



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
HIDROGEOLOGIA E GESTÃO HIDROAMBIENTAL

JOSÉ GONZAGA DA SILVA

AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA PORÇÃO CENTRAL DA REGIÃO COSTEIRA
DE AQUIRAZ, CEARÁ

FORTALEZA
2014

JOSÉ GONZAGA DA SILVA

AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA PORÇÃO CENTRAL DA REGIÃO COSTEIRA DE
AQUIRAZ, CEARÁ

Apresentação de Tese submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Geologia.

Área de concentração: Hidrogeologia e Gestão Hidroambiental.

Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante.

Co-Orientadora: Prof^a. Dra. Sônia Maria Silva Vasconcelos.

Fortaleza
2014

JOSÉ GONZAGA DA SILVA

AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA PORÇÃO CENTRAL DA REGIÃO COSTEIRA DE
AQUIRAZ, CEARÁ

Tese apresentada objetivando ao Doutorado em Geologia do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Geologia.

Área de concentração: Hidrogeologia e Gestão Hidroambiental.

Aprovado em: 05/ 09 / 2014

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Diolande Ferreira Gomes Freire
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Milton Antônio da Silva Matta
Universidade Federal do Pará (UFPA)

Prof. Dr. Almany Costa Santos
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Dra. Maria da Conceição Rabelo Gomes
GAIA Ltda

Dedico esta Tese a Deus, pela sua infinita sabedoria e poder.
À minha esposa Nilvandihê e aos nossos filhos Raquelzinha e
Filipe, pelo amor, carinho e motivação.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, agradeço a Deus pela direção e condições plenas de realização desta Tese.

Ao orientador e grande amigo, Professor Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante do Departamento de Geologia/UFC, pela orientação, incentivo e apoio nas fases mais complexas do desenvolvimento deste trabalho.

À Professora Dra. Sonia Maria Silva Vasconcelos do Departamento de Geologia/UFC, pela atenção e co-orientação deste estudo.

Ao Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará (UFC), que através da sua Direção, permitiu-me, como servidor, a realização de todas as fases deste curso de doutorado (meu muito obrigado).

À Professora Dra. Regine Helena Vieira, responsável pelo Laboratório de Microbiologia Ambiental (LABOMAR/UFC), que teve importante colaboração na total realização das análises microbiológicas das amostras de água coletadas para a pesquisa.

Ao Professor Dr. Antônio Adauto Fonteles, pela grande contribuição na tradução do Resumo e de obras diversas relacionadas ao desenvolvimento desta tese.

À minha família, Nilvandihê, Raquelzinha e Filipe, que sempre manifestaram carinho, amor e compreensão no decorrer das atividades desse trabalho.

À doutoranda Lana Oliveira Leite, do Laboratório de Microbiologia Ambiental do LABOMAR, pela atuação efetiva na execução das análises microbiológicas.

À Hidrogeóloga Dra. Maria da Conceição Rabelo Gomes, pela incansável contribuição nos trabalhos de campo, além da ajuda significativa na elaboração de gráficos que ilustram este estudo.

Aos estudantes de graduação do Labomar, Alcebíades Gomes, Ronaldo Furtado e Felipe Silveira, que sob orientação da Prof^a. Dra. Lidriane Pinheiro prestaram importante ajuda nos trabalhos de campo.

À Prof.^a Dra. Loreci Gislaine de Oliveira Lehueur (*in memoriam*), que num gesto de iniciativa me incentivou bastante a enfrentar a luta pelo doutorado.

À grande amiga da hidrogeologia, a geóloga Virginia Pereira de Sousa, pela presença constante na realização das coletas e atividades de campo.

Às Mestras Karen Vendramini e Pâmela Moura, bem como aos mestrandos Rafael Mota e Mariane Pinto, todos, pela grande contribuição que prestaram na realização desse estudo.

Ao Francisco Eudes (Francisco) do setor de limpeza do LABOMAR, pelas oportunas contribuições na preparação dos recipientes de coletas.

Aos Laboratórios de Oceanografia Geológica e Microbiologia Ambiental do Labomar, pelo fornecimento de recipientes utilizados em todas as coletas referentes às análises físico-químicas e bacteriológicas, respectivamente.

Aos colegas de trabalho do Laboratório de Oceanografia Geológica do Labomar, pelo apoio e solidariedade, nas pessoas de Paulo Roberto, Maria Cidrônea, Gladson Francisco e, especificamente, a Mônica Castelo Branco, pelo encorajamento constante e ajuda na organização do texto desta Tese.

