₂ -S ₃ | 1 | - | 2 | - | Médio | Forte |
| C ₃ -S ₁ | 19 | 34 | 33 | 14,5 | Alto | Baixo |
| C ₃ -S ₂ | 2 | 10 | 4 | 4,3 | Alto | Médio |
| C ₃ -S ₃ | - | 1 | - | 0,43 | Alto | Forte |
| C ₄ -S ₃ | - | 1 | - | 0,43 | Muito alto | Forte |
| Total | 57 | 234 | 100 | 100 | - | - |

Figura 6.4.10 - Classificação das águas subterrâneas para irrigação de acordo com o Diagrama U. S. Salinity Laboratory (Período: maio/2002 a março/2008)

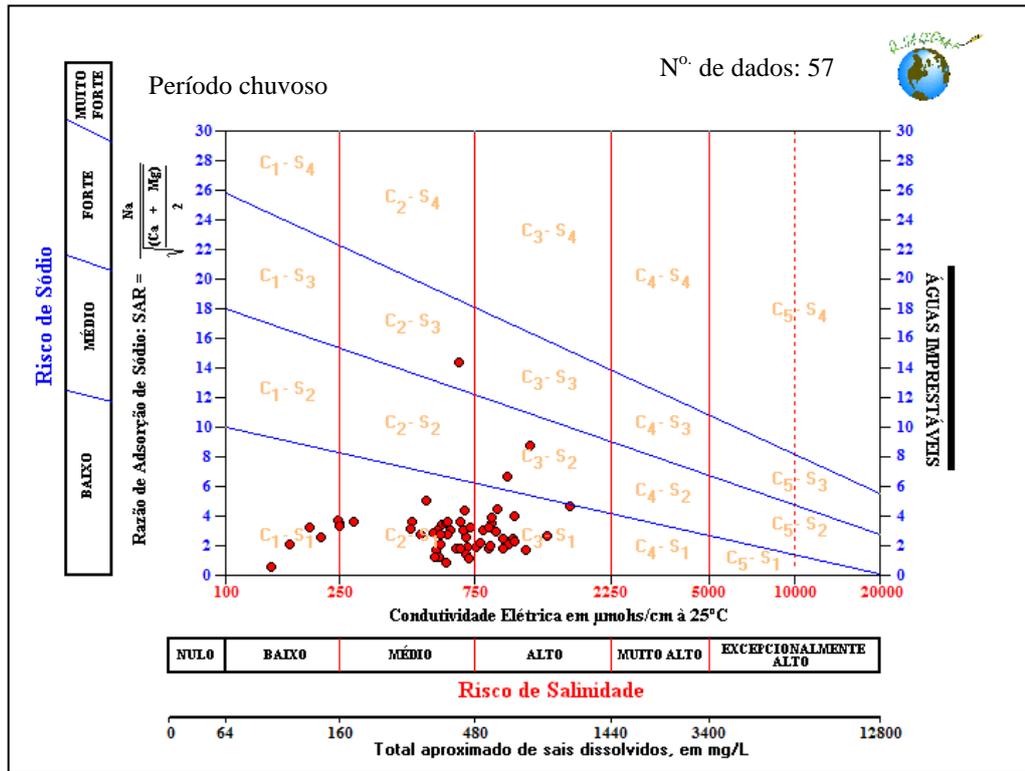
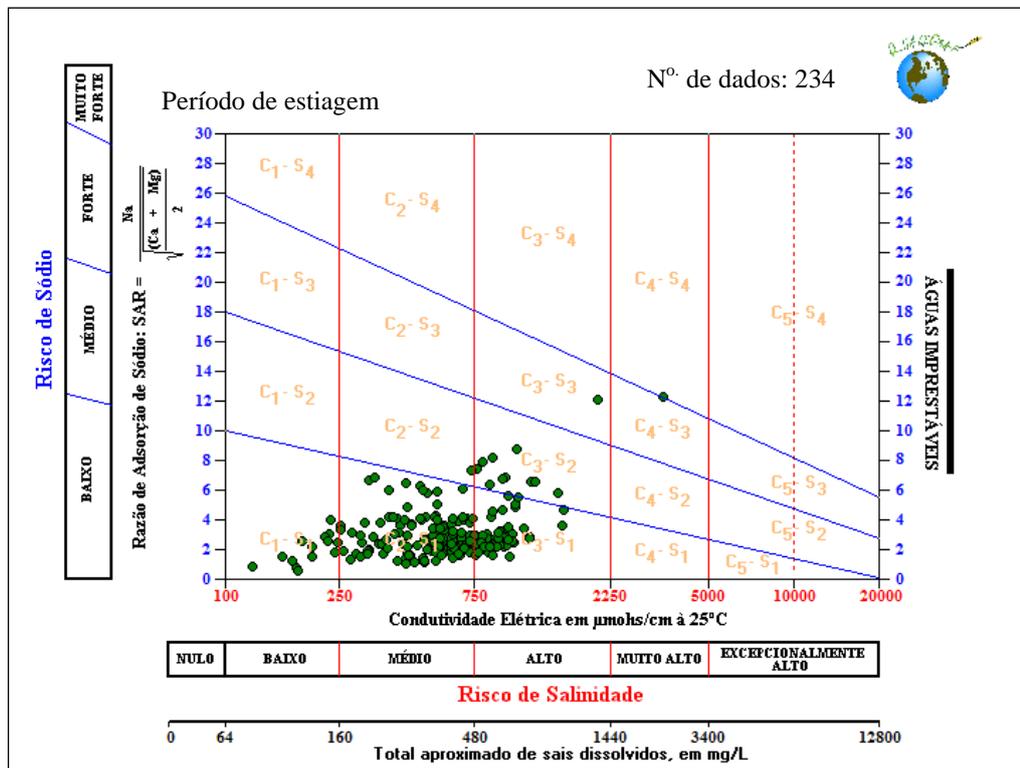


Figura 6.4.11 - Classificação das águas subterrâneas para irrigação de acordo com o Diagrama U. S. Salinity Laboratory (Período: dezembro/2001 a novembro/2011)



6.4.3. Direcionamento do uso das águas subterrâneas

A utilização da água para uma determinada atividade é determinada pela sua qualidade. Um dos aspectos mais importantes da gestão da água subterrânea é a proteção da qualidade do aquífero (TANCREDI, 1996, p.67).

Os critérios adotados para avaliar a adequabilidade para cada uso variam em função da finalidade proposta e dos constituintes que possam afetá-las, existindo diversos padrões, para direcionar a utilização para consumo humano, irrigação, recreação e industrial. Ressalta-se que, além dos resultados físico-químicos e bacteriológicos, existem necessidades locais que podem anular determinados limites de padrões de tolerância.

No direcionamento das águas para consumo humano é utilizado a Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, onde foi constado amostras com concentrações acima do Valor Máximo Permitido pela Portaria vigente, tais como pH (105 amostras), nitrato (142 amostras), cloreto (8 amostras), sulfato (1 amostra), sódio (5 amostras), ferro (38 amostras), alumínio (3 amostras), turbidez (60 amostras) e Sólidos Totais Dissolvidos (4 amostras), logo essas águas devem ser direcionadas conforme normas/padrões específicas para o uso na irrigação, recreação e indústria.

O uso da água subterrânea para irrigação deve ser avaliado pela qualidade química das águas, textura e estrutura do solo, tipo de manejo, métodos de irrigação empregados e tipos de culturas.

Os critérios de qualidade para água de recreação, em geral, são baseados na exposição humana e na ingestão. Os valores máximos permitidos são semelhantes aqueles destinados para o consumo humano (UMBUZEIRO, 2010) e reforçados pela Resolução CONAMA Nº 396 de 2008 (BRASIL, 2008). Logo, é usual adotar os seguintes padrões para os parâmetros: bactérias coliformes limite de NMP 200/100mL de água; pH em torno de 7 e piscinas com tratamento, cloro residual de 0,4 - 1,0 mg/L.

No universo de 250 poços com águas analisadas, treze deles são utilizados somente para recreação. Além desses, um localizado na Creche Comunitária São Bernardo, Messejana (setor sul da área) é destinado ao uso doméstico e recreação. Do total de 14 poços, 6 tem análise físico-química de suas águas expostas comparativamente aos padrões constantes na Resolução CONAMA Nº 396/2008 (BRASIL, 2008) (Tabela 6.4.3). O poço P228 (sul da área), localizado no Corpo de Bombeiros do Estado do Ceará (José Walter) apresentou nas suas águas, alta concentração de nitrato (21,72 mg/L N-NO₃) indicando poluição remota, pois os íons nitratos são produtos finais de oxidação do nitrogênio.

A água para fins industriais pode ser classificada segundo Mathess (1982), Szikszay (1993) e Driscoll (1986), considerando parâmetros químicos para águas utilizadas em indústrias de refrigeração, açucareira, curtume, laticínios, cervejaria, têxtil, conservas alimentícias, bebidas de suco de frutas e indústria de papel.

De 539 poços cadastrados, 5 (cinco) deles destinavam suas águas para uso industrial, em fabrica de refrigerantes (porção central da área), alimentícias (setor sul da área) e água mineral (setor leste da área), porém suas águas não foram analisadas.

Tabela 6.4.3 - Qualidade das águas subterrâneas destinadas à recreação, Fortaleza - Ceará

| Parâmetro analisado | Parâmetros estatísticos | | | Resolução CONAMA N° 396/2008 “Uso preponderante da água na recreação” |
|---|-------------------------|--------|--------|--|
| | Média | Mínimo | Máximo | |
| pH (a 25°C) | 5,38 | 4,51 | 6,77 | * |
| Alumínio (mg/L Al) | 0,07 | 0,05 | 0,09 | 0,2 |
| Cloreto (mg/L Cl ⁻) | 77,30 | 32,00 | 183,94 | 400 |
| Ferro Total (mg/L Fe) | 0,27 | 0,02 | 0,61 | 0,3 |
| Nitrato (mg/L N-NO ₃ ⁻) | 8,66 | 2,00 | 21,72 | 10,0 |
| Nitrito (mg/L NNO ₂ ⁻) | 0,02 | 0,00 | 0,05 | 1,0 |
| Sódio (mg/L Na ⁺) | 45,86 | 15,00 | 100,38 | 300 |
| Sulfato (mg/L SO ₄ ⁻²) | 18,02 | 2,03 | 50,74 | 400 |

Legenda: * A Resolução CONAMA N° 396 de 2008 não estabelece Valor Máximo Permitido (VMP) para pH..

6.5. Levantamento de Potenciais Fontes de Poluição

Foram definidas as potenciais fontes de poluição na área que podem influenciar na qualidade das águas subterrâneas, tais como a construção de poços sem critérios técnicos, cemitérios, disposição de resíduos (lixões, aterros), tanques de armazenamento (postos de serviço), águas superficiais poluídas, ausência de saneamento básico e agricultura.

6.5.1. Construção de Poços

A Figura 6.5.1 mostra um chafariz público com poço tubular de 65 m de profundidade, onde a água é utilizada para 150 famílias no bairro da Serrinha (parte central da área); de acordo com análises realizadas em agosto/2010, tinha concentração de nitrato de 7mg/L (N-NO₃). Esse poço foi construído em 1950 e, desde então, nunca tinha sido realizada análise de qualidade da água, podendo o poço passar a constituir um potencial risco de poluição a partir do momento em que não são aplicados os critérios técnicos que a obra requer na construção ou no monitoramento qualitativo.

O chafariz público localizado no bairro da Lagoa Redonda (setor leste) também capta água de poço tubular (P208), tem profundidade de 70 m (Figura 6.5.2), e abastece 100 famílias. Conforme as análises realizadas em agosto/2010 tinha concentração de nitrato de 5mg/L (N-NO₃). O bairro tem carências importantes no que se refere às condições socioeconômicas e de saneamento local; não existe obediência à distância mínima entre poço/fossa; a exemplo, do P208, a fossa está a 15 m de distância dele podendo ocasionar problemas de saúde relacionados às doenças de veiculação hídrica.

Convém lembrar que mais de 50% das doenças que acometem a população do município de Fortaleza são oriundas de águas poluídas, a exemplo de tifo, viroses, verminoses, surtos de diarreias e epidemias de cólera, todas de origem hídrica muito frequente nos quadros de saúde pública. Além disso, segundo a Secretaria de Saúde de Fortaleza, no período de 1994-1998 ocorreu uma predominância de diarreias agudas (68,5%) nas crianças com idade inferior a cinco anos (ROUQUARYOL *et al.*, 1999 *apud* QUESADO JUNIOR, 2001).

O Relatório Anual de Gestão 2010 da Secretaria de Saúde do Estado do Ceará – SESA (CEARÁ, 2011) mostra que, estatisticamente, os casos de diarreias na população passaram de 19,8% em 2006, para 7,4 % em 2010 (Dados parciais de novembro de 2010), com significativa redução (Figura 6.5.3).

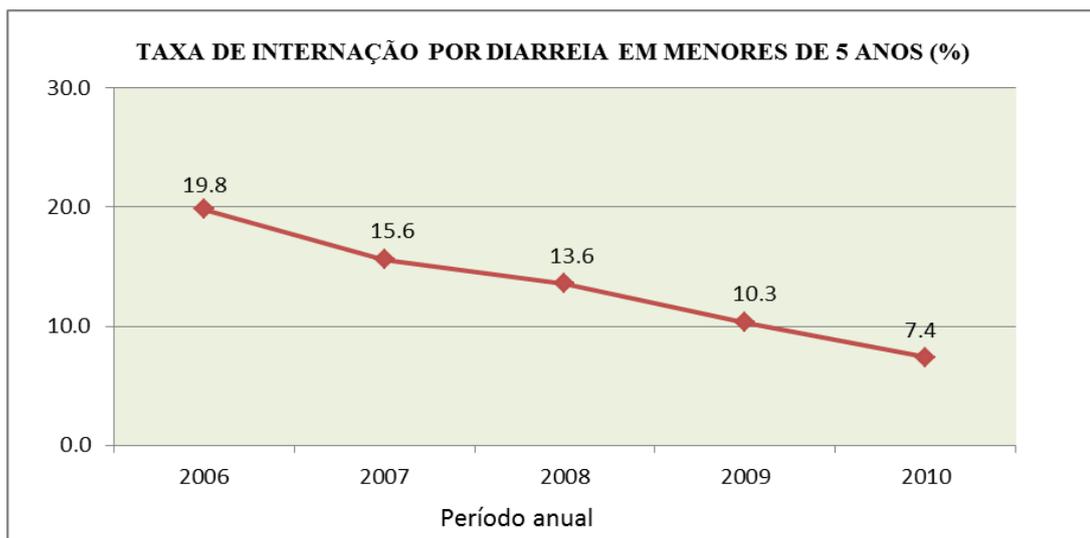
Figura 6.5.1 - Chafariz público no bairro da Serrinha, sendo a água captada através de poço tubular (P172), Fortaleza - CE (Agosto/2010). Coord.: 9581699/550193



Figura 6.5.2 - Poço tubular profundo (P208) utilizado como chafariz público no bairro da Lagoa Redonda, Fortaleza - CE (Agosto/2010). Coord.: (UTM: 9577759/560476)



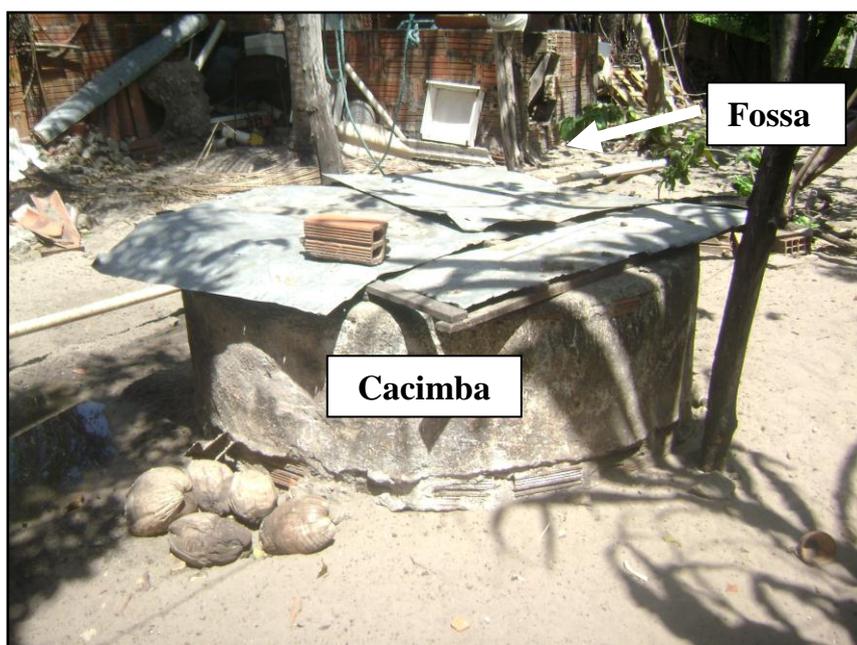
Figura 6.5.3 - Taxa de internação por diarreia no período de 2006 a 2010, Fortaleza - Ceará



Fonte dos dados: Ceará (2011).

É comum observar a construção de poços sem respeitar as normas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR nº 12.212 de 30/04/2006), uma delas a distância mínima de 30 m entre o poço e a fossa. A Figura 6.5.4 mostra a proximidade entre uma cacimba (P205) e a fossa da residência, podendo ocasionar a proliferação de doenças de veiculação hídrica, particularmente quando se consome água sem um tratamento prévio.

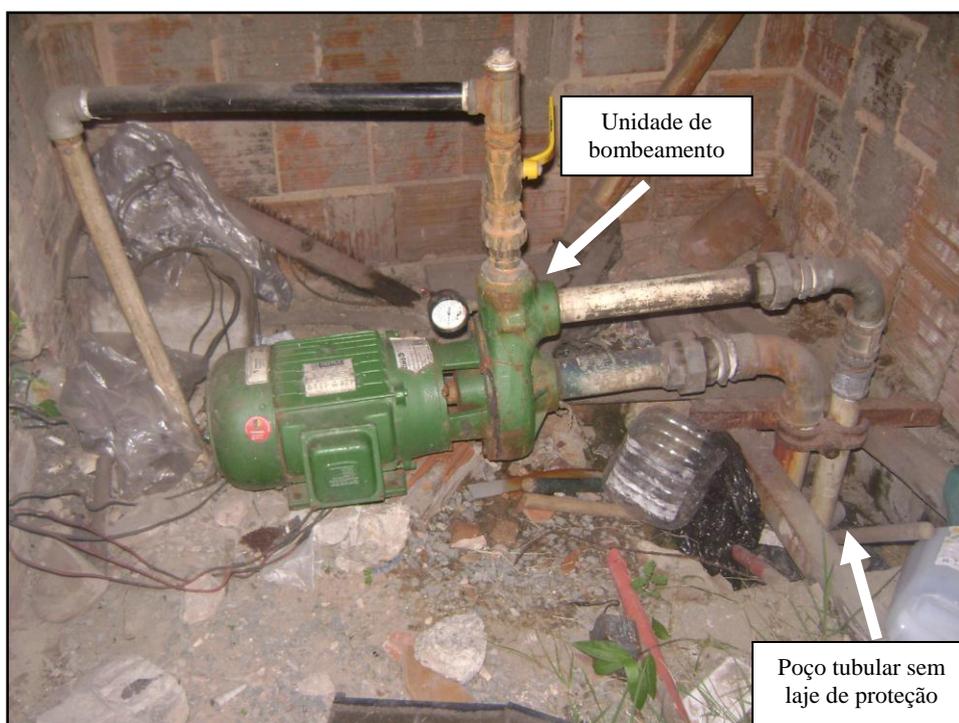
Figura 6.5.4 - Proximidade da cacimba à fossa séptica da residência, Bairro Edson Queiroz, Fortaleza Ceará (Agosto/2010). Coord.: 9582826/559786



A proteção sanitária não é prática comum na área, ocorrendo muito raramente (Figura 6.5.5); o “poço” passa a funcionar como condutor direto e eficiente das águas superficiais, potencialmente poluída para os níveis aquíferos mais profundos.

Um poço mal locado e/ou construído pode ser um elemento condutor de águas poluídas para níveis mais profundos. O emprego de várias fases erradas pertinentes à construção da obra pode resultar em algo não aceitável para funcionar como captadora de águas subterrâneas, sob o risco iminente de possibilitar a captação de uma água poluída, particularmente por nitrato e coliformes fecais, causa de doença de veiculação hídrica e redução de qualidade de vida.

Figura 6.5.5 - Ausência de proteção sanitária no poço P220 (Frotinha de Messejana), Fortaleza - CE (Agosto/2010). Coord.: 9576761/554335



6.5.2. Cemitérios

A preocupação com os cemitérios como fontes potenciais de poluição das águas começou no Brasil na década de 1980 através de pesquisadores do Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas-CEPAS/USP que iniciaram um projeto versando sobre o assunto e, a partir daí, a pesquisa influenciou a elaboração de diretrizes básicas de localização de cemitérios e projetos de lei específicos (PACHECO, 1986; PACHECO et al., 1988;

PACHECO; MENDES, 1990; PACHECO et al., 1990; MARTINS et al., 1991; PACHECO et al., 1992; MIGLIORINI, 1994), *apud* CAVALCANTE (1998).

No município de Fortaleza existem 07 cemitérios (Quadro 6.5.1), sendo o principal problema associado às suas localizações em íntima associação com a Geologia. Dois destes cemitérios, o São Vicente de Paula e o São João Batista localizam-se na orla costeira, situadas sobre o Sistema Hidrogeológico Dunas, onde o nível estático é sub-aflorante em níveis arenosos, com porosidade e condutividade hidráulica que facilitam a acumulação de água e a migração de elementos contaminantes. Os demais cemitérios se encontram atualmente integrados à malha urbana, até mesmo em áreas centrais, a exemplo do que ocorre no bairro da Messejana (porção sul de Fortaleza), onde está o cemitério mais antigo de Fortaleza, remontando a 1836, e que se encontra em plena atividade nos dias de hoje; sendo ao seu redor a existência de uma densidade demográfica de 68,62 habitantes/hectare (Figuras 6.5.6 e 6.5.7).