Ao Laboratório de Hidrogeologia do Departamento de geologia/UFC, que sob a coordenação do Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante, contribuiu com instrumentos de medição no monitoramento de parâmetros físico-químicos.

Ao Laboratório de Geoquímica Ambiental do Departamento de Geologia/CC/UFC, na pessoa da Dra. Diolande Ferreira Gomes Freire, que colaborou com parte da realização das análises físico-químicas (primeira etapa).

Ao Professor e amigo José de Araújo Nogueira Neto (Zeca) (de quem recebi incentivos desde o mestrado), que como coordenador da Pós-Graduação, viabilizou a segunda etapa das análises físico-químicas junto ao NUTEC.

Ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM), que através do seu setor de geoprocessamento, prestou grande ajuda na elaboração de mapas diversos, nas pessoas do geólogo Edson Gomes, dos geógrafos Guilherme Marques e Celso Melo, além de dados sobre poços tubulares fornecidos pelo SIAGAS, através do geólogo José Alberto Ribeiro (*in memórian*).

Ao engenheiro Thomaz Cidrim, representante da Prefeitura de Aquiraz, que contribuiu com importantes informações hidroambientais necessárias ao desenvolvimento do estudo.

Ao geólogo e amigo Francisco Said Gonçalves, da SOHIDRA, pelo fornecimento de dados de poços.

À CAGECE, pela disponibilização de informações sobre o abastecimento da área e dados qualitativos sobre as águas da lagoa do Catu.

Finalmente, a todos que contribuíram direta ou indiretamente com a realização desta Tese, muito obrigado.

“A água é a substância fundamental para
a ocorrência e manutenção da vida.”

(Émerson Cruz)

RESUMO

A área desse trabalho, que possui 57,7 km², está localizada na região costeira do município de Aquiraz-Ce, situada no setor nordeste da RMF, distando aproximadamente 30 km da capital Fortaleza, envolve basicamente a sede municipal, os setores da Prainha e o Distrito da Tapera. Os objetivos destacam o papel das águas subterrâneas no contexto do abastecimento da área, bem como definem seu aproveitamento em relação as águas superficiais da lagoa do Catu. Para este fim, foram necessário procedimentos metodológicos que consideram os aspectos hidrogeológicos associados a amostragem dessas águas em pontos específicos dos sistemas aquíferos e da lagoa para se obter dados informativos que definissem os parâmetros hidroquímicos e bacteriológicos, caracterizados em tabelas, gráficos e diagramas, os quais mostram a situação qualitativa das águas desses sistemas. O conjunto geral dos pontos cadastrados envolve 177 poços tubulares e escavados de onde foram definidos os poços relacionados às coletas de amostras de águas para análises referentes aos Aquíferos Dunas e Barreiras em períodos seco e pós-chuva, sendo esta sistemática adotada também em pontos representativos da lagoa. A produtividade dos poços pesquisados está normalmente relacionada às características hidrogeológicas desses sistemas aquíferos, onde as médias de vazão correspondem a 3,5m³/h e 2,7m³/h, para o Dunas e o Barreiras, respectivamente, evidenciando que as condições areno-quartzosa do primeiro contribuem para um melhor potencial hidrogeológico, fato que pode influir também nas reservas hídricas subterrâneas. Dentre os resultados encontrados, tem-se que as águas subterrâneas são ionicamente classificadas como Cloretadas Sódicas, sendo que os dados de pH revelaram que essas águas são predominantemente ácidas, mostrando alguns pontos com valores alcalinos no período chuvoso. As águas subterrâneas possuem qualidades físico-químicas e bacteriológicas para o abastecimento humano em 90% dos poços investigados. As águas da lagoa têm um papel primordial no suprimento hídrico da área, desde que sejam submetidas a um tratamento convencional pelo órgão técnico competente, além da possibilidade de sua inserção num plano de gestão integrada de recursos hídricos da área de interesse. Na consideração geral dos dados analisados, os resultados dos parâmetros encontrados definem a condição de aproveitamento das águas subterrâneas e superficiais e sua relação entre qualidade e uso nessa parte do município de Aquiraz.