Quadro 6.5.1 - Cemitérios do município de Fortaleza, Ceará

| Cemitério | Bairro | SER | Fundação/ Inauguração |
|--------------------------------|-----------------|------------|----------------------------------|
| Cemitério Público de Messejana | Messejana | VI | 1836 |
| Cemitério São João Batista | Centro | II | 1865 |
| Cemitério São Vicente de Paula | Mucuripe | II | 1912 |
| Cemitério São José | Parangaba | IV | 1921 |
| Cemitério Santo Antônio | Antônio Bezerra | III | 1935 |
| Cemitério Parque da Paz | Passaré | VI | 1973 |
| Cemitério Parque Bom Jardim | Bom Jardim | V | 1994 |

Figuras 6.5.6 e 6.5.7 - Cemitério Público de Messejana, com residências próximas ao seu perímetro (Dezembro/2011). Coord.: 9576098/556615



Esses cemitérios foram instalados em áreas afastadas dos centros urbanos, mas pelo intenso e desordenado processo de urbanização, atualmente eles se encontram em áreas centrais de bairros de Fortaleza.

Foram realizados estudos sobre o Cemitério São João Batista (MARINHO, 1998 e PONTES, 2010), na faixa costeira de Fortaleza, e no Cemitério Bom Jardim (OLIVEIRA, 2009), na poção sudoeste de Fortaleza. Esses trabalhos identificaram a ocorrência de poluição da água subterrânea causada pelo necro-churume, líquido decorrente da decomposição dos cadáveres sepultados, nos dois cemitérios.

O Cemitério São José, na Parangaba (oeste da área) está localizado em área intensamente urbanizada, sobreposta ao Barreiras (sedimentos areno-argilosos), representando uma potencial fonte de contaminação para as águas subterrâneas. O terreno apresenta-se com inclinação de $0,6^\circ$ na porção NW e o nível estático médio no entorno do cemitério é de 2,6 m, sub-aflorante. Oliveira (2013) calculou o volume produzido de necro-churume gerado pelo Cemitério da Parangaba, com base no número total de sepultamentos relacionado ao sexo e idade ao longo de 23 anos de dados do Cemitério da Parangaba, obtendo 525.524 litros que, potencialmente, podem migrar para o subsolo.

Os cemitérios instalados em terrenos sedimentares, com topografia elevada em relação à circunvizinhança e com o nível estático raso, aliado a uma precipitação irregular, são necrópoles mais susceptíveis à contaminação do recurso hídrico subterrâneo. A pequena profundidade do nível estático em meio sedimentar arenoso, a grande permeabilidade faz com que o contaminante alcance o aquífero com mais facilidade. Em áreas urbanizadas, onde

existem cemitérios instalados, que exibem pouca precipitação e impermeabilização do solo, existe um alto risco a contaminação, pois a recarga será predominantemente o poluente que atingirá o aquífero e a contaminação ocorre em curto espaço de tempo (OLIVEIRA, 2013, p.43).

Para a instalação dos cemitérios nas áreas não foram realizados estudos geotécnicos e hidrogeológicos prévios para estabelecer critérios de adequação de local, evitando que eles possam constituir em risco potencial de contaminação para águas subterrâneas.

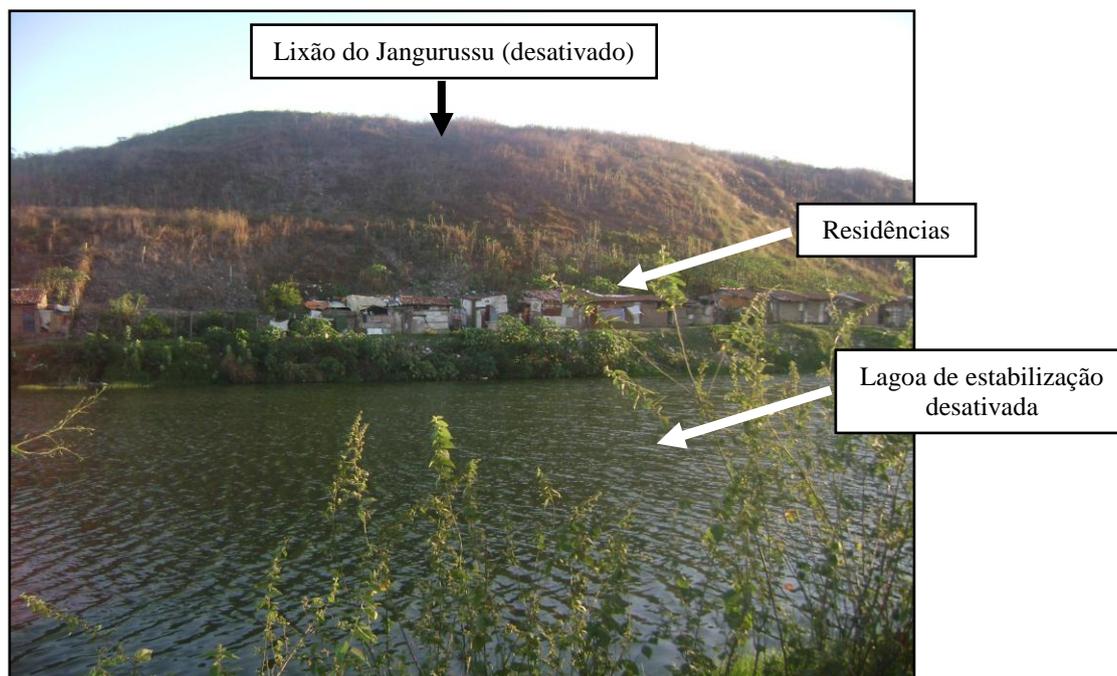
6.5.3. Disposição de resíduos sólidos

O Aterro do Jangurussu (setor sul de Fortaleza) foi projetado para uma vida útil de dez (10) anos, mas acabou funcionando por 20 anos. Durante seu tempo de funcionamento, era o único local existente para atender toda Fortaleza, recebendo uma média diária de 3.300 toneladas de lixo distribuídas em 21,6 hectares. Ao ser inaugurado, o local era um aterro que obedecia às normas técnicas para este fim. Com o passar dos anos, devido à falta de manutenção e descaso com as normas e técnicas sanitárias necessárias, o Aterro do Jangurussu virou “lixão”; isso aconteceu em 1996, quando a carga máxima permitida para o funcionamento normal do aterro foi ultrapassada, sobrecarregando e representando perigo em potencial para a comunidade vizinha, por ser um centro irradiador de animais e doenças. Na época, dentre outros problemas, ocorriam incêndios descontrolados devido à combustão do metano. Em 1997 começaram as negociações para desativação do local, o que acabou acontecendo somente em 1998; ainda hoje o bairro do Jangurussu concentra usina de reciclagem e catadores (DOURADO, 2012).

Atualmente, Fortaleza e Caucaia possuem sistema compartilhado de coleta e de disposição final de resíduos sólidos, direcionando para o Aterro Sanitário Metropolitano Oeste em Caucaia, localizado na margem esquerda e a 1,6 km da BR-020 no município de Caucaia/CE.

O lixão do Jangurussu (Figura 6.5.8), atualmente desativado, ainda representa uma fonte pontual de contaminação e as pesquisas realizadas por Sabadia (2001) e Souza (2002) no entorno de sua área mostram que as águas subterrâneas e superficiais estão seriamente comprometidas qualitativamente, mostrando claramente a transferência de massa dos constituintes do chorume gerado do aterro do Jangurussu no aquífero.

Figura 6.5.8 - Lixão do Jangurussu (Desativado) e a ocupação residencial entre o lixão e águas poluídas, Fortaleza - Ceará (Julho/2010). Coord.: 9577448/552955



Em alguns locais de Fortaleza ocorre à disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos, a exemplo do que acontece no bairro Alagadiço/São Gerardo (setor norte) (Figura 6.5.9), que também pode ser caracterizada como uma potencial fonte pontual de poluição. Muitas vezes os produtos de limpeza, lixo hospitalar, industrial e rejeitos da construção, entre outros, misturam-se num só local envolvendo reações químicas que aceleram a dissolução e liberação de produtos altamente prejudiciais para a rede de drenagem e aquíferos.

Figura 6.5.9 - Disposição inadequada de lixo às margens do riacho João Lopes no bairro Alagadiço/São Gerardo. Fortaleza - Ceará. Coord.: 9587579/549097 (Agosto 2010).



6.5.4. Tanques de armazenamento de combustíveis (Postos de serviço)

Os postos de serviço, também designados de postos de combustíveis, são bastante representativos no município de Fortaleza.

A presença de poços captando água subterrânea próximo a posto de combustível (Figura 6.5.10) é um risco para o usuário desta água, caso exista o vazamento de tanques de combustível, o que poderá originar pluma de contaminação no subsolo.

Estudos hidrogeológicos mostram que os hidrocarbonetos não se dispersam através do solo de maneira uniforme e homogênea, mas movem-se através da zona não saturada na forma de acumulações discretas de contaminantes (FETTER, 1993). As características de migração dessas acumulações dependem das propriedades químicas e físicas do solo.

Em função da predominante distribuição dos postos em Fortaleza sobre os sedimentos das Dunas/Paleodunas e Barreiras, que tem de média a alta vulnerabilidade natural, associado à um nível estático sub-aflorante e a localização geográfica da região propícia a reações de oxidação-redução, a condição de risco potencial de poluição pode, facilmente, tornar-se efetiva, comprovada por sondagens (poços tubulares rasos) próximas ao terminal da PETROBRÁS localizado na orla costeira (Mucuripe/Praia do Futuro) e em postos de Fortaleza (CAVALCANTE, 1998, p.99).

A cidade de Fortaleza possui aproximadamente 400 postos de combustíveis que comercializam álcool, gasolina comum, gasolina aditivada, diesel e, em alguns, gases naturais, onde do total de postos, 50% tem idades entre 33 e 25 anos, o que torna preocupante o problema, pois a experiência, principalmente nos EUA, que é o maior consumidor de combustível mundial e onde o armazenamento desse produto é realizado em tanques subterrâneos desde o começo do século passado, só apenas no final da década de 1970 constatarem a gravidade do problema; já foram registrados vários incidentes relacionados à contaminação do solo e da água subterrânea gerada por combustíveis derivados de petróleo. A partir dessa experiência, no final da década de 1980, foi constatada que a vida média de um tanque subterrâneo é de 20 anos, e que depois de 15 anos de uso as chances de ocorrer vazamentos aumentam proporcionalmente com o tempo.

Os dados relativos a tipo de tanque, idade e volume armazenado (Tancagem), e os volumes comercializados, não estão disponíveis para a população de Fortaleza, dificultando, desta forma, qualquer estudo sobre os riscos e/ou impactos a que estão submetidos às águas subterrâneas da área.

Figura 6.5.10 - Posto de combustível, exemplo de potencial fonte de poluição no bairro Jangurussu (Conjunto Palmeiras), Fortaleza/Ceará (Janeiro/2012). Coord.: 9574890/552693



A construção de um posto de combustíveis deve estar de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2005); entre as várias NBR's relativas à atividade de abastecimento e revenda de combustíveis, a NBR 13.786/2005 classifica os empreendimentos tendo como critério o conhecimento do entorno do posto de serviço, condicionando os equipamentos de controle ambiental que serão instalados.

De acordo com Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2005), um posto de revenda de combustíveis deverá instalar poços de monitoramento para verificar a existência de contaminantes em fase livre ou dissolvida na água subterrânea, e que eles devem ser instalados em lugares estratégicos. O sistema de monitoramento deve possuir, então, poços distribuídos à montante e a jusante do Sistema de Armazenagem Subterrâneos de Combustíveis (SASC) e todos os postos de combustíveis devem implantar, no mínimo, 3 poços de monitoramento, independente da profundidade do lençol freático. Entretanto, em Fortaleza não foi verificado em nenhum dos postos licenciado ao armazenamento e revenda dos derivados de petróleo os poços de monitoramento citados como obrigatórios pela ABNT.

6.5.5. Águas superficiais poluídas (lagoa, canal de drenagem)

As lagoas de Fortaleza exercem expressivo papel no suprimento hídrico da população, na manutenção de microclimas, na valorização da paisagem urbana, além de constituírem um potencial de desenvolvimento das atividades de pesca e lazer.

A poluição gerada pela infiltração de águas superficiais de rios e canais contaminados dependerá do litotipo sotoposto, distância entre a fonte potencial de poluição e o nível estático e do sentido de fluxo hidráulico existente entre o curso d'água e o aquífero subjacente. Essas fontes de poluição correspondem aos canais que estão contaminados por lixo e efluentes domésticos, alguns desses canais não apresentam nenhuma impermeabilização, facilitando assim a infiltração da água poluída contaminando o aquífero (CAVALCANTE, 1998).

O canal de drenagem ao sul do bairro da Parangaba deságua na Lagoa da Parangaba onde são lançados dejetos de origens diversas, tais como lixo urbano oriundo da população residente circunvizinha à lagoa, além de efluentes líquidos despejados por pequenas empresas anônimas ocasionando a poluição do canal e atingindo a lagoa que provoca a morte da fauna aquática (OLIVEIRA, 2013).

Em Fortaleza, lagoas, açudes e drenagens estão seriamente comprometidos pelo uso e ocupação do solo, onde a maioria deles recebe esgoto urbano e, em suas margens, depósitos diretos de lixo (Figura 6.5.11), sem qualquer preocupação maior do indivíduo, a exemplo das lagoas do Opaia, Messejana, Maraponga e Parangaba (Figura 6.5.12).

A Prefeitura de Fortaleza avalia desde agosto/2006 a balneabilidade de 13 lagoas da cidade, sendo elas: Mondubim, Parangaba, Porangabussu, Messejana, Maria Vieira, Maraponga, Itaperaoba, Opaia, Sapiranga, Catão, Papicu, Passaré e Lago Jacareí, selecionadas tendo como base sua importância histórica e simbólica, bem como a função ambiental no meio urbano.

De acordo com o Boletim de Balneabilidade das Lagoas de Fortaleza (Laudos N° 17 e 18 de 2010), onze (11) lagoas apresentaram-se contaminadas por coliformes fecais termotolerantes e *Escherichia coli*, exceto as lagoas do Papicu e Passaré (FORTALEZA, 2012).

Peixoto *et al.* (2011), ao comparar os dados de contaminação das lagoas de Messejana, Maraponga e Porangabussu, concluíram que a de Porangabussu, apesar de ter serviço de esgoto na área em que está inserida; diferente das outras lagoas analisadas, por possuir um grau muito maior de contaminação por coliformes fecais termotolerantes e *Escherichia coli*, resultante, principalmente do grande adensamento urbano da área e da quantidade de ligações de esgotos clandestinos que são ligados à lagoa.

Figura 6.5.11 - Drenagem com águas poluídas e suas margens servindo para disposição de lixo e pastagem de animais no bairro do Conjunto Ceará, Fortaleza - Ceará (Julho/2010).

Coord.: 9582422/544875

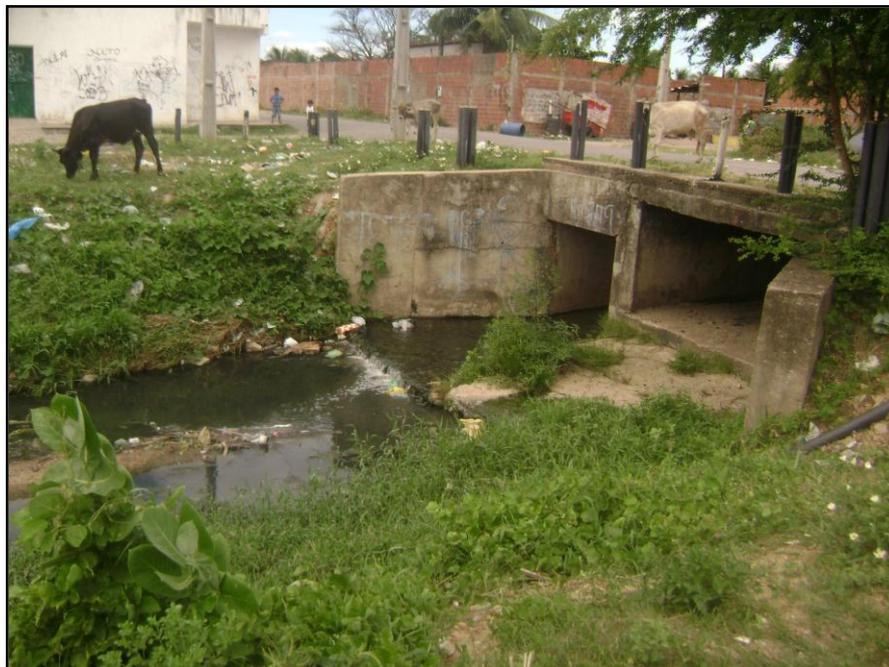


Figura 6.5.12 - Aspecto das águas da Lagoa de Parangaba – Fortaleza, Ceará (Julho/2010).

Coord.: 9583889/548163



6.5.6. Saneamento básico

Dados do Programa Sanear, em Fortaleza, da Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (2011), mostram que 35% das residências apresentam saneamento básico. No entanto a poluição das águas subterrâneas oriunda diretamente de fossas (sépticas e negras), demonstrada pelas concentrações dos componentes nitrogenados, ainda é constatada em vários pontos, particularmente nas porções noroeste e nordeste, colocando em risco a saúde da população que se utiliza diariamente deste recurso hídrico.

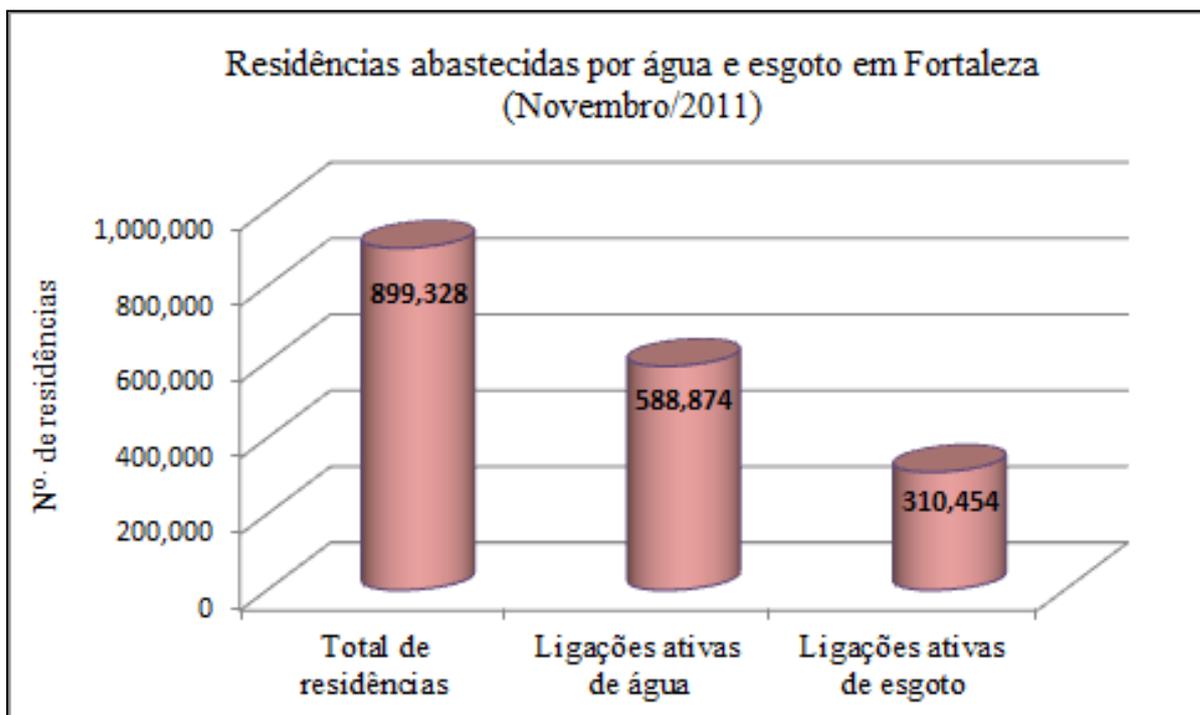
A instalação do saneamento básico do município de Fortaleza está sob a responsabilidade da CAGECE, cujos dados mostram que das 899.328 residências cadastradas em Fortaleza, apenas 310.454 (34,52 %) delas estão ligadas a rede de esgoto (Figura 6.5.13).

A ausência de saneamento básico leva a população a utilizar fossas sépticas, que em função da oscilação sazonal do nível freático podem transformar-se em fossas negras, neste caso, a função depuradora do sistema aquífero passa a ser mínima, ou sequer existir. As águas subterrâneas podem sofrer os impactos desta carga poluente, principalmente no contexto das Dunas que apresentam uma alta vulnerabilidade, com um nível estático sub-aflorante (CAVALCANTE, 1998, p.89).

O nitrato é considerado como o poluente mais frequente oriundo dos sistemas sépticos. Em Fortaleza, isto é confirmado à medida que as análises das águas subterrâneas mostram a existência constante deste elemento, em concentrações quase sempre acima de 5 mg/L, que segundo SANTOS (2008) pode servir como indicativo de contaminação da água subterrânea por atividade humana (fossas, esgotos, lixões, etc).

A gestão dos serviços de saneamento ambiental é regida pela Lei 11.445/2007 (BRASIL, 2007), também conhecida como a Lei Nacional de Saneamento, que por sua vez estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, dispondo, entre outras questões, a respeito dos princípios fundamentais, do exercício da titularidade, da prestação regionalizada dos serviços públicos de saneamento básico, atividades de planejamento, da regulação, aspectos econômicos e sociais, aspectos técnicos, participação de órgãos colegiados no controle social e política federal de saneamento básico.