Palavras-chave: Águas subterrâneas, qualidade, poços, uso, Aquiraz

ABSTRACT

The study area of interest has 57.7 sq. km and it is located on the coastal region of Aquiraz county, Ceará State, in the northeastern sector of Fortaleza's Metropolitan Zone (RMF), roughly 30 km away from the capital city itself. It encompasses basically the county's main town and the Prainha and Tapera districts. This work's objectives highlight the role of underground waters under the context of that area's supply, as well as define its exploitation as regards surface waters of the Catu Lake. For this end to be attained, working procedures were needed that consider the hydrogeological aspects associated with water sampling in specific sites of the aquifer systems and the lake's. That was meant to get intelligence data which would define the hydrochemical and bacteriological parameters displayed in tables, graphs and diagrams, whereby the qualitative status of those systems's waters might be established. The overall set of registered points involve 177 tubular and scooped wells wherefrom there were selected the suitable ones for water sampling and analyses referred to the Dunas and Barreiras Aquifers in the dry and post-rainy seasons, with this procedure being the one also adopted in representative points of the lake. The yields in those wells are usually related to the hydrogeological features of the aquifer systems, for which average values of $3.5 \text{ m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ and $2.7 \text{ m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ were estimated in the Dunas and Barreiras Aquifers respectively. It is thus evident that the sandy-quartz conditions of the former account for a better hydrogeological potency, a fact that could bear upon the underground water reserves. Among the arrived at results, it was found out that underground waters were ionically classified as Chloride Sodic, whereas the pH values show them to be predominantly acid except for a few points with alkaline values during the rainy season. The underground waters possess physico-chemical and bacteriological qualities for human supply in 90 per cent of the investigated wells. The lake can play an outstanding role as a water supplier of the study area, as long as it is submitted to routine attendance by an appointed office in addition to its inclusion on a comprehensive management program. As a general consideration of the analyzed data, the results for the estimated parameters are shown to define a sound use of the underground and surface waters, and a relationship between their quality and usage in some districts of Aquiraz county.

Palavras-chave: Underground waters, quality, wells, usage, Aquiraz county.

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1 -	Localização da área.....	17
Figura 2 -	Médias mensais de precipitação para Fortaleza (período:1966-2013)	35
Figura 3 -	Médias mensais de temperatura consideradas para área de estudo (período 1966-2013).....	36
Figura 4 -	Distribuição da evaporação média durante o ano para área de estudo e zona costeira (Período 1966-2013).....	37
Figura 5 -	Distribuição das médias mensais de insolação na região durante o ano para Fortaleza e zona costeira (Período 1966 -2013)	37
Figura 6 -	Gráfico do Balanço Hídrico, mostrando a variação dos principais parâmetros referentes ao período (1966-2013)	42
Figura 7 -	Aspectos hidrográficos da área, notando-se em destaque, a lagoa do Catu.....	45
Figura 8 -	Mapa geomorfológico da área	51
Figura 9 -	Configuração geológica da área de estudo	59
Figura 10 -	Aspectos da distribuição das ligações ativas de água feitas pela CAGECE nas localidades atendidas	62
Figura 11 -	Perfis lito-construtivo dos poços tubulares 063 e 178 do Sistema Aquífero Barreiras na região da Tapera, observando-se a presença do embasamento cristalino no poço da direita	70
Figura 12 -	Perfil lito-construtivo de um poço tubular do Sistema Aquífero Barreiras, situado próximo a lagoa do Catu, mostrando a variação da composição sedimentar do aquífero	72
Figura 13 -	Perfis lito-construtivo dos poços 59 e 66, localizados no Sistema Aquífero Dunas da Prainha, mostrando através dos filtros, a captação d'água do sistema aquífero Barreiras	78
Figura 14 -	Parâmetros hidrogeológicos existentes no cadastro de poços da área de estudo	83
Figura 15 -	Distribuição temporal dos poços existentes na região pesquisada	86
Figura 16 -	Finalidades aplicadas no contexto dos poços visitados na área	87
Figura 17 -	Variação da profundidade dos poços da área.....	88
Figura 18 -	Caracterização gráfica das vazões nos poços cadastrados.....	89
Figura 19 -	Situação estatística do nível estático dos poços na área.....	90
Figura 20 -	Comportamento do pH das análises entre os períodos seco e pós-chuva a partir dos dados das 26 amostras coletadas	100
Figura 21 -	Variação dos dados da condutividade elétrica entre os períodos seco e pós-chuva nos pontos amostrados na área.....	101
Figura 22 -	Comportamento da dureza nas águas subterrânea da área entre os períodos seco e pós-chuva.....	104
Figura 23 -	Concentração de cloreto nas águas subterrâneas da área de estudo.....	106
Figura 24 -	Diagrama de Piper mostrando a classificação iônica referente ao período seco (nov/2011).....	109
Figura 25 -	Diagrama de Piper que mostra a classificação iônica referente ao	