Figura 6.5.13 - Residências abastecidas por água encanada e rede de esgoto em Fortaleza, Ceará

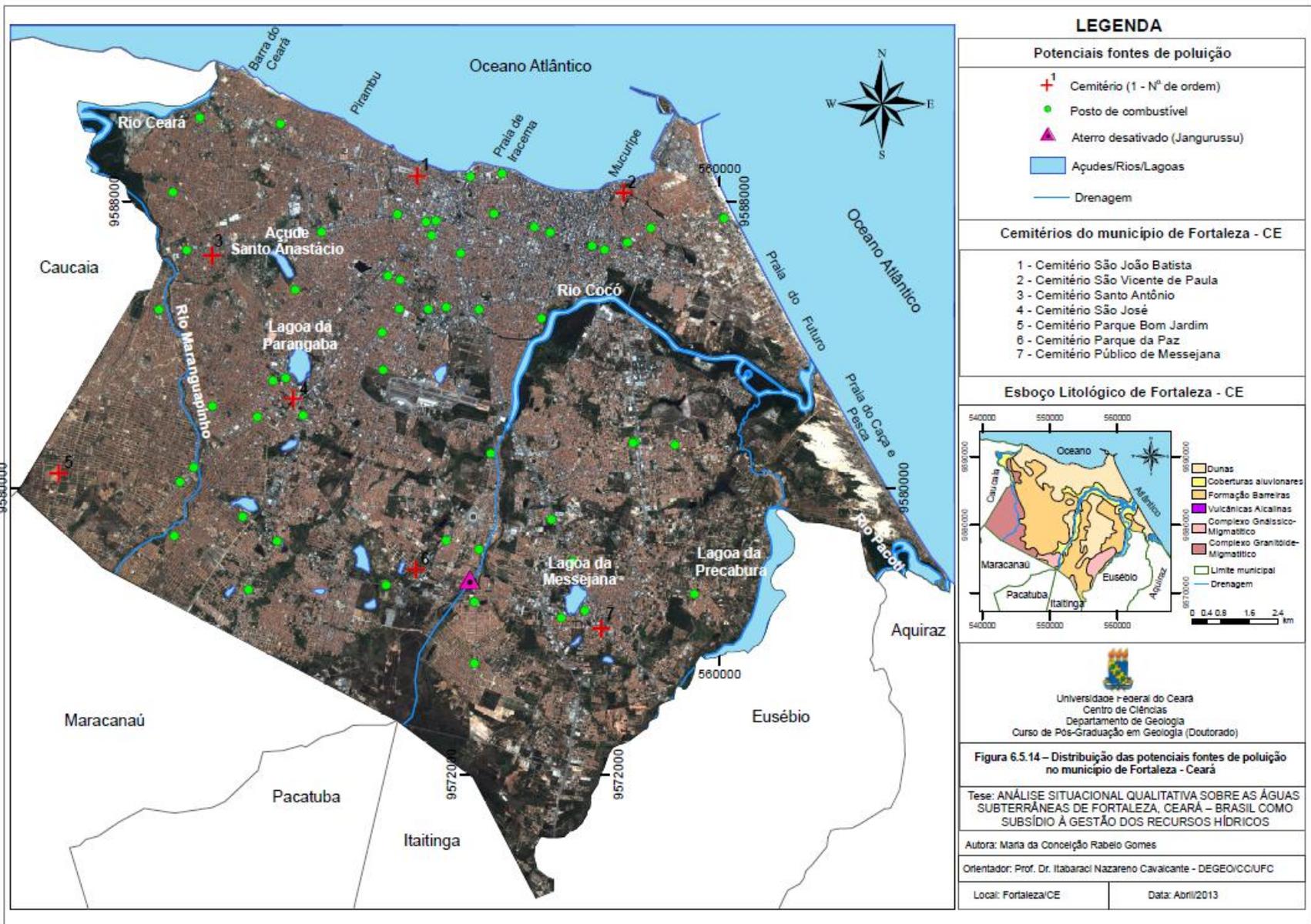


Fonte dos dados: Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE), 2011.

As dez cidades da região nordestina com melhores condições de saneamento básico são: Campina Grande (PB), Salvador (BA), **Fortaleza (CE)**, Vitória da Conquista (BA), Aracaju (SE), Caruaru (PE), João Pessoa (PB), Caucaia (CE), Petrolina (PE) e Recife (PE) (BRASIL, 2013).

Verifica-se que Fortaleza é o terceiro município do nordeste com melhores condições de saneamento básico, com 35% de ligações ativas de esgoto.

A Figura 6.5.14 mostra a distribuição espacial das potenciais fontes de poluição presentes no município.



6.6. Levantamento do uso e ocupação do meio físico

A zona do solo, com sua intensa atividade biológica, tem grande capacidade para alterar as características físico-químicas da água quando a infiltração ocorre. Em seu percurso, iniciando a partir da precipitação pluviométrica, prosseguindo com a infiltração e circulação, a água subterrânea interage principalmente com as rochas sedimentares, constituídas por sedimentos clásticos de origem continental. De acordo com Tancredi (1996, p.70), essa interação que se traduz por uma variedade de processos geoquímicos, como reações de óxido-redução, de trocas de base, de hidrólises e de dissoluções, se reflete nos constituintes dissolvidos e suas concentrações.

Como tipos de uso e ocupação do solo em Fortaleza, tem-se a impermeabilização, densidade demográfica e saneamento básico do município em questão.

6.6.1. Impermeabilização

A impermeabilização resulta da ocupação do solo em Fortaleza, não só da implantação de residências, condomínios, hotéis e indústrias, entre outros, mas também da intensa malha viária necessária e correlata ao desenvolvimento da metrópole.

A impermeabilização do solo reduz a capacidade de infiltração das águas dificultando a recarga dos aquíferos, bem como facilita o transporte de sedimentos reduzindo a capacidade de escoamento dos rios urbanos, que associado ao aumento da velocidade e do volume de escoamento, aumenta a frequência de inundações.

Silveira (2003) constatou que os bairros da Aldeota, Meireles, Centro e Mucuripe (setor norte) apresentam as menores taxas requeridas de áreas permeáveis (20%), reflexo do domínio maior de edificações verticais e impermeabilização das vias de acesso. As áreas a oeste e ao sul do município possuem taxa de permeabilidade estimada em 40%.

Ressalta-se que existe uma quantidade significativa de poços (27% do total existente em Fortaleza) construídos nesses bairros (Aldeota, Meireles, Centro e Mucuripe); ainda mais, esta faixa representa a área aflorante das Dunas que pode ter a recarga das águas subterrâneas afetada pela impermeabilização do solo sofrendo, assim, significantes perdas referentes às reservas e, conseqüentemente, em relação à oferta hídrica subterrânea.

Ressalta-se que para o período de 1966 a 2011, a infiltração potencial média anual é de 546,7 mm, representando 34% do total da média anual da precipitação pluviométrica, correspondendo assim à parcela de precipitação que contribui para a recarga subterrânea no

domínio sedimentar, onde as reservas totais estimadas por Gomes (2008) para o município é de $117,8 \times 10^6$ e $93,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ para Dunas e Barreiras, respectivamente.

No período de fevereiro a maio ocorrem inundações com maior frequência. A rede de drenagem não suporta o aporte de água das chuvas e, devido a impermeabilização, a quantidade de água produzida escoar para os cursos d'água que estão muito assoreados, extravasando e provocando inundações, ocasionando danos a população que reside próxima a eles. As consequências destes acontecimentos na capital cearense são inúmeras. Dentre as principais resultantes do processo desordenado de impermeabilização do solo de Fortaleza aliado à deficiência de infraestruturas de drenagem urbana, entre outros fatores, se pode destacar as inundações que acometem a cidade no período chuvoso (Figura 6.6.1), as doenças de veiculação hídrica (dengue, leptospirose) muitas das quais intensificadas por ocasião das chuvas. Também devido à alta taxa de impermeabilização do solo, as áreas mais pavimentadas da cidade, quase sem nenhuma cobertura vegetal, apresentam pontos de alagamento.

Figura 6.6.1 - Alagamento na Avenida Perimetral (Bairro Passaré), Fortaleza - CE, altura da Central de abastecimento da Companhia Hidrelétrica do São Francisco (Chesf), no dia 25/01/2011



Fonte: Portela (2011) - Diário do Nordeste.

6.6.2. Densidade Demográfica x Saneamento básico

De acordo com Silva, 1992 (*apud* Accioly, 2009), a partir da década de 1930 Fortaleza começou com o crescimento demográfico elevado que se reflete no aumento da sua área urbana. Contudo, a expansão da cidade a partir do aumento da população, não gerou a ampliação relativa da infraestrutura urbana, tais como calçamento, energia elétrica, água encanada, rede de esgotos, transportes coletivos etc.

A expansão urbana do município de Fortaleza, assim como grande parte das cidades do Brasil, realizou-se de forma negligente com os recursos naturais. Caracterizou-se pela realização de aterramentos de corpos hídricos, intensa ocupação do solo, desrespeito às Leis de Uso e Ocupação (Lei nº 7.987/96) (FORTALEZA, 2010) e infraestruturas insuficientes ao contingente populacional. A Figura 6.6.2 mostra a divisão do município de Fortaleza em três Macrozonas conforme a Lei de Uso e Ocupação do Solo (Lei nº 7.987/96 atualizada em Agosto de 2010).

O crescimento populacional do município deve-se ao fenômeno de urbanização em três períodos: primeiro no início do século XX, associado a agroexportação do algodão; segundo, nos anos 1970 e 1980, pelo incentivo da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste do Brasil (SUDENE) à indústria têxtil e de confecções e, finalmente, nos anos 1990, com a reestruturação produtiva e a mobilidade de capitais oriundos do Sul do país, notadamente, para a indústria de calçados. Essa mobilidade de capitais provocou mobilidade do trabalho e da população. A Figura 6.6.3 mostra a evolução do crescimento populacional de Fortaleza.

Figura 6.6.2 – Macrozonas do município de Fortaleza de acordo com a Lei de Uso e Ocupação do Solo (Lei nº 7.987/96)

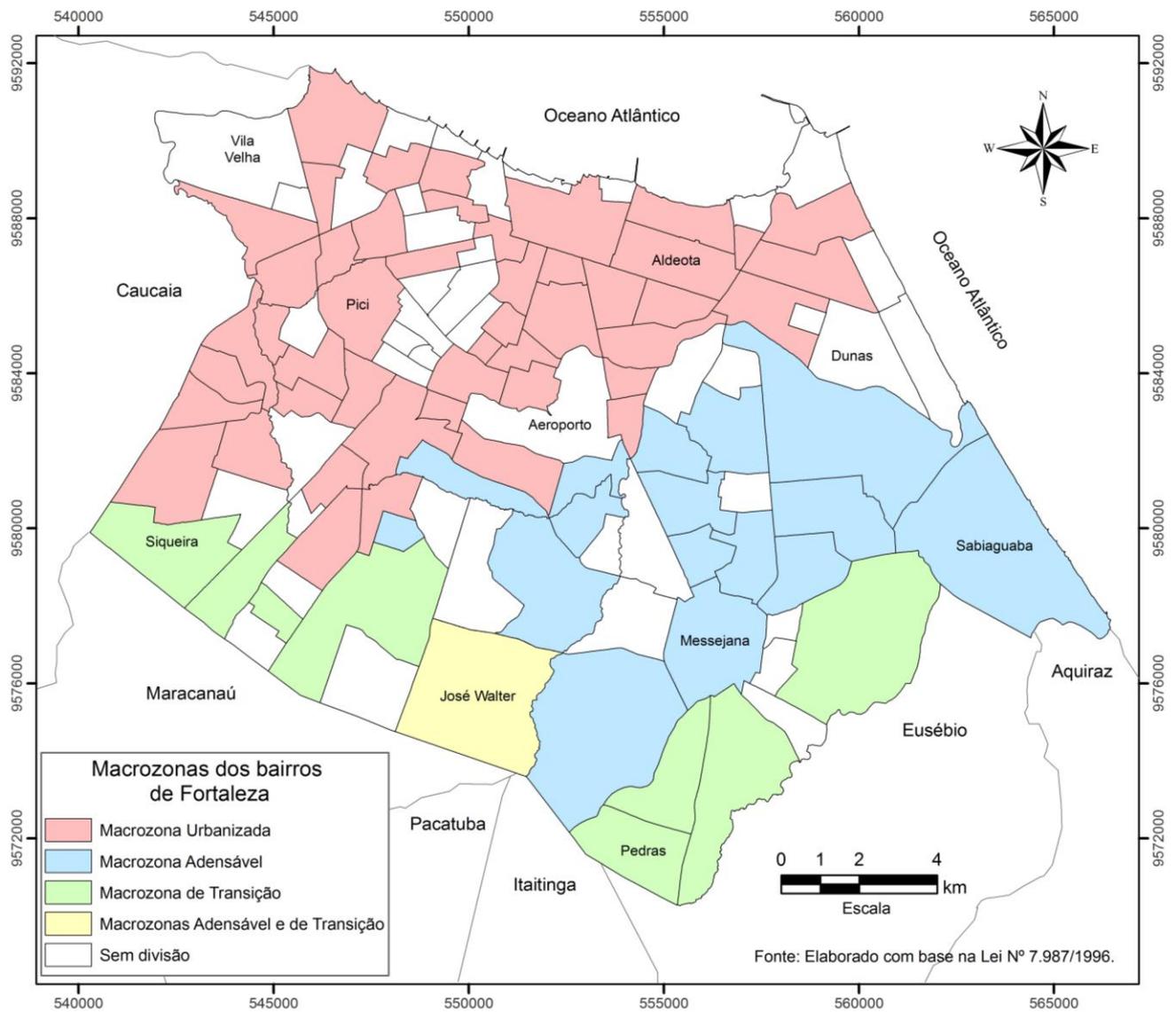
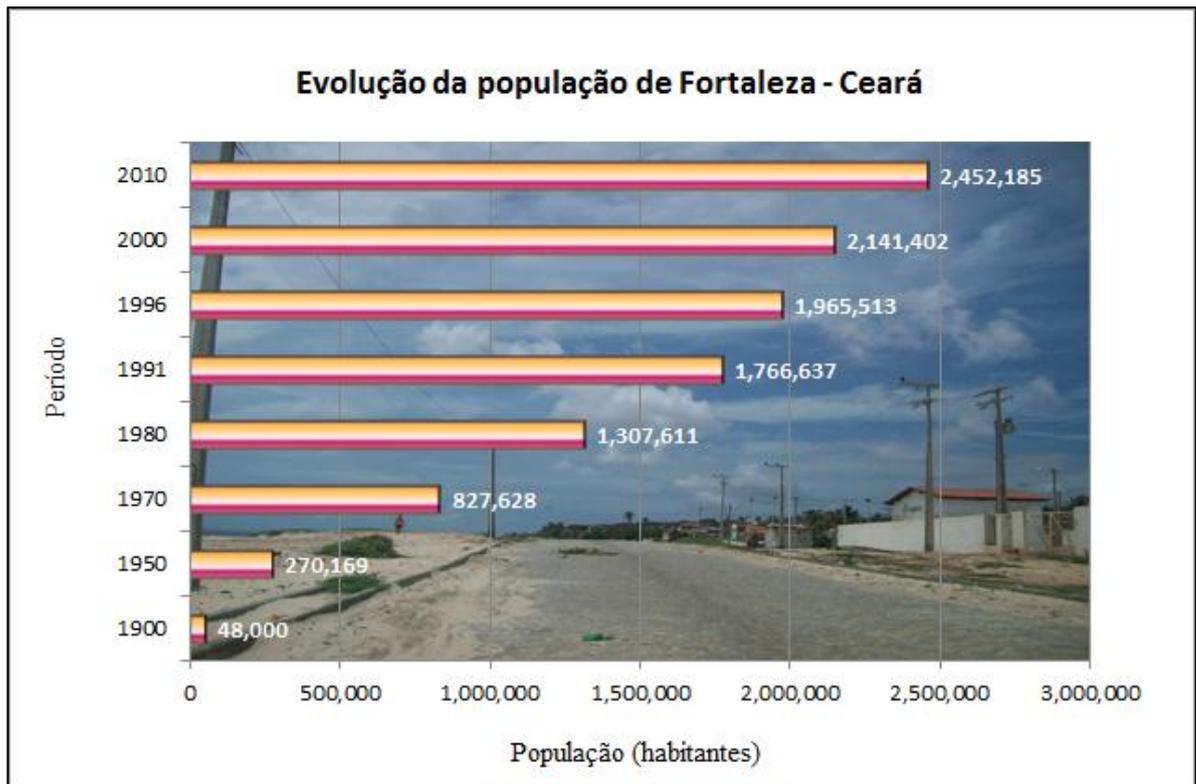


Figura 6.6.3 – Evolução do crescimento populacional de Fortaleza, Ceará



Fonte dos dados: Atlas de Fortaleza (2000) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011).

De acordo com o censo demográfico de 2010 realizado pelo IBGE, o município de Fortaleza, instalado em 1725, possui 314,8 km² ocupados por 2.452.185 habitantes, com uma densidade demográfica de 7.788 hab/km², representando uma taxa de urbanização de 100%.

Ressalta-se que os rios Ceará, Maranguapinho e Cocó são importantes estruturadores do processo de urbanização de Fortaleza, onde normalmente suas margens são ocupadas indevidamente (Figuras 6.6.4) e causando grandes problemas, principalmente no período chuvoso.

Figura 6.6.4 - Ocupação nas margens do Rio Maranguapinho, bairro Conjunto Ceará. Agosto/2010 (Coord.: 9582422/544875)



Em 1996, neste município, foram criadas 06 (seis) Secretarias Executivas Regionais (SER), com o objetivo de tornar o poder público mais acessível e próximo da população. De acordo com a Tabela 6.6.1, dentre todas, tem-se 39% da área de Fortaleza pertencente a SER VI, detendo 22% da população do município.

A Figura 6.6.5 mostra que as SER I e III apresentam as maiores densidades demográficas, variando de 14.877 e 13.534 hab/km², respectivamente, com cobertura de 43% de domicílios atendidos por rede de esgoto (Figura 6.6.6).

A ausência de saneamento básico em alguns bairros é um fator marcante, quando se fala em uso e ocupação de solo em Fortaleza.

Tabela 6.6.1 - Situação atual das SER de Fortaleza, Ceará

| SER | Bairros | População | Área (km²) | Ligações ativas de água | Ligações ativas de rede de esgoto |
|--------------|----------------|------------------|------------------------------|--------------------------------|--|
| I | 15 | 363,912 | 24.461 | 78.176 | 75.666 |
| II | 20 | 363,406 | 49.36 | 67.190 | 55.962 |
| III | 16 | 360,551 | 26.641 | 87.325 | 58.459 |
| IV | 19 | 277,661 | 33.143 | 67.549 | 33.979 |
| V | 19 | 541,511 | 58.124 | 149.035 | 44.965 |
| VI | 27 | 545,144 | 123.117 | 139.599 | 41.423 |
| <i>Total</i> | <i>116</i> | <i>2.452,185</i> | <i>314,846</i> | <i>588.874</i> | <i>310.454</i> |

Fonte dos dados: Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (2011) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011).