	período pós-chuva (jun/2012).....	110
Figura 26 -	Localização dos Poços de Monitoramento.....	112
Figura 27 -	Aspecto dos dados médios de monitoramento dos parâmetros CE e STD referente a etapa inicial (nov/2011).....	115
Figura 28 -	Comportamento gráfico dos valores mínimos de (CE) e STD com base nas tabelas do apêndice C, observando-se os baixos valores desses parâmetros nos dois primeiros períodos de monitoramento.....	117
Figura 29 -	Aspectos dos valores máximos monitorados envolvendo os parâmetros STD e CE durante os 4 períodos de medição.....	118
Figura 30 -	Comportamento do pH nas 3 etapas de monitoramento (nov/2011; jan e mar/2012)	119
Figura 31 -	Diagrama de classificação das águas subterrâneas para irrigação, conforme o <i>U.S. Salinity Laboratory</i> , referente ao período seco (nov/2011)	128
Figura 32 -	Diagrama de classificação das águas subterrâneas para irrigação, conforme o <i>U.S. Salinity Laboratory</i> , referente ao período pós-chuva (jun/2012).....	129
Figura 33 -	Comparação dos dados de pH da lagoa do Catu entre os períodos seco e pós-chuva referentes aos 4 pontos amostrados.....	134
Figura 34 -	Representação gráfica dos documentos básicos que regem o uso e qualidade da água.....	137
Figura 35 -	Ilustração hipotética da influência do sistema aquífero dunas em relação a água superficial da lagoa do Catu.....	146

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Variação do crescimento linear dos totais da população e dos domicílios entre os censos de 2000 e 2010 comparando o município e as localidades da área de estudo.....	30
Tabela 2 - Cálculo do Balanço Hídrico para Fortaleza e Aquiraz, segundo o método de Thornthwaite (1948), referente ao período 1966-2013 a partir das médias mensais de temperatura e precipitação.....	41
Tabela 3 - Síntese geológica regional da área de estudo.....	54
Tabela 4 - Comparação de consumo pela população da área de estudo, entre 2000 e 2010 (adaptado de dados da CAGECE (2011) e IBGE – 2010).....	63
Tabela 5 - Variação de dados sobre profundidade e nível estático no Sistema Aquífero Barreiras na área.....	73
Tabela 6 - Dados de vazão e rebaixamento do Sistema Aquífero Barreiras no espaço da área de pesquisa	74
Tabela 7 - Variação dos valores dos parâmetros hidrogeológicos dos poços captados no Aquífero Dunas.....	79
Tabela 8 - Parâmetros hidráulicos médios dos Aquíferos Dunas e Barreiras na RMF considerados para a área de estudo	81
Tabela 9 - Valores estatísticos dos principais parâmetros hidroquímicos analisados referentes ao período de estiagem (nov/dez/2011).....	98
Tabela 10 - Valores estatísticos dos principais parâmetros hidroquímicos analisados referentes ao período pós-chuvoso (jun/2012)	98
Tabela 11- Classificação mais usual para a dureza definida por Custódio e Llamas (1983)..	103
Tabela 12- Dados estatísticos das medições bimestrais dos parâmetros de monitoramento dos poços pesquisados na área, referentes ao primeiro período (Nov/2011).....	114
Tabela 13 - Amostras de águas subterrâneas com variações bacteriológicas em mudança climática.....	122
Tabela 14 - Relação entre o SAR e a Condutividade Elétrica (CE) das águas subterrâneas da área envolvendo os períodos secos e pós-chuva.....	127
Tabela 15 - Padrões de qualidade da água utilizada para industria.....	131
Tabela 16 - Valores dos parâmetros físico-químicos básicos referentes as análises da lagoa do Catu em períodos seco e pós-chuva.	133
Tabela 17 - Resultados das análises bacteriológicas da lagoa do Catu referentes ao período seco e pós-chuva.....	136

LISTA DE FOTOS

	Página
Foto 1 - Aspecto da usina de castanha USIBRAS, que usa água subterrânea e superficial da lagoa do Catu, localizada em Aquiraz-Ce, à margem da CE-040.....	32
Foto 2 - Visão da lagoa do Catu, mostrando o contato da parte mais larga (no setor jusante) da lagoa com o Sistema Dunas (ao fundo) de onde recebe recarga	46
Foto 3 - Aspectos da vegetação da zona de tabuleiro, próximo ao litoral, mostrando o efeito da ação antrópica, pela presença de trechos desmatados	48
Foto 4- Relevo típico de campos de dunas nas adjacências da localidade da Prainha-Aquiraz.....	53
Foto 5 - (A) Filtros da ETA (Estação de Tratamento e Distribuição de Água) da CAGECE na sede Aquiraz; (B) Reservatório de água tratada para distribuição.....	63
Foto 6 - Poço tubular de 50 metros de profundidade que alimenta o chafariz público Municipal da localidade da Prainha na rua Alto Alegre.	65
Foto 7 - Aspecto de um poço escavado na localidade de Riviera, próximo a lagoa do Catu	66
Foto 8 - Aspecto do Sistema Aquífero Dunas em contato com a lagoa do Catu (próximo a Barraca Brisa do Catu, setor nordeste da área).....	75
Foto 9 - Poço tubular revestido com PVC branco, pertencente ao chafariz da localidade de Canoa (nº 41 no cadastro geral)	84
Foto 10 - Poço n º164 escavado, com profundidade de 10m, existente em uma escola pública, revestido com anel de cimento	84
Foto 11 - Poço escavado tipo amazonas pertencente a indústria USIBRAS, situada à margem da CE-40, próximo a Aquiraz, mostrando o nível da água no Aquífero Barreiras no período pós-chuva.....	85
Foto 12 - Medição dos parâmetros (pH, STD, condutividade elétrica, resistividade e salinidade) no período de monitoramento no chafariz do Pau de-Pombo(jan/2012).....	120
Foto 13 - Piscina do Itacaranha Parck, na localidade da Prainha (faixa costeira), totalmente abastecida por água subterrânea (maio/2012).....	124
Fotos 14 e 15 - Poços 159 (Prainha) e 40 (Tapera), onde se observa a falta de proteção sanitária superficial.....	140
Fotos 16 e 17 - Aspectos do interior das casas de bomba dos poços tubulares 79 (Sítio Ladinha) e 18 (Rest. Átila). Observa-se no detalhe, o acumulo de sujeira e resíduos diversos presentes nos dois ambientes.....	141
Fotos 18 e 19 - Aspecto da oscilação da maré no estuário do rio Catu, que pode contribuir para salinização do sistema aquífero dunas, ou constituir uma fonte potencial de poluição.....	142

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETA	Estação de tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
GPS	Global Positioning System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
MS	Ministério da Saúde
NE	Nível Estático
ND	Nível Dinâmico
NBR	Normas Brasileiras
NMP	Número Mais Provável
NUTEC	Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará
PVC	Polietileno Vinil Carbono
PA	Poço Amazonas
PE	Poço Escavado
PT	Poço Tubular
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
SAR	Razão de Adsorção de Sódio
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SOHIDRA	Superintendência de Obras Hidráulicas
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
UTM	Universal Transversal de Mercator
VMP	Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Relevância e justificativa do tema	14
1.2 Objetivos	16
1.3 Localização e acesso.....	16
2 O ESTADO DA ARTE	18
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	20
3.1 Pesquisa bibliográfica	20
3.2 Levantamento dos dados hídricos e cadastro de poços.....	21
3.3 Elaboração de mapas temáticos.....	22
3.4 Trabalhos de campo	23
3.5 Trabalhos de laboratório.....	25
3.6 Tratamento e integração dos dados.....	25
3.7 Aspectos de cálculos das reservas hídricas subterrâneas	27
4 CONSIDERAÇÕES SÓCIO ECONÔMICAS	29
5 ASPECTOS GEOAMBIENTAIS	33
5.1 Considerações climáticas	33
5.2 Balanço hídrico	37
5.3 Aspectos hidrográficos	43
5.4 Cobertura vegetal	46
5.5 Solos	49
5.6 Aspectos geomorfológicos.....	49
5.7 Aspectos geológicos.....	53
5.7.1 Enfoque regional.....	53
5.7.1.1 Embasamento Proterozóico Inferior.....	54
5.7.1.2 Rochas Cenozóicas Terciárias	55
5.7.1.3 Rochas Cenozóicas Quaternárias.....	55
5.7.1.4 Aspectos estruturais	56
5.7.2 Geologia local	57