Figura 6.6.5 – Densidade Populacional das Secretarias Executivas Regionais (SER) de Fortaleza, Ceará

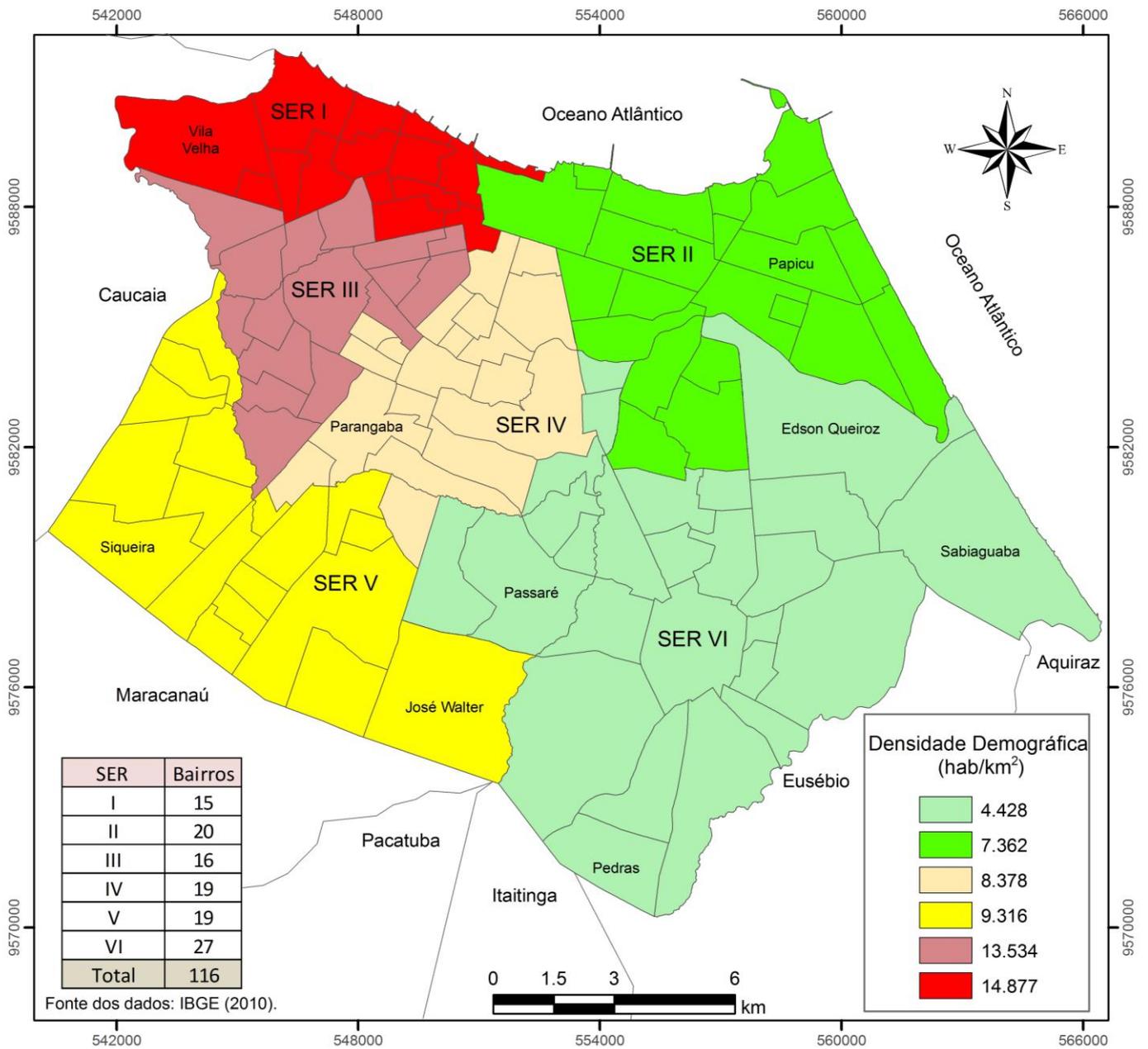
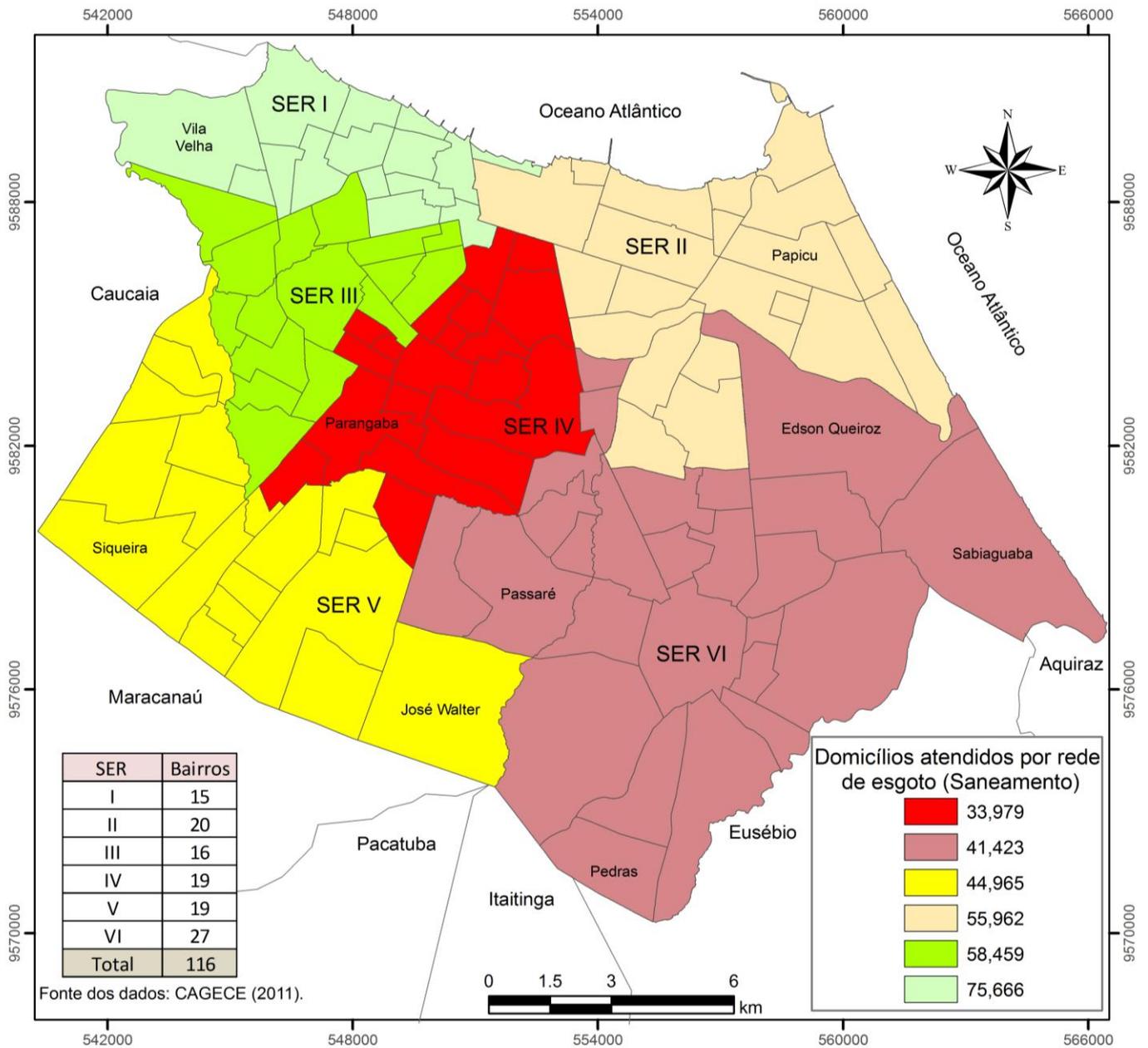


Figura 6.6.6 – Domicílios atendidos por rede de esgoto das Secretarias Executivas Regionais (SER) de Fortaleza, Ceará (Novembro/2011)



7. FUNDAMENTOS PARA A GESTÃO PARA OS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DE FORTALEZA

A utilização sustentável dos recursos hídricos subterrâneos está vinculada a fatores legislativos, integração de órgãos governamentais, capacitação de recursos humanos, dentre outros, que influenciam nas decisões e direcionamento das atividades a serem desenvolvidas.

No intuito de contribuir com a gestão dos recursos hídricos subterrâneos no município de Fortaleza, propõe-se que esta deverá observar os seguintes fundamentos.

7.1. Legislação Específica

O primeiro passo para a gestão é obedecer a uma legislação específica para o controle dos mananciais hídricos subterrâneos. A aplicação das leis depende diretamente da ação dos órgãos governamentais.

Os procedimentos de gestão dos recursos hídricos da área estudada devem-se fundamentar nos princípios básicos da Política Nacional dos Recursos Hídricos (Art. 1º da Lei 9.433/97): *“A água é um bem de domínio público; a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico; em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais; a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos; a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades”*.

Para o Estado do Ceará existe uma legislação específica (Decreto nº 31.077 de 12/12/2012), que regulamenta a Lei nº 14.844 de 28 de dezembro de 2010, onde dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos, no que diz respeito à conservação e à proteção das águas subterrâneas no estado do Ceará, e dá outras providências.

7.2. Programa de Educação Ambiental

O Programa de Educação Ambiental no município de Fortaleza deve estar voltado para escolas públicas e privadas e centros comunitários envolvendo, principalmente, crianças e jovens com temas que envolvam a preservação do meio ambiente, fundamentando-se com as condições locais e situações do cotidiano das comunidades de Fortaleza.

A Educação Hidroambiental tratará de um procedimento contínuo, que deve ser ministrado de acordo com o nível de escolaridade e faixa etária do público alvo, sendo melhorado constantemente. É importante para o usuário dos recursos hídricos conhecer as suas águas e, assim, se poder desenvolver temas específicos, compatível com o nível escolar, focando aspectos locais.

Questões como crescimento urbano desordenado, uso e ocupação do solo, usos de energia, limites geográficos e políticos, tem que serem trazidos à tona de forma objetiva e concreta, com associação das questões hidroambientais ao dia-a-dia, visando à construção de novos valores sociais e interpretação da relação sociedade/natureza/desenvolvimento (MATTA, 2002, p.246).

7.3. Caracterização das Bacias Hidrográficas

De acordo com a Política Nacional dos Recursos Hídricos – PNRH (Art. 1º da Lei 9433/97), a gestão dos recursos hídricos deve ser feita em nível de bacia ou sub-bacia; logo, o estudo das principais bacias hidrográficas onde se insere o município de Fortaleza (Zona Costeira, a do Rio Cocó e a do Rio Maranguapinho) e os seus rios de maior porte (Cocó, Ceará, Maranguapinho, Pacoti e Coaçu) devem constituir área piloto para estabelecer propostas de desenvolvimento sustentável associado a gestão dos recursos hídricos.

Como referências de estudos regionais, tem-se o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Ceará (PLANERH) de 2004, Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas (PGABM) de 2001 e o Pacto das Águas (Cenário Atual dos Recursos Hídricos do Ceará).

7.4. Cadastramento e Diagnóstico dos Poços

O cadastramento de poços objetiva conhecer a situação atual da obra, parâmetros hidrodinâmicos, análises físico-químicas e bacteriológicas das águas.

Para a área em questão existe a necessidade da atualização do cadastro dos poços realizado pela GOLDER & PIVOT para a SRH/COGERH (CEARÁ/SRH, 2002) e verificação

dos perfis construtivos e litológicos contidos no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS, 2012).

O cadastramento de poços deve ser baseado na Lei nº 14.844/2010 (Decreto nº 31.077/2012) que diz em seus Artigos:

Art.20. *“A Base de Dados de Águas Subterrâneas será parte integrante do Sistema de Outorga e Licença - SOL, instalado e operado pela Secretaria dos Recursos Hídricos - SRH e pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH, em integração com o Sistema de Informação de Águas Subterrâneas - SIAGAS, incluindo dados de poços ou outras captações, em operação ou desativados”.*

Art.21. *“O cadastramento do poço ou outra obra de captação deverá ser efetuado pela Secretaria dos Recursos Hídricos e COGERH ou pelo usuário no ato da outorga de execução de obra ou interferência hídrica, como também no ato da outorga de direito de uso em formulários padronizados pelo órgão gestor”.*

Art.22. *“Qualquer dado ou informação sobre captações, estudos ou projetos poderá ser cedido pela Secretaria dos Recursos Hídricos ou COGERH, sem caráter oneroso”.*

7.5. Gerenciamento das Águas (Estrutura Administrativa)

De posse dos dados cadastrais, pode-se realizar o gerenciamento dessas águas, através de cinco (6) etapas sucessivas e complementares:

a) Monitoramento trimestral da água subterrânea

O monitoramento de águas naturais, em geral, é baseado no acompanhamento da evolução temporal e espacial da concentração de indicadores hidroquímicos, tais como pH, Eh, condutividade elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos, entre outros.

O resultado desse monitoramento pode ser usado para se estabelecer a qualidade das águas, caracterizar sua natureza, identificar fatores que controlam a taxa de autodepuração, bem como para identificar o processo de degradação da matéria orgânica, ou seja, se o processo é aeróbico ou anaeróbico (CASTRO, 2011, p.103).

A Resolução CONAMA Nº 396 de 2008, no seu Artigo 12 diz: *“Os parâmetros a serem selecionados para subsidiar a proposta de enquadramento das águas subterrâneas em classes deverão ser escolhidos em função dos usos preponderantes, das características hidrogeológicas, hidrogeoquímicas, das fontes de poluição e outros critérios técnicos definidos pelo órgão competente”.*

Parágrafo único. *“Dentre os parâmetros selecionados, deverão ser considerados, no mínimo, Sólidos Totais Dissolvidos, nitrato e coliformes termotolerantes”*.

A Resolução CONAMA Nº 396 de 2008, no seu Artigo 13 diz: *“Os órgãos competentes deverão monitorar os parâmetros necessários ao acompanhamento da condição de qualidade da água subterrânea, com base naqueles selecionados conforme o artigo 12, bem como pH, turbidez, condutividade elétrica e medição de nível de água”*.

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) iniciou a implantação da Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS) no Brasil em 2009. No Ceará, os poços em monitoramento estão localizados no Aquífero Açú (municípios de Alto Santo, Quixeré e Jaguaruana), onde esse monitoramento tem um caráter essencialmente quantitativo com um alerta qualitativo, baseado no monitoramento da condutividade elétrica (CE). Por se tratar de uma Rede de Monitoramento Básico, as medições dos parâmetros selecionados devem ser realizadas em pontos estratégicos para acompanhamento de sua evolução, identificação de tendências e apoio a elaboração de diagnósticos. Além disso, os resultados obtidos devem permitir a identificação dos locais onde será necessário maior detalhamento. A frequência deste tipo de monitoramento deverá acompanhar os ciclos hidrológicos, ou seja, geralmente varia de uma frequência mínima trimestral até uma frequência mensal. Os parâmetros monitorados nesta modalidade devem estar relacionados com o tipo de uso do aquífero, sua potencialidade, vulnerabilidade, distribuição espacial e com os objetivos da rede. Sendo assim, tanto a localização das estações quanto os parâmetros monitorados devem ser reavaliados periodicamente.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), através de sua resolução Nº 107, de 13 de abril de 2010 estabelece diretrizes e critérios a serem adotados para planejamento, implantação e operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas. Constitui em ferramenta essencial para estabelecer a referência da qualidade dessas águas visando viabilizá-las do ponto de vista de seu enquadramento em classes.

Para a definição da rede de monitoramento das águas subterrâneas do município de Fortaleza, propõe-se que sejam utilizados 50 poços, com critérios pré-estabelecidos, tais como perfis técnicos, construtivos e litológicos dos poços, dados hidrodinâmicos, uso doméstico da água, aspectos de vulnerabilidade natural e riscos; representatividade espacial e existência de condições locais de segurança. com suas respectivas bacias hidrográficas (Figura 7.6.1) e quando for verificada a impossibilidade das medições em alguns poços selecionados, deve-se substituí-los por novos poços para preencher o vazio da área, necessária

para elaboração dos mapas temáticos (Ex: mapas de distribuição de poços e sistemas hidrogeológicos).

A etapa de monitoramento das águas subterrâneas captadas pelos poços tubulares e manuais em Fortaleza é de importância fundamental, pois poderá caracterizar a variação do nível d'água (NE), aspecto importante nos cálculos das reservas e disponibilidades hídricas; além deste, o monitoramento dos parâmetros físico-químicos (Condutividade Elétrica, Sólidos Totais Dissolvidos e pH) e bacteriológicos que servem de base para avaliação qualitativa pois são essenciais e mostram os indicadores qualitativos como instrumentos de gestão dos recursos hídricos subterrâneos à medida em que estão associados ao maior ou ao menor uso da água.

b) Caracterização qualitativa das águas subterrâneas

O conhecimento qualitativo das águas, associado ao dimensionamento das reservas e recursos, é de fundamental importância para o manejo integrado das águas. As análises físico-químicas servem como suporte básico para a compreensão do grau de mineralização das águas (CAVALCANTE, 1998, p.73).

A qualidade da água é uma consequência do seu estado natural, físico e químico, bem como de qualquer alteração que possa ter ocorrido devido à ação humana sobre a mesma.

Esta etapa é baseada em análises físico-químicas (pH, condutividade elétrica, bicarbonato, cloretos, sulfatos, sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro, alumínio, fluoretos, alcalinidade, dureza, amônia, nitrito, nitrato, turbidez, Cor, sólidos totais dissolvidos, sílica, fosfato e carbonato) e bacteriológicas (Coliformes totais e fecais) das águas dos poços em uso, preferencialmente em dois períodos de amostragem para se ter um conhecimento da variação temporal, para assim propor o direcionamento adequado de suas águas conforme suas características qualitativas.

c) Levantamento das potenciais fontes de poluição/contaminação

Para análises integradas dos recursos hídricos subterrâneos se faz necessário o levantamento das potenciais fontes de poluição, que podem influenciar diretamente no corpo hídrico subterrâneo, como exemplo o lançamento de esgoto e lixos no corpo hídrico, infiltração de águas superficiais poluídas, disposição inadequada de resíduos sólidos e construção de poços tubulares sem a adoção de medidas técnicas corretas. Todas elas coexistindo no espaço urbano de Fortaleza, necessita-se que seja requerido maior disciplinamento quanto ao uso e ocupação do meio físico, para que haja a convivência

harmônica entre o homem e o meio ambiente, dentro da concepção de desenvolvimento sustentável.

Sabe-se que tradicionalmente os adensamentos urbanos e cidades litorâneas foram edificados sobre as dunas, os quais geologicamente são considerados excelentes aquíferos e por apresentarem alta permeabilidade são vulneráveis à poluição. De acordo com Carneiro (2009), o Morro Santa Terezinha (setor norte da área), que está em “áreas de ocupação ilegal” (invasões), tem contribuído para o aumento, cada vez maior, da utilização das fossas negras e vazamento de redes de esgoto que, na interação com os aquíferos, constituem fontes consideráveis de poluição/contaminação das águas subterrâneas.

d) Levantamento das demandas e ofertas do Município

No que se refere à gestão de água, para a determinação de recursos hídricos subterrâneos disponíveis o interesse está, geralmente, na quantidade de recarga total e sua variabilidade espacial e temporal, porque a otimização de uso do recurso depende da distribuição tanto espacial quanto temporal. Porém, a estimativa desta recarga para fins de tomada de decisão no que se refere à gestão dos recursos hídricos, além da dificuldade inerente a complexidade intrínseca do próprio processo, passa pela dificuldade da escassez e/ou do grau de confiabilidade dos dados, de modo que uma estimativa plenamente confiável ainda é uma utopia (VASCONCELOS, 1999, p.93).

Para a área em questão é necessário conhecer além da demanda (uso) o que se tem para oferecer em termos de água subterrânea através da estimativa das reservas hídricas subterrâneas, assim como as disponibilidades hídricas. 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.

e) Custo de exploração da água subterrânea

Depois de ter conhecimento da qualidade, das demandas e ofertas das águas subterrâneas é possível calcular o custo de exploração das mesmas, que depende das condições hidrogeológicas locais e das condições de infraestrutura da área e está dividido em custos fixos e operacionais, cuja soma constitui os custos totais de exploração.

Nesse item é avaliado economicamente o recurso água subterrânea, sendo considerados alguns fatores que interferem no custo final da captação da água subterrânea, como preço do poço, aquisição de bomba e equipamentos elétricos, instalações, manutenção do poço e o consumo de energia.

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As águas subterrâneas de Fortaleza se encontram armazenadas em dois domínios aquíferos: o Sedimentar (poroso clástico) e o Cristalino (Fraturado), que vêm sendo explorados predominantemente (84%) por poços tubulares com profundidades inferiores a 50 m (266 poços) e nível estático de até 10 m (224 dados). As águas dos poços em uso (487 dados) são exploradas predominantemente (75%) para uso doméstico.

Em termos hidrogeoquímico, a área é caracterizada como um ambiente redutor e ácido/básico, com valores de Eh concentrados no intervalo -0,1 V a 0,2 V e com pH entre 4 a 9. As relações de pH/Eh, CE/STD e Cl^-/Na^+ apresentam correlações significativas e fortes ($r \geq 0,50$) nas duas estações do ano (Chuvosa e estiagem). A partir das relações iônicas das águas subterrâneas, pode-se constatar rMg^{+2} / rCa^{+2} com predominância de valores superiores a 1,258 meq/L (63%), indicando a associação de silicatos magnesianos presentes nos litotipos da área. A relação rK^+/rNa^+ apresentou valores entre 0,009 e 0,840 meq/L, resultante principalmente da fixação de K^+ nos argilominerais. De acordo com a classificação iônica de 291 amostras, divididas em dois períodos distintos (Chuvoso e estiagem), pode-se constatar a predominância de águas Cloretadas (86% e 81%) e Sódicas (67% e 77%), independente do período de amostragem, resultante da relação $rNa > rMg > rCa$ e $rCl > HCO_3 > rSO_4$. O aumento das concentrações relativas está relacionado, principalmente, ao tempo e percurso da água no subsolo.

A caracterização da qualidade e uso das águas subterrâneas de Fortaleza foi baseada em 291 análises físico-químicas (250 poços) e 87 análises bacteriológicas (72 poços). Destas, pode-se constatar que as algumas amostras apresentaram pH (105 amostras), STD (4 amostras), cloreto (8 amostras), sulfato (1 amostra), sódio (5 amostras), ferro (38 amostras), alumínio (3 amostras), amônia (22 amostras), nitrito (16 amostras), nitrato (142 amostras) e turbidez (60 amostras) acima dos padrões recomendados pela Portaria Nº 2914/2011 do MS, e nenhuma de fluoreto e dureza.

Quanto a avaliação da distribuição espacial dos valores de pH, as águas subterrâneas nos dois períodos de amostragem (chuvoso e estiagem) são predominantemente (56 e 62%) ácidas, provavelmente associadas ao meio geológico (Aquífero Barreiras) e a recarga pluviométrica. A concentração de nitrato cresce no sentido centro-norte, refletindo o efeito das ações antrópicas pela concentração populacional ao longo dos bairros, chegando a ultrapassar em até 47% (setor oeste da área) o limite máximo recomendado pela Portaria Nº 2914/2011 do MS. As concentrações de cloretos e STD aumentam pontualmente na porção

noroeste ao sul no período chuvoso, e sudoeste ao norte durante a estiagem. A concentração de sais nas águas subterrâneas de Fortaleza pode ser produzida por diversos fatores, sendo os mais prováveis a dissolução e o processo de evaporação. As concentrações muito baixas dos constituintes em solução são resultantes do material geológico sedimentar, constituída de sedimentos clásticos de origem continental, de composição predominantemente quartzosa, através dos quais a água subterrânea circula, bem como a elevada pluviosidade, característica do clima da área.

De acordo com as 87 análises bacteriológicas (72 poços) constata-se que 77% dessas amostras apresentaram presença de coliformes totais e/ou fecais. A existência dos coliformes na água confere o aspecto de efetiva contaminação biológica, aumentando os riscos de incidência de doenças de veiculação hídrica. Deve ser dada maior atenção aos projetos de construção dos poços como forma de minimizar a possibilidade das cargas contaminantes atingirem o aquífero, principalmente em bairros com maior densidade demográfica e sem saneamento básico. Ressalta-se que não se sabe a que velocidade ocorre a migração das bactérias patogênicas e dos vírus, muito menos quais as distâncias que podem atingir, reflexo da vida útil desses contaminantes nas águas subterrâneas e do contexto hidrogeológico.

Em relação à qualidade das águas para a irrigação, predominam águas na classe $C_2 - S_1$ (49 e 73,5%), indicando um Médio Risco de Salinidade e Baixo Risco de Sódio, podendo ser utilizadas para irrigação em grande parte dos solos e plantas com tolerância salina, e que em função do SAR são de excelente qualidade.

O uso proposto das águas conforme suas características qualitativas variam em função da finalidade e dos constituintes que possam afetá-las, para direcionar a utilização para consumo humano, irrigação e industrial. Ressalta-se que além dos resultados físico-químicos e bacteriológicos, existem necessidades locais que podem anular determinados limites de padrões de tolerância.

De acordo com o levantamento das potenciais fontes de poluição para as águas subterrâneas foi constatado que a construção de poços de forma inadequada sem adotar as normas técnicas da ABNT, cemitérios, aterros (lixões) inativos, posto de combustíveis, infiltração de águas superficiais contaminadas e ausência de saneamento básico em bairros de Fortaleza prejudicam qualitativamente as águas de subsuperfície.

Em termos de uso e ocupação do meio físico de Fortaleza, conclui-se que os problemas de inundações em Fortaleza resultam da alteração do uso do solo e ocupação dos ambientes fluviais e lacustres, que aliado às chuvas mais intensas e concentradas da quadra

chuvosa, bem como ao não acompanhamento do crescimento populacional, com a implantação de infraestruturas e equipamentos de drenagem no mesmo ritmo do crescimento da cidade, gera problemas desta natureza. Em Fortaleza, as áreas mais densamente ocupadas são também as que possuem menor cobertura vegetal, o que torna esses espaços os de menor infiltração de água para o subsolo e, portanto, as áreas mais impermeáveis da cidade, como os bairros da Aldeota, Meireles, Centro e Mucuripe. Este fato remete ao desrespeito à Lei de Uso e Ocupação do Solo (Lei nº 7.987/1996), tornando esses ambientes propícios a impactos ambientais.

A identificação do arcabouço institucional e legal das águas subterrâneas é o primeiro passo para o gerenciamento, que depende diretamente da ação dos órgãos governamentais.

Como fundamentos técnicos legais na inserção formal dos aspectos qualitativos das águas subterrâneas no vetor gestão dos recursos hídricos, deve ser utilizada a legislação específica (Lei nº 14.844/ 2010), programa de educação ambiental, caracterização das bacias hidrográficas, cadastramento e diagnóstico dos poços e, por fim, o gerenciamento das águas (monitoramento trimestral da água, caracterização qualitativa das águas, levantamento das potenciais fontes de poluição/contaminação, levantamento das demandas e ofertas do Município e o custo de exploração da água subterrânea), integrando-se os temas através de bases georeferenciadas elaboradas com utilização de SIG.

Para o município de Fortaleza é necessária a criação e implantação de um processo de gestão que supere a negligência com o ambiente, uma maior fiscalização das construções (vias de transporte, habitações etc), bem como uma educação ambiental efetiva, a fim de conscientizar as pessoas da importância da preservação das áreas verdes e recursos hídricos.

Recomenda-se a implantação de projetos de pesquisa para se obter dados hidrogeológicos seguros, seja através de poços previamente selecionados ou com a construção de novos poços tubulares, particularmente para a obtenção de parâmetros hidrodinâmicos, já que a inexistência destes elementos dificulta sobremaneira o gerenciamento do potencial hídrico subterrâneo na área.

Finalmente, se ressalta a necessidade do planejamento e gerenciamento desse recurso, a fim de se ter à captação e uso da água sob a óptica de desenvolvimento sustentável e qualidade de vida.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-13.786**. Posto de serviço - Seleção dos equipamentos para sistemas para instalações subterrâneas de combustíveis. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-12.212**. Projeto de poço para captação de água subterrânea - Procedimentos. 2006.
- ACCIOLY, V. M. Mobilidade e expansão urbana na Região Metropolitana de Fortaleza: Da concentração a dispersão urbana. *In*: EUSTÓGIO W. C. D.; COSTA M. C. L. (Org). **Vulnerabilidade Sócioambiental na Região Metropolitana de Fortaleza**. Edições UFC. Fortaleza: 2009. cap. 01, p. 99-136.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). “**Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**”. Washington: D.C. 1998.19.ed.
- ARAÚJO, A. L.; LEAL, S. E. C. **Aspectos qualitativos das águas subterrâneas do município de Fortaleza – CE**. 1990. 123 f. Monografia (Graduação em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1990.
- ARAÚJO, J. C.; SANTAELLA, S. T. Gestão da qualidade. *In*: CAMPOS, N.; STUDART, T. (org.). **Gestão de Águas: Princípios e Práticas**. 1. ed. Porto alegre: ABRH, 2001. cap. 10, p. 139-157.
- ARAÚJO, K. V. **Aspectos hidrogeológicos e hidroquímicos nos bairros Benfica, José Bonifácio, Fátima e Jardim América – Fortaleza, Ceará**. 2012. 90 f. Monografia (Graduação em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- ATLAS de Fortaleza 2000. Fortaleza: Editora da Universidade Estadual do Ceará, 2010. 110 p.
- ATLAS dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Ceará. Fortaleza: Programa Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará (CPRM), 2002. Escala 1:500.000.
- ATLAS geológico do Ceará. Fortaleza: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 2003. Escala 1:500.000.
- BARISON, M. R. **Estudo hidrogeoquímico da porção meridional do Sistema Aquífero Bauru no Estado de São Paulo**. 2003. 158 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo. 2003.
- BARTH, F. T. Fundamentos para a gestão de Recursos Hídricos. *In*: **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. Vol. 1. Porto Alegre: 1987.
- BIANCHI, L.; PADILHA, M.W.M.; TEIXEIRA, J. E. M. Recursos de Água Subterrânea na RMF. Fatores condicionantes. *In*: **Plano de aproveitamento dos recursos hídricos da R.M.F - Fase I**. Fortaleza: SEPLAN-AUMEF, 1984. vol.1, 139 p.

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

BRANDÃO, R.L. 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**. 1. ed. Fortaleza/CE: SER/REFO/CPRM, 1995. Vol. 01, 105 p.

BRASIL. **Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www81.dataprev.gov.br/sislex/paginas/42/1981/6938.htm>. Acesso em: 05 abr. 2012.

BRASIL. **Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/Institucional/Legislacao/leis/lei9433.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2012.

BRASIL. **Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em: 05 abr. 2012.

BRASIL. **Resolução CONAMA Nº 396 de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília, DF, 03 abr. 2008. 11p.

BRASIL. **Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, 14 dez. 2011. 34 p.

BRASIL. **Notícias do Governo**. Dispõe de informações do governo num só lugar (2013). Disponível em: <<http://governo-br.com/aracaju-e-a-5a-melhor-cidade-do-nordeste-em-saneamento-basico>. Acesso em: 05 fev. 2013.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO ESTADO DO CEARÁ (CAGECE). **Planilha de Distribuição de Água e Esgoto no Município de Fortaleza em novembro de 2011**. Versão interna. 2011.

CAMPOS, N. O Modelo Institucional. *In*: CAMPOS, N.; STUDART, T. (Org.). **Gestão de Águas: Princípios e Práticas**. 1. ed. Porto alegre: ABRH, 2001. cap. 03, p. 39-51.

CARNEIRO, F. de A. **Evolução do uso e ocupação do campo de dunas do Morro Santa Terezinha, Fortaleza/CE**. 2009. 130 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

CASTRO, M. A. H. de. Águas Subterrâneas. *In*: CAMPOS, N.; STUDART, T. (Org.). **Gestão de Águas: Princípios e Práticas**. 1. ed. Porto alegre: ABRH, 2001. cap. 12, p. 169-180.

CASTRO, E. de. **Estudo hidrogeoquímico ambiental em Região Cárstica no Município Sete Lagoas – Minas Gerais: Investigação da contaminação de águas superficiais e subterrâneas por nitrato e atrazina, na área do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo da EMBRAPA.** 2011. 890f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

CAVALCANTE, I.N.; VASCONCELOS, S.M.S.; ARAÚJO, A.L.de; LEAL, S.E.C.; BIANCHI, L. Qualidade das Águas Subterrâneas de Fortaleza – CE. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v.3., p. 89-97. 1990.

CAVALCANTE, I.N. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada de recursos hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará.** 1998. 153 f. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

CAVALCANTE, I. N.; GOMES, M. da C. R. As Águas Subterrâneas do Ceará: Ocorrências e Potencialidades. *In*: Medeiros, C. N. de; Gomes, D. D. M.; Albuquerque, E. L. S.; Cruz, M. L. B. da (Org.). **Os Recursos Hídricos do Ceará: Integração, Gestão e Potencialidades.** Fortaleza: IPECE, 2011. Seção III. p. 165-199.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos.** Fortaleza: Atlas, 1992. v.1.

CEARÁ/SRH. **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: 2002. 33 p.

CEARÁ. Secretaria de Saúde do Estado do Ceará. **Relatório Anual de Gestão 2010 da Secretaria de Saúde do Estado do Ceará – SESA.** Fortaleza: 2011. 92 p.

COSTA, W. D.; COSTA FILHO, W. D. A gestão dos aquíferos costeiros de Pernambuco. *In*: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2004, Cuiabá. **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, Mato Grosso: 2004. p. 1-13.

COSTA, S. A. **Qualidade das águas subterrâneas freáticas nos bairros Monte Castelo, Parqueândia, Alagadiço/São Gerardo e Vila Éllery – Fortaleza, Ceará.** 2010. 130 f. Monografia (Graduação em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

CUSTÓDIO, E. **Notas sobre hidroquímica.** Comisaría de aguas del Pirineo Oriental y Servicio Geológico de Obras Públicas. Barcelona: 1965. 103 p.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterránea.** 2. ed. Barcelona: Omega. 1983. vol. 2.

DOURADO, J. Jangurussu passou 20 anos em atividade. Publicado em 28/07/2009. Disponível em: <<http://www.juscelinodourado.com.br>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2012.

DRISCOLL, F. G. **Groundwater and Wells.** 2. ed. Minnesota: H. N. Smyth Comp. Inc., 1986 p. 796-820.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)**. 1999. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/sibcs/index.html>>. Acesso em: 02 de fev. de 2011.

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO CAMPUS PICI /UFC. **Boletim Agrometeorológico/Universidade Federal do Ceará**. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Engenharia Agrícola. 2011.

FENZL, N. Processos Geoquímicos que determinam a composição química das águas naturais. *In*: Fenzl, N.; Ramos, J. F. (Org.). **Introdução à Hidrogeoquímica**. 1. ed. Belém: Universidade Federal do Pará, 1988. cap. 02. p. 33-46.

FERNANDES, M. A. B. **Estudo da qualidade da água subterrânea na Fazenda Frutacor, Chapada do Apodi**. 2003. 84 f. Dissertação (Mestrado em Física) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

FERNANDES, R. A. **Gestão integrada de águas subterrâneas: critérios gerais orientadores para definição e caracterização de áreas estratégicas de abastecimento** 2005. 494f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

FETTER, C. W. **Contaminant hydrogeology**. MacMillan Publishing Company, EUA, 1993. 400 p.

FIGUEIREDO, G. J. A. de. **Avaliação da presença de alumínio na água do sistema de abastecimento público da cidade de João Pessoa e Grande João Pessoa no Estado da Paraíba e os possíveis riscos para a saúde da população**. 2004. 116 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2004.

FORTALEZA. **Lei de Uso e Ocupação do Solo N° 7.987/96**. Consolidação elaborada pela CNDU – COURB – SEINF. Atualizada em Agosto de 2010, contendo as Leis de alteração e Decretos de regulamentação de novas atividades. Fortaleza: 2010. 240 p.

FORTALEZA. Boletim de Balneabilidade das Lagoas de Fortaleza (Laudos N° 17 e 18 de 2010). Disponível em: <<http://www.fortaleza.ce.gov.br/semam/balneabilidade-das-lagoas>>. Acesso em: 10 nov. de 2012.

FREIRE, C. C. **Modelo de gestão para a água subterrânea**. 2002. 156f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

GOMES, D.F. **Estudo hidroquímico, isotópico e da dinâmica do nível estático das águas subterrâneas e superficiais da região de Limoeiro do Norte – Baixo Jaguaribe/Ceará**. 2005. 218p. Tese de doutorado. Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

GOMES, M. da C. R. **Qualidade das águas subterrâneas e superficiais no Campus Universitário do Pici (Fortaleza, Ceará)**. 2006. 122 f. Monografia (Graduação em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

GOMES, M. da C. R. **Aspectos hidrogeológicos do município de Fortaleza - Ceará**. 2008. 82 f. Monografia (Especialização em Gestão Hídrica e Ambiental) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

GOMES, M. da C. R. **O conhecimento hidrogeológico como instrumento de gestão das águas subterrâneas no Campus Universitário do Pici/UFC, Fortaleza - Ceará**. 2009. 156 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

HEM J. D.. **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water**. U.S.G.S. Water Supply Paper, 1473. 1. ed. 1959. 269 p.

HEM, J. D. **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water**. Geological Survey Water-Supply Paper, 2254. 3. ed. Alexandria: Department of the interior, 1985. 263 p.

HOUNSLOW, A. W. **Water quality data: analysis and interpretation**. Lewis Publishers New York. Boca Raton. 1995. 395 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home>. Acesso em: 10 dez. de 2011.

KÖPPEN, W. **Climatologia, com um estúdio de los climas de la tierra**. Version de Pedro R. Hendrichs, Fondo de Cultura Econômica, México: 1948. 478 p.

KRAUSKOPF, K.B. **Introdução à geoquímica**. Polígono. São Paulo: 1972, v. 2, 311 p.

LEMOS, E. C. L; MEDEIROS, F.W. **Águas subterrâneas e as doenças de veiculação hídrica. Área piloto: Bairros Bom Jardim e Granja Portugal. Município de Fortaleza - Ceará**. 2006. 95 f. Monografia (Graduação em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

LEMOS, E. C. L. **A qualidade das águas subterrâneas no município de Fortaleza – CE**. 2010. 50 f. Monografia (Especialização em Gestão Hídrica e Ambiental) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

LOGAN, J. **Interpretação de análises químicas de água**. Recife: U.S. Agency for International Development. 1965. 67 p.

MAIA, J.T.V. **A qualidade das águas subterrâneas, a exclusão sanitária e seus impactos na saúde pública no bairro de Messejana, Fortaleza-Ceará**. 2008. 90 f. Monografia (Graduação em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2008.

MANASSÉS, F. **Caracterização hidroquímica da água subterrânea da Formação Serra Geral na Região Sudoeste do Estado do Paraná**. 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado em

Geologia Ambiental) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MANOEL FILHO, J. Contaminação das águas subterrâneas. *In*: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Org.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3. ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM e LABHID, 2008. cap. 05. p. 381-404.

MARINHO, A. M. C. **Contaminação de aquíferos por instalação de cemitérios, estudo do caso do cemitério São João Batista, Fortaleza, Ceará**. 1998. 88 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1998.

MATHESS, G. **The Properties of Groundwater**. 1. ed. USA: John Wiley & Sons, 1982. 406 p.

MATTA, M. A. da S. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da Região de Belém/Ananindeua – Pará/Brasil**. 2002. 292 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Ceará, Belém, 2002.

MELO, V. Y. B. **Características hidrogeológicas e físico-químicas das águas subterrâneas dos bairros Joaquim Távora, Dionísio Torres e São João do Tauape, Fortaleza/CE**. 2008. 76 f. Monografia (Graduação em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2008.

MESTRINHO, S. S. P. Geoquímica das águas subterrâneas. *In*: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Org.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3. ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM e LABHID, 2008. cap. 5.2. p.359 – 379.

MOBUS, G. **Qualigraf: software** para interpretação de análises físico-químicas, versão Beta. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME. Fortaleza, 2003. Disponível em: <<http://www.funceme.br>>. Acesso em: 10 de ago. de 2011.

MORAIS, J.B.A.; SAMPAIO, T. de Q.; SALES, J.W.M. **Projeto Fortaleza. Hidrogeologia e controle tecnológico nas perfurações de poços tubulares no município de Fortaleza - CE**. Relatório Final. Fortaleza/CE. DNPM/CPRM. 1984. vol.1, textos e mapas. 208 p.

MORAIS, J. B. A. de. **Caracteres hidrogeológicos do aquífero dunas para a gestão de recursos hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza – Ceará**. 2011. 79 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

OLIVEIRA, M. R. B de. **Interpretação de dados ggeofísicos de eletrorrestividade e avaliação qualitativa da água ssubterrânea so Cemitério Parque Bom Jardim, Fortaleza - CE**. 2008. 123f. Monografia (Graduação em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2008.

OLIVEIRA, R. M. **Qualidade das águas subterrâneas nos bairros Montese, Vila União, Parreão, Bom Futuro e Damas – Fortaleza, Ceará**. 2012. 100 f. Monografia (Graduação em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2012.

OLIVEIRA, M. R. B de. **O crescimento urbano e o risco à poluição das águas subterrâneas freáticas no entorno da lagoa da Parangaba, Fortaleza – Ceará.** 2013. 130f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2013.

PEDROSA, T. R. M. A. M. **Caracterização de plumas contaminantes de hidrocarbonetos em postos de abastecimento em Fortaleza, usando o método eletromagnético radar de penetração do solo (GPR).** 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

PEIXINHO, F. C. **Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos.** *In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2010, São Luís. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Maranhão: 2010. p. 1-16.*

PEIXOTO, F. S.; CAVALCANTE. I. N.; LEMOS, E. C. L.; PEDROSA. A; GOMES M. da C. R. **Uso e Ocupação no Meio Físico Urbano e o Impacto Sobre a Qualidade das Águas das Lagoas Costeiras na Cidade de Fortaleza - Ceará.** *In: ENCONTRO INTERCONTINENTAL SOBRE A NATUREZA, 2011, Fortaleza. Anais do Encontro Intercontinental sobre a Natureza. Fortaleza: 2011. p. 1 -11.*

PEREIRA, S. **A Qualidade das Águas subterrâneas e as doenças de veiculação hídrica nos Bairros da Barra do Ceará, Cristo Redentor e Pirambu, Fortaleza – Ceará.** 2008 105 f. Monografia (Graduação em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2008.

PINA, A. P. S. A. de. **Fundamentos hidrogeoquímicos aplicados na Bacia Hidrográfica de Santa Cruz, Ilha de Santiago – Cabo Verde, como instrumento para a gestão de recursos hídricos.** 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

PIPER, A. M. **A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses.** *Transactions American Geophysical Union, 25. p. 914 - 923. 1944.*

POHLING, R.; SANTIAGO, M. F.; TORQUATO, J. R.; GARRETT, L. **Estudo da qualidade da água de Fortaleza.** *In: POHLING, R. (Org.). Estudos Hidrológicos do Nordeste. Serie: monografias. Fortaleza: BNB, 1981. vol. 3. p. 7-72.*

PONTES, A.P. **Estudo da contaminação, vulnerabilidade à poluição e fluxo do aquífero no entorno do cemitério São João Batista - Fortaleza-CE.** 2010. 100f. Monografia (Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Fortaleza, 2010.

PORTELA, M. **Piscinas com ondas se formam em vias públicas da cidade.** *Diário do Nordeste, Fortaleza, p. 17, 25 jan. 2011.*

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

QUESADO JUNIOR, N. **Contribuição da hidrogeologia à problemática das doenças de veiculação hídrica em Fortaleza, Ceará.** 2001. 96 f. Dissertação (Mestrado em Geologia), Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.

QUESADO JUNIOR, N. **Avaliação de parâmetros físicos e hidrodinâmicos dos aquíferos do município de Fortaleza, Estado do Ceará.** 2008. 70 f. Monografia (Especialização em Gestão de Recursos Hídricos e de Infraestrutura Hidráulica), Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2008.

REBOUÇAS A. C. Gestão sustentável dos grandes aquíferos. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2000, Fortaleza. **Anais do XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.** Fortaleza, 2000. p. 131-139.

SABADIA, J. A. B. **Impacto del vertedero de Jangurussu en los recursos hídricos de la ciudad de Fortaleza (Estado de Ceará, Brasil).** 2001. 292f. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) - Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, 2001.

SANTIAGO. M. M. F.; SILVA, C. M. S. V. **Manual de análise hidroquímica e bacteriológica do Departamento de Física da UFC.** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2007. 27 p.

SANTIAGO, M. M. F.; SILVA, C. M. S. V.; FRISCHKOM, H.; MENDES FILHO, J.; VERÍSSIMO, L. S. Hidrogeoquímica da Bacia Sedimentar do Cariri. 2007. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrog_bacia_sed_cariri.pdf. Acesso em: 10 de jan. de 2012.

SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Org.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** 3. ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM e LABHID, 2008. cap. 05. p. 325-357.

SCHOELLER, H. **Les eaux souterraines.** Paris: Masson et Cie., cap. 07, 1962. 642p.

SENRA, J. B.; HAGER F. P. V. Gestão Integrada de aquíferos e políticas públicas. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2004, Cuiabá. **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas,** Mato Grosso: 2004. p. 1-7.

SILVA, A. B. da. **Inventário Hidrogeológico do Nordeste - Folha Nº 5 Fortaleza - SO.** Ministério do Interior/SUDENE. Recife, PE. 1970.