6. CONDIÇÕES DE ABASTECIMENTO HÍDRICO.....	61
6.1 Água superficial.....	61
6.2 Água subterrânea.....	64
7 HIDROGEOLOGIA.....	66
7.1 Sistemas Aquíferos	67
7.1.1 Sistema Barreiras	68
7.1.2 Sistema Dunas	74
7.1.3 Sistema Aluvionar	79
7.2 Considerações hidrodinâmicas sobre os principais sistemas aquíferos	80
7.3 Aspectos das obras de captação atual das águas subterrâneas.....	82
8 RESULTADOS E DISCUSSÕES	90
8.1 Reservas, potencialidades e disponibilidades hídricas subterrâneas	91
8.1.1 Reservas hídricas subterrâneas.....	91
8.1.1.1 Reservas renováveis (reguladoras).....	91
8.1.1.2 Reservas permanentes.....	92
8.1.1.3 Reservas totais.....	93
8.1.1.4 Recursos esplotáveis.....	93
8.1.1.4.1 Potencialidades e disponibilidades	94
8.1.1.4.2 Disponibilidade potencial (Dp).....	94
8.1.1.4.3 Disponibilidade efetiva (De).....	95
8.2 Qualidade das águas subterrâneas.....	96
8.2.1 Aspectos hidroquímicos	97
8.2.1.1 Classificação iônica	108
8.2.2 Monitoramento das águas subterrâneas	110
8.2.3 Análises bacteriológicas	120
8.2.4 Uso das águas subterrâneas.....	123
8.2.4.1 Consumo humano.....	124
8.2.4.2 Irrigação.....	125
8.2.4.3 Indústria.....	129
8.3 Aspectos qualitativos das águas superficiais da lagoa do Catu	131

8.3.1 Características hidroquímicas e bacteriológicas.....	132
8.4 Potenciais fontes de poluição das águas subterrâneas.....	137
8.4.1. Esgotamento sanitário e fossas sépticas	138
8.4.2 Poços mal construídos e sem proteção	139
8.4.3 Intrusão salina	141
8.4.4 Postos de serviços (combustíveis e lavatórios).....	143
8.5 Relação entre águas subterrâneas e superficiais na área.....	144
9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	149
REFERÊNCIAS	154
APÊNDICES	

1. INTRODUÇÃO

A necessidade pelo uso e aproveitamento dos recursos hídricos requer considerações que envolvam os elementos naturais relacionados às características climáticas e ambientais, associados à participação do homem. Nesse cenário insere-se a composição das águas superficiais e subterrâneas utilizadas pela humanidade em várias condições e situações, resultando no atendimento geral de abastecimento e suprimento de água para as áreas de interesse.

A Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), Ceará, como todas as áreas urbanas brasileiras, apresenta um complexo quadro de abastecimento em relação ao uso integrado dos recursos hídricos que são utilizados de acordo com as características hídricas de cada localidade. Destaca-se, entretanto, que nas considerações locais existem os aspectos hídricos e ambientais relacionados às diretrizes políticas e sociais voltadas para os interesses das populações num sentido específico. Sendo assim, muitas ações de recursos hídricos aplicadas na RMF podem ser extensivas a vários municípios que possuem um quadro natural semelhante em que seja caracterizado o uso diferencial entre as águas subterrânea e superficial.

Segundo Cavalcante (1998), entre 40 a 60% da população da RMF se abastecia com água subterrânea, reconhecendo também que os sistemas aquíferos possuem uma função estratégica nos períodos de longa estiagem ao ponto de atenderem as demandas sazonais, através das captações de água subterrânea por particulares ou pelo governo. Esse fato mostra a importância do uso das águas subterrâneas no contexto integrado dos recursos hídricos, quando de uma forma geral vem a funcionar como fonte complementar e/ou principal, dependendo da localidade do município que possua instalação de rede de abastecimento público. Desta forma, a alternativa do uso da água subterrânea se caracteriza como um elemento importante em termos de suprimento em várias formas de aproveitamento da água na região costeira do município de Aquiraz, área da pesquisa.