SILVA, M. L. da; BONOTTO, D. M. Hidroquímica elementar e dos Isótopos de urânio em águas subterrâneas da Formação Alter do Chão, Manaus (AM). **Revista Brasileira de Geociências,** São Paulo, v.36 (3), p. 437-448. 2006.

SILVA NETO, R. C. da. **Características físico-químicas das águas subterrâneas nos Bairros Aerolândia, Engenheiro Luciano Cavalcante, Jardim das Oliveiras e Cidade dos Funcionários, Fortaleza - CE.** 2010. 71 f. Monografia (Graduação em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

SILVA, V. M. da. **Fundamentos para o gerenciamento integrado dos recursos hídricos na microbacia urbana do rio Maguari-Açu com vistas a sustentabilidade hidroambiental.** 2012. 377 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.

SILVEIRA, F.P. **A impermeabilização da cidade de Fortaleza e os transtornos causados pelas águas em dias de chuva.** 2003. 33 p. Monografia (Especialização em Avaliações e Perícias de Engenharia) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, 2003.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (SIAGAS). Banco de dados de poços do Ceará. Disponível em: <<http://www.siagasweb.cprm.gov.br>. Acesso em: 8 nov. de 2012.

SOUZA, A. K. P. de. **Qualidade das águas subterrâneas na região circunvizinha ao lixão do Jangurussu, Fortaleza – Ceará.** 2002. 98 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.

STUDART, T. M. de C.; VIEIRA, V. de P. P. B. A Gestão da Água Subterrânea no Ceará. *In: III SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE*, 1996, Salvador. **Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste.** Porto Alegre: ABRH, 1996. p. 193-199.

SUDENE. **Plano: Aproveitamento integrado dos recursos hídricos do Nordeste do Brasil.** Recife, Pernambuco, 1980.

SZIKSZAY, M. Geoquímica das Águas. **Boletim do Instituto de Geociências**, São Paulo, n.5., p. 1-166. 1993.

TAJRA, Adriana. A. **Aspectos técnico-construtivos dos poços tubulares e a legislação pertinente. Área Piloto de Fortaleza-Ceará.** 2001. 109 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.

TANCREDI, A.C.F.N.S. **Recursos hídricos subterrâneos de Santarém: fundamentos para uso e proteção.** 1996. 141f. Tese (Doutorado em Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.

UMBUZEIRO, G. de A. **Padrões de qualidade de água.** Disponível em: <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/EA/encontro_agua_1106/paraiba_sul/palestras/Gisela_Umbuzeiro_Padros.pdf. Acesso em: 25 de ago de 2010.

VASCONCELOS, S. M. S. Estimativa da Recarga Subterrânea a partir do Balanço Hídrico – Exemplo de Fortaleza, (CE). **Revista de Geologia**, Fortaleza, v.7., p. 27 - 34. 1994.

VASCONCELOS, S. M. S. **Recarga do Aquífero Dunas/Paleodunas, Fortaleza - CE.** 1999. 100 f. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

VIDAL, C. L. R. **Disponibilidade e gerenciamento sustentável do Aquífero Serra Grande no município de Picos – Piauí.** 2003. 208f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2003.

APÊNDICES

APÊNDICE A

**Poços cadastrados em campo, Fortaleza - Ceará
(Dezembro/2011)**

APÊNDICE B

**Medidas de campo dos parâmetros de pH, Eh, CE, STD,
Salinidade e NE nos poços ativos nos bairros de Fortaleza
(Agosto/2010 e Outubro/2011)**

APÊNDICE B - Medidas de campo dos parâmetros de pH, Eh, CE, STD, Salinidade e NE nos poços ativos nos bairros de Fortaleza (Agosto/2010 e Outubro/2011)

| Nº. de ordem | Nº da amostra | Tipo de poço | Coordenadas | | Bairro | SER | pH | Eh (mv) | CE (uS/cm) | STD (mg/L) | Salinidade (ppt) | NE (m) | Data da medição | Observações |
|--------------|---------------|--------------|-------------|-----------|--------------------|-----|------|---------|------------|------------|------------------|--------|-----------------|----------------|
| | | | Latitude | Longitude | | | | | | | | | | |
| 172 | P131 | PT | 9588061 | 548541 | São Gerardo | I | 5,6 | 122 | 509 | 255 | 0,25 | - | Agosto de 2010 | poço tampado |
| 173 | P132 | PT | 9588115 | 548548 | Vila Ellery | I | 4,6 | 157,5 | 465 | 233 | 0,22 | - | Agosto de 2010 | poço tampado |
| 174 | P133 | PT | 9587442 | 549148 | São Gerardo | I | 5,0 | 128,2 | 786 | 393 | 0,38 | - | Agosto de 2010 | poço tampado |
| 175 | P134 | PT | 9587690 | 549280 | São Gerardo | I | 6,25 | 48 | 1167 | 583 | 0,58 | - | Agosto de 2010 | poço tampado |
| 176 | P135 | PT | 9588103 | 549160 | São Gerardo | I | 5,7 | 87,9 | 423 | 211 | 0,2 | - | Agosto de 2010 | poço tampado |
| 177 | P136 | PT | 9588572 | 548708 | Vila Ellery | I | 5,7 | 88,4 | 610 | 305 | 0,3 | - | Agosto de 2010 | poço tampado |
| 178 | P137 | PT | 9587374 | 550090 | ParqueMédia | III | 5,97 | 65,7 | 787 | 393 | 0,38 | 2,55 | Agosto de 2010 | - |
| 179 | P138 | PT | 9587916 | 550367 | Monte Castelo | I | 5,91 | 71,4 | 1113 | 556 | 0,55 | - | Agosto de 2010 | poço tampado |
| 180 | P139 | PT | 9586814 | 549277 | ParqueMédia | III | 5,76 | 80,7 | 879 | 440 | 0,43 | - | Agosto de 2010 | poço tampado |
| 181 | P140 | PM | 9587050 | 549514 | ParqueMédia | III | 6,6 | 20,3 | 1110 | 555 | 0,55 | 2 | Agosto de 2010 | poço tampado |
| 182 | P141 | PT | 9587226 | 548829 | São Gerardo | I | 6,08 | 62,8 | 507 | 253 | 0,24 | - | Agosto de 2010 | poço tampado |
| 183 | P142 | PT | 9587218 | 549020 | ParqueMédia | III | 5,78 | 80,5 | 1074 | 537 | 0,53 | 3,97 | Agosto de 2010 | - |
| 184 | P143 | PM | 9588639 | 548490 | Vila Ellery | I | 6,18 | 49,6 | 1246 | 623 | 0,62 | 2,4 | Agosto de 2010 | - |
| 185 | P144 | PT | 9588314 | 549557 | Monte Castelo | I | 6,25 | 56,2 | 747 | 373 | 0,36 | - | Agosto de 2010 | - |
| 186 | P145 | PT | 9589179 | 547830 | Alvaro Wayne | I | 6,64 | 24,2 | 537 | 268 | 0,26 | - | Agosto de 2010 | - |
| 187 | P146 | PT | 9586193 | 545019 | Antônio Bezerra | III | 4,94 | 134,4 | 501 | 250 | 0,24 | 10,6 | Agosto de 2010 | - |
| 188 | P147 | PT | 9586972 | 545600 | Antônio Bezerra | III | 5,35 | 106,1 | 608 | 304 | 0,29 | - | Agosto de 2010 | poço soterrado |
| 189 | P148 | PT | 9586068 | 545593 | Antônio Bezerra | III | 4,44 | 165,4 | 818 | 409 | 0,4 | - | Agosto de 2010 | poço soterrado |
| 190 | P149 | PT | 9586244 | 545575 | Antônio Bezerra | III | 5,04 | 121,3 | 858 | 429 | 0,42 | - | Agosto de 2010 | poço tampado |
| 191 | P150 | PT | 9581750 | 547102 | Vila Pari | IV | 4,26 | 178,6 | 751 | 376 | 0,37 | 9 | Agosto de 2010 | - |
| 192 | P151 | PM | 9582878 | 543114 | Conjunto Ceará | V | 7,52 | 34,4 | 859 | 429 | 0,42 | 1,22 | Agosto de 2010 | - |
| 193 | P152 | PM | 9583225 | 543374 | Conjunto Ceará | V | 6,68 | 22,9 | 843 | 421 | 0,41 | 0,5 | Agosto de 2010 | - |
| 194 | P153 | PT | 9584738 | 550104 | Montese | IV | 5,67 | 87,5 | 924 | 462 | 0,45 | 5 | Agosto de 2010 | - |
| 195 | P154 | PT | 9584048 | 549820 | Montese | IV | 5,68 | 83,9 | 861 | 431 | 0,42 | - | Agosto de 2010 | poço soterrado |
| 196 | P155 | PT | 9584058 | 549825 | Montese | IV | 5,91 | 69,5 | 700 | 350 | 0,34 | - | Agosto de 2010 | poço soterrado |
| 197 | P156 | PT | 9583473 | 549698 | Montese | IV | 6,2 | 53,5 | 1069 | 535 | 0,53 | - | Agosto de 2010 | poço tampado |
| 198 | P157 | PM | 9578972 | 549815 | Parque Dois Irmãos | VI | 6,75 | 14,2 | 640 | 320 | 0,31 | 3,5 | Agosto de 2010 | - |
| 199 | P158 | PT | 9586272 | 553667 | Joaquim Távora | II | 5,05 | 130,3 | 525 | 262 | 0,25 | - | Agosto de 2010 | poço tampado |
| 200 | P159 | PT | 9584704 | 551034 | Montese | IV | 6,14 | 54,2 | 1212 | 606 | 0,6 | 3,6 | Agosto de 2010 | - |
| 201 | P160 | PT | 9587004 | 549741 | ParqueMédia | III | 5,59 | 90,3 | 534 | 267 | 0,26 | 2,1 | Agosto de 2010 | - |
| 202 | P161 | PT | 9582805 | 549228 | Parque Dois Irmãos | VI | 6,77 | 16,04 | 362 | 180,9 | 0,17 | - | Agosto de 2010 | poço tampado |
| 203 | P162 | PT | 9578334 | 561108 | Lagoa Redonda | VI | 5,81 | 79,1 | 409 | 204 | 0,2 | 9,9 | Agosto de 2010 | - |
| 204 | P163 | PT | 9578556 | 561263 | Lagoa Redonda | VI | 4,79 | 142,6 | 245 | 122,7 | 0,12 | 3 | Agosto de 2010 | - |
| 205 | P164 | PM | 9578420 | 558059 | Alagadiço Novo | VI | 6,1 | 52,5 | 419 | 209 | 0,2 | - | Agosto de 2010 | poço tampado |
| 206 | P165 | PT | 9573900 | 555388 | Parque Santa Maria | VI | 6,02 | 64,8 | 758 | 379 | 0,37 | - | Agosto de 2010 | poço soterrado |
| 207 | P166 | PT | 9570877 | 554658 | Pedras | VI | 4,83 | 140,4 | 595 | 297 | 0,29 | - | Agosto de 2010 | poço soterrado |
| 208 | P167 | PT | 9577195 | 559861 | Lagoa Redonda | VI | 5,94 | 66,6 | 617 | 309 | 0,3 | - | Agosto de 2010 | poço tampado |
| 209 | P168 | PT | 9577566 | 558599 | Curio | VI | 5,84 | 77,5 | 433 | 216 | 0,21 | 5 | Agosto de 2010 | - |
| 210 | P169 | PT | 9576868 | 559300 | Curio | VI | 5,32 | 110,8 | 160,5 | 80,3 | 0,08 | - | Agosto de 2010 | poço tampado |
| 211 | P170 | PT | 9578968 | 559428 | Alagadiço Novo | VI | 5,09 | 125,2 | 426 | 213 | 0,21 | - | Agosto de 2010 | poço soterrado |
| 212 | P171 | PM | 9582121 | 549610 | Serrinha | IV | 5,09 | 124,7 | 598 | 299 | 0,29 | 3 | Agosto de 2010 | - |
| 213 | P172 | PT | 9581699 | 550193 | Serrinha | IV | 6,1 | 56,3 | 408 | 204 | 0,2 | - | Agosto de 2010 | - |
| 214 | P173 | PT | 9585065 | 551207 | Jardim América | IV | 6,44 | 21,7 | 835 | 418 | 0,41 | - | Agosto de 2010 | - |
| 215 | P174 | PT | 9581198 | 553065 | Dias Macedo | VI | 5,75 | 79,6 | 1030 | 515 | 0,51 | - | Agosto de 2010 | - |
| 216 | P175 | PT | 9581598 | 552986 | Dias Macedo | VI | 6,13 | 56,8 | 1515 | 257 | 0,25 | - | Agosto de 2010 | - |
| 217 | P176 | PT | 9580587 | 552220 | Dias Macedo | VI | 5,93 | 69,5 | 727 | 364 | 0,35 | - | Agosto de 2010 | - |
| 218 | P177 | PT | 9585579 | 548597 | Bela Vista | III | 5,63 | 87,8 | 592 | 296 | 0,29 | - | Agosto de 2010 | - |
| 219 | P178 | PT | 9587329 | 546663 | Padre Andrade | IV | 5,28 | 109 | 735 | 368 | 0,36 | - | Agosto de 2010 | - |
| 220 | P179 | PT | 9586933 | 551443 | Beufica | IV | 5,17 | 117,9 | 810 | 405 | 0,4 | - | Agosto de 2010 | - |
| 221 | P180 | PT | 9588714 | 558699 | Castelo Encantado | II | 5,94 | 70,1 | 655 | 327 | 0,32 | - | Agosto de 2010 | - |
| 222 | P181 | PT | 9583176 | 546999 | João XXIII | III | 6,37 | 41,9 | 800 | 400 | 0,39 | - | Agosto de 2010 | - |
| 223 | P182 | PT | 9586220 | 557210 | Coco | II | 5,4 | 102,9 | 525 | 262 | 0,25 | - | Agosto de 2010 | - |
| 224 | P183 | PT | 9588010 | 559963 | Praia do Futuro | II | 4,98 | 127,9 | 1148 | 574 | 0,57 | 32 | Agosto de 2010 | - |
| 225 | P184 | PT | 9588610 | 559512 | Vicente Pizon | II | 6,51 | 31,3 | 1115 | 557 | 0,55 | - | Agosto de 2010 | - |
| 226 | P185 | PT | 9588302 | 553908 | Praia de Iracema | II | 6,55 | 30,5 | 610 | 305 | 0,3 | - | Agosto de 2010 | - |

Legenda: PT = poço tubular, PM = poço manual, SER = Secretaria Executiva Regional, pH = potencial hidrogeniônico, Eh = potencial de oxidação-redução ou potencial redox, CE = Condutividade elétrica, STD = sólidos totais dissolvidos e NE = Nivel estático.

APÊNDICE B - Medidas de campo dos parâmetros de pH, Eh, CE, STD, Salinidade e NE nos poços ativos nos bairros de Fortaleza (Agosto/2010 e Outubro/2011)

| Nº. de ordem | Nº da amostra | Tipo de poço | Coordenadas | | Bairro | SER | pH | Eh (mv) | CE (µS/cm) | STD (mg/L) | Salinidade (ppt) | NE (m) | Data da medição | Observações |
|--------------|---------------|--------------|-------------|-----------|----------------------------------|-----|------|---------|------------|------------|------------------|--------|-----------------|--------------|
| | | | Latitude | Longitude | | | | | | | | | | |
| 227 | P186 | PT | 9388567 | 554170 | Prainha de Iracema | II | 5,99 | 66,3 | 716 | 358 | 0,35 | - | Agosto de 2010 | - |
| 228 | P187 | PT | 9388294 | 547838 | Providente Kennedy | III | 4,63 | 154,1 | 826 | 415 | 0,4 | - | Agosto de 2010 | - |
| 229 | P188 | PT | 9388630 | 545086 | Antônio Bezerra | III | 5,3 | 106,9 | 710 | 355 | 0,35 | - | Agosto de 2010 | - |
| 230 | P189 | PT | 9389144 | 544712 | Vila Velha | I | 4,7 | 144,8 | 1026 | 513 | 0,51 | 9,11 | Agosto de 2010 | - |
| 231 | P190 | PT | 9388967 | 544338 | Vila Velha | I | 4,79 | 149,8 | 747 | 373 | 0,36 | - | Agosto de 2010 | - |
| 232 | P191 | PT | 9389987 | 545117 | Vila Velha | I | 5,29 | 111,8 | 214 | 106,9 | 0,1 | - | Agosto de 2010 | - |
| 233 | P192 | PT | 9389839 | 544517 | Vila Velha | I | 4,26 | 176,9 | 656 | 328 | 0,32 | - | Agosto de 2010 | - |
| 234 | P193 | PM | 9389555 | 544792 | Vila Velha | I | 3,97 | 191,4 | 615 | 307 | 0,3 | 9,8 | Agosto de 2010 | - |
| 235 | P194 | PT | 9388796 | 546288 | Jardim Iracema | I | 4,67 | 147,9 | 1148 | 574 | 0,37 | - | Agosto de 2010 | - |
| 236 | P195 | PT | 9388083 | 545653 | Quintinho Cunha | III | 4,92 | 130 | 921 | 460 | 0,45 | - | Agosto de 2010 | - |
| 237 | P196 | PT | 9388440 | 545249 | Quintinho Cunha | III | 5,81 | 75,6 | 555 | 277 | 0,27 | - | Agosto de 2010 | - |
| 238 | P197 | PT | 9389709 | 545203 | Vila Velha | I | 5,22 | 107,2 | 949 | 475 | 0,46 | - | Agosto de 2010 | - |
| 239 | P198 | PT | 9389379 | 545078 | Vila Velha/Jardim Quaresma | I | 4,13 | 183,3 | 915 | 458 | 0,45 | - | Agosto de 2010 | poço tampado |
| 240 | P199 | PT | 9389180 | 549170 | Jacuracema | I | 5,9 | 68,4 | 718 | 359 | 0,35 | - | Agosto de 2010 | - |
| 241 | P200 | PM | 9384520 | 553048 | Fátima | IV | 5,12 | 119,2 | 315 | 163,4 | 0,16 | 1,9 | Agosto de 2010 | - |
| 242 | P201 | PT | 9386468 | 559483 | Papicu | II | 5,4 | 102,1 | 623 | 311 | 0,3 | 3,6 | Agosto de 2010 | - |
| 243 | P202 | PT | 9385463 | 554111 | Joaquim Távora | II | 5,23 | 121,7 | 445 | 222 | 0,21 | - | Agosto de 2010 | - |
| 244 | P203 | PT | 9387869 | 553640 | Alderson | II | 6,14 | 55,3 | 493 | 247 | 0,24 | 12 | Agosto de 2010 | - |
| 245 | P204 | PT | 9381497 | 558490 | Edson Queiroz | VI | 7,3 | 19,6 | 1082 | 548 | 0,53 | - | Agosto de 2010 | - |
| 246 | P205 | PM | 9382826 | 559786 | Edson Queiroz | VI | 5,72 | 81,4 | 851 | 425 | 0,42 | 1 | Agosto de 2010 | - |
| 247 | P206 | PT | 9382891 | 559801 | Edson Queiroz | VI | 5,51 | 93,6 | 1286 | 643 | 0,64 | - | Agosto de 2010 | - |
| 248 | P207 | PA | 9382744 | 560060 | Edson Queiroz | VI | 6,13 | 58,8 | 104,1 | 52 | 0,05 | - | Agosto de 2010 | - |
| 249 | P208 | PT | 9377739 | 560476 | Luísa Redonda | VI | 4,43 | 166,6 | 465 | 232 | 0,22 | - | Agosto de 2010 | - |
| 250 | P209 | PT | 9377537 | 560145 | Sapiranga | VI | 5,47 | 96,6 | 551 | 275 | 0,27 | 5 | Agosto de 2010 | - |
| 251 | P210 | PT | 9379942 | 560917 | Luísa Redonda | VI | 5,35 | 106,3 | 423 | 211 | 0,2 | - | Agosto de 2010 | - |
| 252 | P211 | PT | 9377313 | 556479 | Messajana | VI | 6,23 | 50,1 | 329 | 164,3 | 0,16 | - | Agosto de 2010 | poço tampado |
| 253 | P212 | PT | 9382118 | 547967 | Maraponga | V | 5,68 | 84,2 | 796 | 398 | 0,39 | - | Agosto de 2010 | - |
| 254 | P213 | PT | 9378090 | 555644 | Messajana | VI | 6,97 | 1,2 | 588 | 294 | 0,28 | - | Agosto de 2010 | - |
| 255 | P214 | PT | 9378744 | 557201 | Cambela | VI | 6,89 | 8,2 | 296 | 148,1 | 0,14 | - | Agosto de 2010 | - |
| 256 | P215 | PT | 9387064 | 549106 | São Gerardo | I | 5,74 | 81,5 | 670 | 335 | 0,33 | - | Agosto de 2010 | poço tampado |
| 257 | P216 | PT | 9379242 | 552479 | Passare | VI | 5,46 | 99 | 592 | 296 | 0,29 | 2 | Agosto de 2010 | - |
| 258 | P217 | PM | 9379505 | 552345 | Passare | VI | 5,01 | 125,7 | 524 | 262 | 0,25 | - | Agosto de 2010 | - |
| 259 | P218 | PT | 9379534 | 551953 | Passare | VI | 5,83 | 73,7 | 587 | 294 | 0,28 | 25 | Agosto de 2010 | - |
| 260 | P219 | PT | 9379596 | 552038 | Passare | VI | 5,79 | 76,3 | 595 | 297 | 0,29 | 6 | Agosto de 2010 | - |
| 261 | P220 | PT | 9376761 | 554335 | Jangurussu | VI | 4,87 | 138,8 | 704 | 352 | 0,34 | - | Agosto de 2010 | - |
| 262 | P221 | PT | 9382301 | 547614 | Parangaba | IV | 5,2 | 115,3 | 428 | 214 | 0,23 | - | Agosto de 2010 | - |
| 263 | P222 | PT | 9384661 | 553686 | São João do Tauape | II | 5,36 | 105,2 | 1001 | 500 | 0,49 | - | Agosto de 2010 | - |
| 264 | P223 | PT | 9388192 | 556629 | Mercado | II | 5,19 | 116,4 | 706 | 353 | 0,34 | - | Agosto de 2010 | - |
| 265 | P224 | PT | 9386410 | 556654 | Alderson | II | 5,26 | 112,2 | 477 | 239 | 0,23 | - | Agosto de 2010 | - |
| 266 | P225 | PT | 9381468 | 556264 | Parque Mambura | VI | 5,33 | 91,9 | 622 | 311 | 0,3 | 1,3 | Agosto de 2010 | - |
| 267 | P226 | PT | 9381569 | 557023 | Água Fria | VI | 5,39 | 88,6 | 629 | 315 | 0,31 | - | Agosto de 2010 | poço tampado |
| 268 | P227 | PM | 9376269 | 548965 | Jose Walter | VI | 6,09 | 57,9 | 918 | 459 | 0,45 | 1,12 | Agosto de 2010 | - |
| 269 | P228 | PA | 9375429 | 548828 | Jose Walter | VI | 6,11 | 56,6 | 1045 | 522 | 0,52 | 1,6 | Agosto de 2010 | - |
| 270 | P229 | PT | 9378915 | 545733 | Conjunto Esperança | VI | 4,06 | 188,2 | 232 | 116 | 0,11 | - | Agosto de 2010 | - |
| 271 | P230 | PT | 9376325 | 548339 | Isidobin (Planalto Avrões Senna) | VI | 6,24 | 48,6 | 589 | 295 | 0,29 | 10 | Agosto de 2010 | - |
| 272 | P231 | PT | 9386297 | 551904 | Fátima | IV | 6,58 | 23,8 | 582 | 291 | 0,28 | 1,7 | Outubro de 2011 | - |
| 273 | P232 | PM | 9385258 | 550516 | Jardim America | IV | 5,97 | 60,1 | 771 | 386 | 0,38 | 2 | Outubro de 2011 | - |
| 274 | P233 | PT | 9385540 | 550884 | Jardim America | IV | 5,88 | 65,4 | 943 | 471 | 0,46 | 2,25 | Outubro de 2011 | - |
| 439 | P396 | PT | 9385368 | 550853 | Jardim America | IV | 5,73 | 73,7 | 901 | 450 | 0,44 | - | Outubro de 2011 | - |
| 277 | P236 | PM | 9385137 | 550774 | Jardim America | IV | 5,57 | 85,4 | 763 | 382 | 0,37 | 1,3 | Outubro de 2011 | - |
| 278 | P237 | PM | 9385484 | 551381 | Jardim America | IV | 8,12 | 92,4 | 833 | 426 | 0,42 | - | Outubro de 2011 | - |
| 442 | P401 | PT | 9386955 | 552305 | Jose Bonifácio | IV | 7,32 | 129,9 | 548 | 274 | 0,27 | - | Outubro de 2011 | - |
| 280 | P239 | PT | 9387165 | 551943 | Bonifica | IV | 7,44 | 131,4 | 0,48 | 0,24 | 0,01 | - | Outubro de 2011 | - |
| 281 | P240 | PT | 9387116 | 551900 | Bonifica | IV | 7,25 | 143,9 | 765 | 382 | 0,37 | 4,7 | Outubro de 2011 | - |
| 445 | P404 | PT | 9385726 | 551458 | Bonifica | IV | 6,97 | 139,2 | 496 | 284 | 0,24 | - | Outubro de 2011 | - |
| 283 | P242 | PM | 9385883 | 551035 | Bonifica | IV | 7,49 | 135,7 | 1118 | 559 | 0,55 | 2,2 | Outubro de 2011 | - |
| 284 | P243 | PT | 9385066 | 551194 | Jardim America | IV | 9,16 | 21,7 | 835 | 418 | 0,41 | - | Outubro de 2011 | - |
| 285 | P244 | PT | 9386598 | 552710 | Jose Bonifácio | IV | 7,74 | 115,5 | 1117 | 559 | 0,55 | - | Outubro de 2011 | - |
| 286 | P245 | PT | 9386860 | 551286 | Bonifica | IV | 7,25 | 142,5 | 681 | 340 | 0,33 | 4,27 | Outubro de 2011 | - |
| 287 | P246 | PT | 9386353 | 551611 | Bonifica | IV | 7,03 | 152,1 | 530 | 265 | 0,26 | - | Outubro de 2011 | - |
| 289 | P248 | PT | 9386737 | 551665 | Bonifica | IV | 7,5 | 129,7 | 662 | 331 | 0,32 | - | Outubro de 2011 | - |

Legenda: PT = poço tubular; PM = poço manual; SER = Secretaria Executiva Regional; pH = potencial hidrogeniônico; Eh = potencial de oxidação ou potencial redox; CE = Condutividade elétrica; STD = sólidos totais dissolvidos e NE = Nível estático.

APÊNDICE B - Medidas de campo dos parâmetros de pH, Eh, CE, STD, Salinidade e NE nos poços ativos nos bairros de Fortaleza (Agosto/2010 e Outubro/2011)

| Nº. de ordem | Nº da amostra | Tipo de poço | Coordenadas | | Bairro | SER | pH | Eh (mv) | CE (µS/cm) | STD (mg/L) | Salinidade (ppt) | NE (m) | Data da medição | Observações |
|--------------|---------------|--------------|-------------|-----------|----------------|-----|------|---------|------------|------------|------------------|--------|-----------------|-------------|
| | | | Latitude | Longitude | | | | | | | | | | |
| 452 | P411 | PT | 9586978 | 551886 | Beunific | IV | 7,21 | 145,8 | 759 | 379 | 0,37 | - | Outubro de 2011 | - |
| 291 | P250 | PM | 9586492 | 551693 | Centro | II | 6,77 | 170,9 | 584 | 292 | 0,28 | - | Outubro de 2011 | - |
| 292 | P251 | PM | 9586083 | 551716 | Fatima | IV | 6,79 | 169,2 | 656 | 318 | 0,31 | 4,6 | Outubro de 2011 | - |
| 455 | P414 | PT | 9586145 | 551766 | Fatima | IV | 6,85 | 167,7 | 663 | 331 | 0,32 | - | Outubro de 2011 | - |
| 294 | P253 | PT | 9586040 | 550834 | Damas | IV | 7,38 | 137,4 | 1365 | 682 | 0,68 | - | Outubro de 2011 | - |
| 295 | P254 | PT | 9586514 | 551872 | José Bonifácio | IV | 7,04 | 152,4 | 616 | 308 | 0,3 | 4 | Outubro de 2011 | - |
| 296 | P255 | PT | 9585036 | 551877 | Fatima | IV | 7,08 | 154,8 | 428 | 213 | 0,21 | - | Outubro de 2011 | - |
| 297 | P256 | PT | 9586368 | 551139 | Beunific | IV | 7,54 | -14,6 | 530 | 265 | 0,26 | 2 | Outubro de 2011 | - |
| 298 | P257 | PT | 9586374 | 551246 | Beunific | IV | 7,47 | -24,7 | 519 | 260 | 0,25 | 1 | Outubro de 2011 | - |
| 299 | P258 | PT | 9586380 | 551242 | Beunific | IV | 7,5 | -19,6 | 524 | 262 | 0,27 | - | Outubro de 2011 | - |
| 300 | P259 | PT | 9586099 | 551495 | Beunific | IV | 6,77 | 16,6 | 503 | 251 | 0,24 | - | Outubro de 2011 | - |
| 301 | P260 | PT | 9586097 | 551469 | Beunific | IV | 6,77 | 16,6 | 503 | 251 | 0,24 | - | Outubro de 2011 | - |
| 302 | P261 | PT | 9586033 | 551585 | Beunific | IV | 6,77 | 16,6 | 503 | 251 | 0,24 | - | Outubro de 2011 | - |
| 303 | P262 | PT | 9586717 | 552274 | José Bonifácio | IV | 6,79 | 14,5 | 726 | 363 | 0,35 | - | Outubro de 2011 | - |
| 304 | P263 | PT | 9586128 | 552150 | Fatima | IV | 7,22 | -9,4 | 345 | 172,4 | 0,17 | - | Outubro de 2011 | - |
| 305 | P264 | PT | 9586685 | 552759 | Centro | II | 6,98 | 7,1 | 559 | 279 | 0,27 | - | Outubro de 2011 | - |
| 468 | P427 | PT | 9586719 | 552724 | Centro | II | 6,59 | 25,2 | 867 | 433 | 0,42 | - | Outubro de 2011 | - |
| 307 | P266 | PM | 9585394 | 553186 | Fatima | IV | 7,21 | -9,2 | 578 | 289 | 0,28 | 2,8 | Outubro de 2011 | - |
| 470 | P429 | PT | 9585240 | 552585 | Fatima | IV | 6,36 | 39,4 | 838 | 419 | 0,41 | - | Outubro de 2011 | - |
| 310 | P269 | PT | 9584796 | 552975 | Fatima | IV | 5,99 | 60,4 | 242 | 121 | 0,12 | - | Outubro de 2011 | - |
| 315 | P274 | PT | 9586644 | 552123 | Centro | II | 6,79 | 15,2 | 448 | 224 | 0,22 | - | Outubro de 2011 | - |
| 478 | P437 | PT | 9586447 | 551061 | Beunific | IV | 7,76 | -43,3 | 1074 | 537 | 0,53 | - | Outubro de 2011 | - |
| 317 | P276 | PM | 9586477 | 551050 | Beunific | IV | 6,18 | 49 | 832 | 416 | 0,41 | - | Outubro de 2011 | - |
| 318 | P277 | PA | 9585545 | 552786 | Fatima | IV | 6,47 | 32,8 | 724 | 362 | 0,35 | - | Outubro de 2011 | - |
| 319 | P278 | PA | 9585552 | 552777 | Fatima | IV | 6,63 | 21,5 | 663 | 331 | 0,32 | - | Outubro de 2011 | - |
| 320 | P279 | PT | 9584647 | 552111 | Fatima | IV | 6,29 | 41,8 | 580 | 290 | 0,28 | 7,7 | Outubro de 2011 | - |
| 322 | P281 | PT | 9585895 | 552982 | Fatima | IV | 7,36 | -20,8 | 620 | 310 | 0,3 | 1,8 | Outubro de 2011 | - |
| 486 | P445 | PT | 9586200 | 552597 | Fatima | IV | 6,75 | 16,3 | 658 | 319 | 0,31 | - | Outubro de 2011 | - |
| 324 | P283 | PT | 9586200 | 552597 | Fatima | IV | 6,42 | 35 | 804 | 302 | 0,29 | - | Outubro de 2011 | - |
| 325 | P284 | PM | 9584870 | 552411 | Fatima | IV | 6,33 | 38,3 | 776 | 388 | 0,38 | 2,5 | Outubro de 2011 | - |
| 488 | P447 | PT | 9584590 | 552227 | Fatima | IV | 6,58 | 25 | 620 | 310 | 0,3 | - | Outubro de 2011 | - |
| 327 | P286 | PT | 9584765 | 552635 | Fatima | IV | 6,22 | 47,4 | 677 | 338 | 0,33 | - | Outubro de 2011 | - |
| 328 | P287 | PT | 9584743 | 552606 | Fatima | IV | 5,34 | 96,3 | 431 | 215 | 0,21 | - | Outubro de 2011 | - |
| 329 | P288 | PM | 9585366 | 553024 | Fatima | IV | 6,8 | 9,4 | 252 | 262 | 0,25 | 1,5 | Outubro de 2011 | - |
| 330 | P289 | PT | 9585211 | 553124 | Fatima | IV | 6,16 | 48,9 | 709 | 355 | 0,35 | - | Outubro de 2011 | - |
| 331 | P290 | PM | 9585362 | 553313 | Fatima | IV | 6,48 | 30,9 | 533 | 267 | 0,26 | - | Outubro de 2011 | - |
| 332 | P291 | PT | 9586208 | 552164 | Fatima | IV | 6,76 | 12 | 314 | 156,9 | 0,15 | - | Outubro de 2011 | - |
| 333 | P294 | PT | 9584992 | 552357 | Fatima | IV | 7,02 | 12,2 | 599 | 300 | 0,29 | - | Outubro de 2011 | - |
| 334 | P295 | PM | 9584695 | 552409 | Fatima | IV | 6,66 | 20,7 | 909 | 455 | 0,45 | 1,5 | Outubro de 2011 | - |
| 335 | P296 | PT | 9585892 | 551691 | Fatima | IV | 8,5 | -90,6 | 529 | 265 | 0,26 | - | Outubro de 2011 | - |
| 336 | P297 | PT | 9585811 | 551916 | Fatima | IV | 8,52 | -87,8 | 671 | 335 | 0,33 | - | Outubro de 2011 | - |
| 337 | P299 | PM | 9585400 | 551858 | Fatima | IV | 8,59 | -96,3 | 621 | 311 | 0,3 | 2,3 | Outubro de 2011 | - |
| 338 | P464 | PM | 9584390 | 551067 | Parraão | IV | 5,57 | 85,3 | 1074 | 537 | 0,53 | 4,2 | Outubro de 2011 | - |
| 339 | P465 | PM | 9583956 | 551823 | Vila União | IV | 5,39 | 102,0 | 783 | 392 | 0,38 | 3,88 | Outubro de 2011 | - |
| 506 | P465 | PM | 9584913 | 549508 | Damas | IV | 7,17 | -7,3 | 985 | 492 | 0,48 | 1,2 | Outubro de 2011 | - |
| 341 | P467 | PM | 9584646 | 549769 | Montese | IV | 7,05 | -0,3 | 840 | 420 | 0,41 | 1,2 | Outubro de 2011 | - |
| 342 | P468 | PT | 9584480 | 550061 | Montese | IV | 7,04 | 152,4 | 562 | 281 | 0,27 | - | Outubro de 2011 | - |
| 343 | P469 | PT | 9583960 | 549864 | Montese | IV | 6,94 | 5,3 | 853 | 427 | 0,42 | - | Outubro de 2011 | - |
| 510 | P469 | PT | 9583742 | 550563 | Montese | IV | 7,24 | -11,2 | 796 | 398 | 0,39 | - | Outubro de 2011 | - |
| 345 | P471 | PM | 9583564 | 550254 | Montese | IV | 7,41 | -23,9 | 1092 | 546 | 0,54 | 0,8 | Outubro de 2011 | - |
| 346 | P472 | PT | 9583937 | 550440 | Montese | IV | 7,11 | 156,2 | 753 | 377 | 0,37 | - | Outubro de 2011 | - |
| 347 | P473 | PM | 9584165 | 550483 | Montese | IV | 6,95 | 5,4 | 982 | 491 | 0,48 | 3,6 | Outubro de 2011 | - |
| 348 | P474 | PM | 9584526 | 550238 | Bom Futuro | IV | 7,11 | 156,1 | 718 | 359 | 0,35 | 3,7 | Outubro de 2011 | - |
| 349 | P475 | PM | 9583901 | 550300 | Montese | IV | 7,19 | -6,5 | 760 | 380 | 0,37 | 5,5 | Outubro de 2011 | - |
| 350 | P476 | PM | 9583302 | 551208 | Vila União | IV | 7,57 | 20,8 | 592 | 296 | 0,29 | 1,47 | Outubro de 2011 | - |
| 351 | P477 | PT | 9583939 | 550755 | Montese | IV | 7,21 | -9,2 | 688 | 343 | 0,33 | - | Outubro de 2011 | - |
| 352 | P478 | PT | 9584415 | 551282 | Parraão | IV | 7,12 | 159,3 | 449 | 225 | 0,22 | - | Outubro de 2011 | - |

Legenda: PT = poço tubular, PM = poço manual, SER = Secretaria Executiva Regional, pH = potencial hidrogeniônico, Eh = potencial de oxidação ou potencial redox, CE = Condutividade elétrica, STD = sólidos totais dissolvidos e NE = Nivel estático.

APÊNDICE B - Medidas de campo dos parâmetros de pH, Eh, CE, STD, Salinidade e NE nos poços ativos nos bairros de Fortaleza (Agosto/2010 e Outubro/2011)

| Nº. de ordem | Nº da amostra | Tipo de poço | Coordenadas | | Bairro | SER | pH | Eh (mv) | CE (µS/cm) | STD (mg/L) | Salinidade (ppt) | NE (m) | Data da medição | Observações |
|--------------|---------------|--------------|-------------|-----------|------------|-----|------|---------|------------|------------|------------------|--------|-----------------|-------------|
| | | | Latitude | Longitude | | | | | | | | | | |
| 353 | P479 | PT | 9584142 | 550288 | Montese | IV | 7,14 | 157,1 | 863 | 431 | 0,42 | 3,75 | Outubro de 2011 | - |
| 354 | P480 | PT | 9583573 | 549340 | Montese | IV | 7,34 | -21,1 | 644 | 322 | 0,31 | - | Outubro de 2011 | - |
| 355 | P481 | PT | 9583703 | 549458 | Montese | IV | 6,61 | 25,7 | 425 | 212 | 0,2 | - | Outubro de 2011 | - |
| 356 | P482 | PT | 9583354 | 549779 | Montese | IV | 6,64 | 25,3 | 1045 | 523 | 0,51 | 3,30 | Outubro de 2011 | - |
| 357 | P483 | PT | 9583493 | 552137 | Vila União | IV | 6,73 | 18,9 | 714 | 357 | 0,35 | - | Outubro de 2011 | - |
| 358 | P484 | PT | 9584589 | 551417 | Parraão | IV | 7,23 | -12,8 | 595 | 298 | 0,29 | - | Outubro de 2011 | - |
| 359 | P485 | PT | 9583929 | 550941 | Montese | IV | 6,01 | 59,7 | 661 | 331 | 0,32 | - | Outubro de 2011 | - |
| 360 | P486 | PT | 9583781 | 551542 | Vila União | IV | 6,32 | 41 | 510 | 255 | 0,25 | - | Outubro de 2011 | - |
| 361 | P487 | PM | 9584060 | 551885 | Vila União | IV | 6,02 | 57,3 | 558 | 279 | 0,27 | 2,5 | Outubro de 2011 | - |
| 362 | P487 | PM | 9584204 | 551948 | Vila União | IV | 6,26 | 43,1 | 701 | 351 | 0,34 | - | Outubro de 2011 | - |
| 363 | P489 | PT | 9584326 | 552338 | Parraão | IV | 5,33 | 96,1 | 528 | 264 | 0,26 | - | Outubro de 2011 | - |
| 364 | P490 | PT | 9584461 | 551942 | Parraão | IV | 7,32 | -16,4 | 532 | 266 | 0,26 | - | Outubro de 2011 | - |
| 365 | P491 | PT | 9584007 | 552209 | Parraão | IV | 5,48 | 88,6 | 581 | 290 | 0,28 | - | Outubro de 2011 | - |
| 366 | P492 | PT | 9585914 | 550392 | Damas | IV | 6,02 | 57,7 | 709 | 355 | 0,35 | - | Outubro de 2011 | - |
| 367 | P493 | PM | 9585869 | 550341 | Damas | IV | 7,06 | -7,3 | 579 | 290 | 0,28 | 4,2 | Outubro de 2011 | - |
| 368 | P494 | PT | 9585841 | 550531 | Damas | IV | 7,79 | 45,9 | 948 | 474 | 0,46 | - | Outubro de 2011 | - |
| 369 | P494 | PM | 9585504 | 550153 | Damas | IV | 7,9 | -3,6 | 694 | 347 | 0,34 | - | Outubro de 2011 | - |
| 370 | P496 | PT | 9585463 | 550166 | Damas | IV | 6,58 | 26,5 | 606 | 303 | 0,29 | 2,8 | Outubro de 2011 | - |
| 371 | P497 | PT | 9585495 | 550431 | Damas | IV | 7,43 | -24,4 | 594 | 297 | 0,29 | - | Outubro de 2011 | - |
| 372 | P498 | PM | 9585469 | 550532 | Damas | IV | 6,19 | 47,4 | 783 | 391 | 0,38 | 1,53 | Outubro de 2011 | - |
| 373 | P499 | PT | 9584944 | 550300 | Bom Futuro | IV | 6,76 | 14,5 | 904 | 452 | 0,44 | 1,9 | Outubro de 2011 | - |
| 374 | P499 | PT | 9584821 | 550616 | Bom Futuro | IV | 7,3 | -0,2 | 727 | 363 | 0,35 | 2,4 | Outubro de 2011 | - |
| 375 | P501 | PT | 9584661 | 551865 | Parraão | IV | 7,24 | -11,1 | 588 | 294 | 0,29 | - | Outubro de 2011 | - |
| 376 | P502 | PM | 9584581 | 549958 | Damas | IV | 7,26 | -13,5 | 518 | 259 | 0,25 | 5,15 | Outubro de 2011 | - |
| 377 | P502 | PT | 9584405 | 549663 | Montese | IV | 6,86 | 8,6 | 574 | 287 | 0,28 | 1,75 | Outubro de 2011 | - |
| 378 | P504 | PT | 9584738 | 550104 | Damas | IV | 5,67 | 87,5 | 924 | 462 | 0,45 | 5 | Outubro de 2011 | - |
| 379 | P508 | PT | 9584048 | 549820 | Montese | IV | 5,68 | 83,9 | 861 | 431 | 0,42 | - | Outubro de 2011 | - |
| 380 | P509 | PT | 9584058 | 549825 | Montese | IV | 5,91 | 69,5 | 700 | 350 | 0,34 | - | Outubro de 2011 | - |
| 381 | P510 | PT | 9583473 | 549698 | Montese | IV | 6,2 | 53,5 | 1069 | 535 | 0,53 | - | Outubro de 2011 | - |
| 382 | P511 | PT | 9584704 | 551034 | Parraão | IV | 6,14 | 54,2 | 1212 | 606 | 0,6 | 3,6 | Outubro de 2011 | - |
| 383 | P512 | PM | 9585046 | 549892 | Damas | IV | 6,83 | 11,9 | 608 | 304 | 0,29 | 3 | Outubro de 2011 | - |
| 384 | P513 | PM | 9583829 | 549505 | Montese | IV | 7,18 | -6,4 | 716 | 358 | 0,35 | 3 | Outubro de 2011 | - |
| 385 | P514 | PM | 9583726 | 549741 | Montese | IV | 7,17 | -7,3 | 815 | 408 | 0,4 | 3 | Outubro de 2011 | - |
| 386 | P515 | PT | 9583779 | 549797 | Montese | IV | 6,69 | 21,4 | 767 | 383 | 0,37 | 2,46 | Outubro de 2011 | - |
| 387 | P516 | PT | 9584482 | 551860 | Parraão | IV | 7,27 | -13,7 | 807 | 404 | 0,39 | - | Outubro de 2011 | - |
| 388 | P506 | PT | 9584510 | 551946 | Parraão | IV | 6,63 | 17,3 | 1544 | 772 | 0,77 | - | Outubro de 2011 | - |
| 389 | P518 | PM | 9584348 | 551761 | Parraão | IV | 6,65 | 20,9 | 541 | 270 | 0,26 | - | Outubro de 2011 | - |
| 390 | P519 | PM | 9584270 | 549201 | Montese | IV | 5,94 | 63,1 | 319 | 159,3 | 0,15 | - | Outubro de 2011 | - |
| 391 | P520 | PM | 9584082 | 549537 | Montese | IV | 6,72 | 15,4 | 904 | 452 | 0,44 | - | Outubro de 2011 | - |
| 392 | P521 | PT | 9583949 | 549336 | Montese | IV | 6,71 | 17,6 | 750 | 375 | 0,37 | - | Outubro de 2011 | - |
| 393 | P522 | PT | 9584629 | 551422 | Parraão | IV | 6,6 | 25 | 486 | 243 | 0,23 | - | Outubro de 2011 | - |
| 394 | P523 | PT | 9584459 | 550777 | Parraão | IV | 5,08 | 112,2 | 600 | 300 | 0,29 | - | Outubro de 2011 | - |
| 395 | P523 | PT | 9584359 | 550730 | Parraão | IV | 6,21 | 45,7 | 811 | 405 | 0,4 | - | Outubro de 2011 | - |
| 396 | P525 | PT | 9584020 | 551165 | Vila União | IV | 7,03 | -2,7 | 793 | 397 | 0,39 | - | Outubro de 2011 | - |
| 397 | P526 | PT | 9584365 | 551679 | Parraão | IV | 7,05 | -0,3 | 509 | 254 | 0,25 | - | Outubro de 2011 | - |
| 398 | P528 | PM | 9584452 | 550520 | Bom Futuro | IV | 6,59 | 24,7 | 645 | 322 | 0,31 | - | Outubro de 2011 | - |
| 399 | P529 | PT | 9585102 | 549688 | Damas | IV | 6,77 | 14,5 | 701 | 350 | 0,34 | - | Outubro de 2011 | - |
| 400 | P530 | PM | 9585128 | 550137 | Damas | IV | 7,44 | -27,1 | 610 | 305 | 0,3 | 2 | Outubro de 2011 | - |
| 401 | P530 | PT | 9583448 | 551110 | Vila União | IV | 6,77 | 14,6 | 779 | 390 | 0,38 | - | Outubro de 2011 | - |
| 402 | P532 | PM | 9583536 | 551147 | Vila União | IV | 6,95 | 5,4 | 512 | 256 | 0,25 | 2,27 | Outubro de 2011 | - |
| 403 | P532 | PT | 9583273 | 551814 | Vila União | IV | 6,91 | 7,6 | 853 | 426 | 0,42 | - | Outubro de 2011 | - |
| 404 | P534 | PM | 9583489 | 551983 | Vila União | IV | 6,64 | 23,2 | 742 | 371 | 0,36 | 6,56 | Outubro de 2011 | - |
| 405 | P536 | PM | 9583363 | 551495 | Vila União | IV | 6,19 | 48,6 | 692 | 346 | 0,34 | - | Outubro de 2011 | - |
| 406 | P537 | PT | 9583757 | 551168 | Vila União | IV | 7,48 | -14,9 | 389 | 194,4 | 0,19 | - | Outubro de 2011 | - |
| 407 | P539 | PT | 9583729 | 552236 | Vila União | IV | 6,38 | 36,7 | 951 | 476 | 0,47 | 7,3 | Outubro de 2011 | - |
| 408 | P540 | PT | 9583571 | 552156 | Vila União | IV | 6,02 | 57,9 | 1088 | 544 | 0,54 | - | Outubro de 2011 | - |

Legenda: PT = poço tubular; PM = poço manual; SER = Secretaria Executiva Regional; pH = potencial hidrogeniônico; Eh = potencial de oxidação ou potencial redox; CE = Condutividade elétrica; STD = sólidos totais dissolvidos e NE = Nível estático.

APÊNDICE C

**Resultado das análises físico-químicas das águas
subterrâneas de Fortaleza, Ceará (Período de 2001 a 2011)**

APÊNDICE C - Resultado das Análises Bacteriológicas das águas subterrâneas de Fortaleza, Ceará (Período de 2001 a 2011)

| Nº de análise | Nº de amostra | Características | | Ponto | Alt. | pH (a 20°C) | Clorofórmico | Nitrato (mg/L NO ₃ -N) | Cloro (mg/L Cl ₂) | Sulfato (mg/L SO ₄ -S) | Cálcio (mg/L Ca) | Magnésio (mg/L Mg) | Ferro Total (mg/L Fe) | Alumínio (mg/L Al) | Fósforo (mg/L P) | Condutividade Total (mg/L CaCO ₃) | Dureza Total (mg/L CaCO ₃) | Fósforo Dissolvido (mg/L P-PO ₄ -P) | Nitro (mg/L N-NO ₂ -N) | Nitro (mg/L N-NO ₃ -N) | Turbidez (NTU) | Cor (PCU) | OTC (mg/L) | Sólidos (mg/L Sólidos Totais) | Fósforo Ortófosfato (mg/L P-PO ₄ -P) | Carbonato (mg/L CO ₃ -C) | S ₂ O ₃ (mg/L) | Data de coleta | Fonte da amostra |
|---------------|---------------|-----------------|----------------|----------|------|-------------|--------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|------------------|---|--|--|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|-----------|------------|-------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------|------------------|
| | | Latitud (OTM) | Longitud (OTM) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 270 | 036014 | 036014 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 2 | 271 | 036015 | 036015 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 3 | 272 | 036016 | 036016 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 4 | 273 | 036017 | 036017 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 5 | 274 | 036018 | 036018 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 6 | 275 | 036019 | 036019 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 7 | 276 | 036020 | 036020 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 8 | 277 | 036021 | 036021 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 9 | 278 | 036022 | 036022 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 10 | 279 | 036023 | 036023 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 11 | 280 | 036024 | 036024 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 12 | 281 | 036025 | 036025 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 13 | 282 | 036026 | 036026 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 14 | 283 | 036027 | 036027 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 15 | 284 | 036028 | 036028 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 16 | 285 | 036029 | 036029 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 17 | 286 | 036030 | 036030 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 18 | 287 | 036031 | 036031 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 19 | 288 | 036032 | 036032 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 20 | 289 | 036033 | 036033 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 21 | 290 | 036034 | 036034 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 22 | 291 | 036035 | 036035 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 23 | 292 | 036036 | 036036 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 24 | 293 | 036037 | 036037 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 25 | 294 | 036038 | 036038 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 26 | 295 | 036039 | 036039 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 27 | 296 | 036040 | 036040 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 28 | 297 | 036041 | 036041 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 29 | 298 | 036042 | 036042 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 30 | 299 | 036043 | 036043 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 31 | 300 | 036044 | 036044 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 32 | 301 | 036045 | 036045 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 33 | 302 | 036046 | 036046 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 34 | 303 | 036047 | 036047 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 35 | 304 | 036048 | 036048 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 36 | 305 | 036049 | 036049 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 37 | 306 | 036050 | 036050 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 38 | 307 | 036051 | 036051 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 39 | 308 | 036052 | 036052 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 40 | 309 | 036053 | 036053 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 41 | 310 | 036054 | 036054 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 42 | 311 | 036055 | 036055 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 43 | 312 | 036056 | 036056 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 44 | 313 | 036057 | 036057 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 45 | 314 | 036058 | 036058 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 46 | 315 | 036059 | 036059 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 47 | 316 | 036060 | 036060 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26 | 1,26 | 0,04 | 246,26 | - | - | - | 2001/1 | Carvalho | |
| 48 | 317 | 036061 | 036061 | Carvalho | 0 | 7,2 | 0,04 | 1,03 | 0,01 | 23,72 | 12,26 | 12,26 | 0,07 | 0,08 | - | - | 121,26 | - | 1,26 | 12,26</ | | | | | | | | | |

APÊNDICE D

Análises Bacteriológicas das Águas Subterrâneas de Fortaleza, Ceará (Período de 2001 a 2008)

APÊNDICE D - Análises Bacteriológicas das Águas Subterrâneas de Fortaleza, Ceará (Período de 2001 a 2008)

| Nº. de ordem | Nº. da amostra | Coordenadas | | NMP/100 mL | NMP/100 mL | Tipo de Bactéria | Data da Coleta | Bairro |
|--------------|----------------|----------------|-----------------|------------|------------|-------------------------|----------------|---------|
| | | Latitude (UTM) | Longitude (UTM) | | | | | |
| P01 | P01 | 9577968 | 552937 | 2.419,20 | 435,2 | <i>Escherichia coli</i> | 12/2001 | Passaré |
| P02 | P02 | 9577674 | 552976 | 2.419,20 | 325,5 | <i>Escherichia coli</i> | 12/2001 | Passaré |
| P03 | P03 | 9577326 | 552137 | 2.419,20 | 21,8 | <i>Escherichia coli</i> | 12/2001 | Passaré |
| P04 | P04 | 9576885 | 552639 | 2.419,20 | 1.986,30 | <i>Escherichia coli</i> | 12/2001 | Barroso |
| P05 | P05 | 9576955 | 553659 | 2.419,20 | 1.553,10 | <i>Escherichia coli</i> | 12/2001 | Barroso |
| P06 | P06 | 9578118 | 552442 | 72,7 | - | <i>Klebsiella Sp</i> | 12/2001 | Passaré |
| P07 | P07 | 9578016 | 552830 | 686,7 | 1 | <i>Escherichia coli</i> | 12/2001 | Passaré |
| P08 | P08 | 9577431 | 551755 | 1.553,10 | 24,8 | <i>Escherichia coli</i> | 12/2001 | Passaré |
| P09 | P01 | 9577968 | 552937 | 1.732,90 | 135,4 | <i>Escherichia coli</i> | 05/2002 | Passaré |
| P10 | P02 | 9577674 | 552976 | 2.419,20 | 13,2 | <i>Escherichia coli</i> | 05/2002 | Passaré |
| P11 | P09 | 9577351 | 552280 | 1.119,85 | 204,6 | <i>Escherichia coli</i> | 05/2002 | Passaré |
| P03 | P03 | 9578016 | 552830 | 435 | 30,5 | <i>Escherichia coli</i> | 05/2002 | Passaré |
| P12 | P04 | 9576885 | 552639 | 2.419,20 | 218,7 | <i>Escherichia coli</i> | 05/2002 | Passaré |
| P13 | P05 | 9576955 | 553659 | 2.419,20 | 1.046,21 | <i>Escherichia coli</i> | 05/2002 | Passaré |
| P14 | P06 | 9578118 | 552442 | 2.419,20 | 119,8 | <i>Escherichia coli</i> | 05/2002 | Passaré |
| P15 | P07 | 9578016 | 552830 | 121 | 2 | <i>Escherichia coli</i> | 05/2002 | Passaré |
| P16 | P08 | 9577431 | 551755 | 410,6 | 8,5 | <i>Escherichia coli</i> | 05/2002 | Passaré |
| P17 | P10 | 9576964 | 551997 | 2.419,20 | 2 | <i>Escherichia coli</i> | 05/2002 | Passaré |
| P18 | P11 | 9577056 | 552160 | 275,5 | 68,7 | <i>Escherichia coli</i> | 05/2002 | Passaré |

Legenda: NMP = Número Mais Provável.

Fonte: Souza (2002).

APÊNDICE D - Análises Bacteriológicas das Águas Subterrâneas de Fortaleza, Ceará (Período de 2001 a 2008)

| Nº. de ordem | Nº. da amostra | Coordenadas | | Coliformes Totais (Col/ml/37°C) | Coliformes Fecais (Col/ml/45°C) | Data da Coleta | Bairro |
|--------------|----------------|-------------------|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|-----------------|
| | | Latitude (UTM) | Longitude (UTM) | | | | |
| 49 | 28 | 544601 | 9582472 | 240x10 ³ | 240x10 ³ | 11/2005 | Granja Portugal |
| 50 | 29 | 544140 | 9582680 | 46x10 ³ | 46x10 ³ | 11/2005 | Granja Portugal |
| 51 | 30 | 544322 | 9581820 | 2,3x10 ³ | 2,3x10 ³ | 11/2005 | Granja Portugal |
| 52 | 31 | 544095 | 9581726 | Ausente | Ausente | 11/2005 | Granja Portugal |
| 53 | 32 | 544354 | 9581332 | 110x10 ³ | 110x10 ³ | 11/2005 | Bom jardim |
| 54 | 33 | 544217 | 9581200 | 9,3x 10 ³ | 9,3x10 ³ | 11/2005 | Bom jardim |
| 55 | 34 | 543361 | 9581254 | 46x10 ³ | 46x10 ³ | 11/2005 | Bom jardim |
| 56 | 35 | 544435 | 9580318 | 2,3x10 ³ | 2,3x10 ³ | 11/2005 | Bom jardim |
| 57 | 36 | 543313 | 9580476 | 240x10 ³ | 240x10 ³ | 11/2005 | Bom jardim |
| 58 | 37 | 544098 | 9579624 | 110x10 ³ | 110x10 ³ | 11/2005 | Bom jardim |
| 88 | 67 | 557963 | 9588250 | > 2419,6 | 1,0 MPN | 11/2007 | Vicente Pizon |
| 89 | 68 | 558011 | 9588173 | > 2419,6 MPN | 12,1 MPN | 11/2007 | Vicente Pizon |
| 90 | 69 | 559497 | 9588563 | 365,4 MPN | < 1,0 MPN | 11/2007 | Vicente Pizon |
| 91 | 70 | 559495 | 9588232 | 110,6 MPN | < 1,0 MPN | 11/2007 | Vicente Pizon |
| 92 | 71 | 559174 | 9588550 | 648,8 MPN | 8,5 MPN | 11/2007 | Vicente Pizon |
| 93 | 72 | 559299 | 9588469 | < 1,0 MPN | < 1,0 MPN | 11/2007 | Vicente Pizon |
| 94 | 73 | 559281 | 9588470 | > 2419,6 MPN | 23,1 MPN | 11/2007 | Vicente Pizon |
| 95 | 74 | 559222 | 9588465 | 1,0 MPN | < 1,0 MPN | 11/2007 | Vicente Pizon |
| 96 | 75 | 559347 | 9588197 | > 2419,6 MPN | 53,8 MPN | 11/2007 | Vicente Pizon |
| 97 | 76 | 559083 | 9588545 | 28,2 MPN | < 1,0 MPN | 11/2007 | Vicente Pizon |
| 98 | 77 | 559641 | 9587394 | > 2419,6 MPN | > 2419,6 MPN | 11/2007 | Vicente Pizon |

Fonte: Lemos & Medeiros (2005) e Carneiro (2009).

APÊNDICE D - Análises Bacteriológicas das Águas Subterrâneas de Fortaleza, Ceará (Período de 2001 a 2008)

| Nº. de ordem | Nº. da amostra | Coordenadas | | Coliformes Totais (Col/ml/37°C) | Coliformes Fecais (Col/ml/45°C) | Data da Coleta | Bairro |
|--------------|----------------|-------------------|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|---------------|
| | | Latitude (UTM) | Longitude (UTM) | | | | |
| 99 | 78 | 558092 | 9588113 | 1986,3 MPN | 3 | 11/2007 | Vicente Pizon |
| 100 | 79 | 559596 | 9588633 | 1986,3 MPN | 1,0 MPN | 11/2007 | Vicente Pizon |
| 101 | 80 | 557941 | 9588359 | > 2419,6 MPN | 8,6 MPN | 11/2007 | Vicente Pizon |
| 134 | 67 | 557963 | 9588250 | 186.0 | 1.0 | 06/2008 | Vicente Pizon |
| 135 | 68 | 558011 | 9588173 | > 2419,6 | 43.5 | 06/2008 | Vicente Pizon |
| 136 | 69 | 559497 | 9588563 | 1413.6 | < 1,0 | 06/2008 | Vicente Pizon |
| 137 | 70 | 559495 | 9588232 | 151.5 | 1.0 | 06/2008 | Vicente Pizon |
| 138 | 71 | 559174 | 9588550 | > 2419,6 | 1732.9 | 06/2008 | Vicente Pizon |
| 139 | 72 | 559299 | 9588469 | > 2419,6 | 67.0 | 06/2008 | Vicente Pizon |
| 140 | 73 | 559281 | 9588470 | 1.0 | < 1,0 | 06/2008 | Vicente Pizon |
| 141 | 74 | 559222 | 9588465 | 1299.7 | 2.0 | 06/2008 | Vicente Pizon |
| 142 | 75 | 559347 | 9588197 | > 2419,6 | > 2419,6 | 06/2008 | Vicente Pizon |
| 143 | 76 | 559083 | 9588545 | 2.0 | < 1,0 | 06/2008 | Vicente Pizon |
| 144 | 77 | 559641 | 9587394 | > 2419,6 | 21.6 | 06/2008 | Vicente Pizon |
| 145 | 78 | 558092 | 9588113 | > 2419,6 | 235.9 | 06/2008 | Vicente Pizon |
| 146 | 79 | 559596 | 9588633 | > 2419,6 | 378.4 | 06/2008 | Vicente Pizon |
| 147 | 80 | 557941 | 9588359 | > 2419,6 | 19.9 | 06/2008 | Vicente Pizon |

Fonte: Lemos & Medeiros (2005) e Carneiro (2009).

APÊNDICE D - Análises Bacteriológicas das Águas Subterrâneas de Fortaleza, Ceará (Período de 2001 a 2008)

| Nº de ordem | Nº da amostra | Coordenadas | | Coliformes Termotolerantes | Data da Coleta | Bairro |
|-------------|---------------|-----------------|----------------|----------------------------|----------------|-----------------|
| | | Longitude (UTM) | Latitude (UTM) | | | |
| 103 | 82 | 547395 | 9589573 | Ausência | 12/2007 | Barra do Ceará |
| 104 | 83 | 547381 | 9589574 | Ausência | 12/2007 | Barra do Ceará |
| 105 | 84 | 546910 | 9590512 | Ausência | 12/2007 | Barra do Ceará |
| 106 | 85 | 546822 | 9590561 | Ausência | 12/2007 | Barra do Ceará |
| 107 | 86 | 546935 | 9590309 | Ausência | 12/2007 | Barra do Ceará |
| 108 | 87 | 547303 | 9589933 | Ausência | 12/2007 | Barra do Ceará |
| 109 | 88 | 548514 | 9590119 | Ausência | 12/2007 | Cristo Redentor |
| 110 | 89 | 548504 | 9590095 | Ausência | 12/2007 | Cristo Redentor |
| 111 | 90 | 548260 | 9590184 | Presença | 02/2008 | Cristo Redentor |
| 112 | 91 | 548159 | 9590507 | Ausência | 02/2008 | Cristo Redentor |
| 113 | 92 | 549626 | 9590033 | Presença | 02/2008 | Pirambu |
| 114 | 93 | 550033 | 9589636 | Presença | 02/2008 | Pirambu |
| 115 | 94 | 550020 | 9589683 | Ausência | 02/2008 | Pirambu |
| 116 | 95 | 550080 | 9589718 | Ausência | 02/2008 | Pirambu |
| 117 | 96 | 549615 | 9590012 | Presença | 02/2008 | Pirambu |
| 118 | 97 | 550104 | 9589625 | Presença | 02/2008 | Pirambu |
| 74 | 53 | 556633 | 9577629 | Presença | 11/2005 | Messejana |
| 75 | 54 | 557219 | 9576427 | Presença | 11/2005 | Messejana |
| 76 | 55 | 556570 | 9575922 | Presença | 11/2005 | Messejana |
| 77 | 56 | 556844 | 9576907 | Presença | 11/2005 | Messejana |
| 78 | 57 | 555896 | 9578405 | Ausência | 11/2005 | Messejana |
| 79 | 58 | 556746 | 9576426 | Presença | 11/2005 | Messejana |
| 80 | 59 | 556452 | 9577277 | Ausência | 11/2005 | Messejana |
| 81 | 60 | 557267 | 9576862 | Ausência | 11/2005 | Messejana |
| 82 | 61 | 555994 | 9577393 | Presença | 11/2005 | Messejana |
| 83 | 62 | 557514 | 9577561 | Ausência | 11/2005 | Messejana |
| 84 | 63 | 557518 | 9577394 | Ausência | 11/2005 | Messejana |
| 85 | 64 | 555606 | 9576249 | Ausência | 11/2005 | Messejana |
| 86 | 65 | 556320 | 9576138 | Ausência | 11/2005 | Messejana |
| 87 | 66 | 555346 | 9577385 | Ausência | 11/2005 | Messejana |