No caso específico desse trabalho, a área estudada faz parte da RMF e está dentro do domínio da faixa costeira, incluindo a Sede Municipal, a região da Prainha e o Distrito da Tapera. Essa região apresenta os recursos hídricos representados pelas águas superficiais da lagoa do Catu e águas subterrâneas captadas por poços. Esses setores estão sobrepostos às rochas da Formação Barreiras e aos depósitos sedimentares Dunas e Aluvião, que caracterizam os sistemas aquíferos envolventes.

A captação e distribuição de água superficial para essas localidades é processada pela CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará), que possui a sede municipal como maior detentora de ligações comparativamente aos setores mais afastados com presença de sítios e fazendas onde há um maior uso das águas subterrâneas de Aquiraz. Sob essa abordagem, destaca-se o uso das águas subterrâneas como um dos objetivos que compõem a pesquisa.

1.1 Relevância e justificativa do tema

O posicionamento geográfico da lagoa do Catu está relacionado a um trecho do baixo curso do riacho do mesmo nome, que é responsável pelo fornecimento temporário de parte da água da lagoa, pois conforme as evidências de campo em trabalhos anteriores o volume d'água que se mantém nesse corpo hídrico está associado à origem pluviométrica temporária e a influência hidrogeológica do Sistema Aquífero Dunas. Pesquisas nesse sentido realizadas por Cavalcante (1998) e Silva (2000), de forma estimativa, vêm confirmar o papel importante do referido aquífero na alimentação e manutenção da água existente na lagoa, mesmo em época de intensa estiagem.

A diversidade de utilização dos recursos hídricos na maior parte da área de pesquisa constitui um dos principais motivos de investigação sobre a importância dos reservatórios superficiais e subterrâneos. Procura-se, nesse sentido, mostrar o papel da água subterrânea como recurso na demanda complementar do abastecimento, principalmente em zonas onde ocorrem maior incidência de poços. Essa situação contribuirá para o entendimento de que a água subterrânea deve ser reconhecida como um recurso hídrico necessário na opção do abastecimento municipal, fato essencial na justificativa dessa pesquisa, que deve considerar os aspectos potenciais dos aquíferos e as reservas subterrâneas da área.

A abordagem acima leva à compreensão de que as águas subterrâneas possuem um papel relevante no cenário dos recursos hídricos em vários aspectos de seu uso, seja em relação ao consumo humano, na irrigação ou na indústria, devendo ser considerada como elemento fundamental no desenvolvimento de uma região. O município de Aquiraz, por se tratar de uma área costeira, apresenta clima favorável a precipitação pluviométrica, além da constituição sedimentar, propiciando a existência de importantes condições hidrogeológicas, principalmente nos domínios dos depósitos dunares com boa capacidade de porosidade e armazenamento de água.

No contexto dos recursos hídricos procura-se demonstrar nesse trabalho que as águas subterrâneas, mesmo circulando de forma invisível pelo subsolo representa um elemento essencial no abastecimento ou até capaz de influir nas decisões políticas em situações adversas. Rebouças (2008) afirma que *“decorrente do fato das águas subterrâneas serem mais baratas e não possuem obras tão fotogênicas quanto as barragens e estações de tratamentos das águas superficiais, o recurso hídrico subterrâneo tem sido frequentemente omitido nos planos de gerenciamento de recursos hídricos de uma área, fato esse que deve ser considerado tecnicamente contraproducente no campo dos recursos hídricos.”*

A situação descrita procura colocar esta pesquisa como um elemento de conhecimento adicional no sentido de desenvolver informações que mostrem a importância do uso da água subterrânea na dinâmica dos recursos hídricos e nas suas formas de aproveitamento. Iniciativas nesse sentido precisam ser incorporadas na política brasileira de recursos hídricos pois, segundo Fernandes (2005), torna-se necessário o direcionamento de esforços que rompam preconceitos e quebrem o ciclo vicioso de falta de ciência dirigida sobre a questão do gerenciamento integrado das águas subterrâneas.

Justifica-se, o interesse de realização desse estudo na região de Aquiraz, onde a lagoa do Catu representa o corpo hídrico superficial, através do qual a CAGECE bombeia e distribui água tratada para as principais localidades da área (Sede Municipal, Prainha e Distrito da Tapera). Nesse cenário, a água subterrânea funciona com um papel duplo, de abastecimento para a população, através dos inúmeros poços, e como elemento de recarga para a lagoa do Catu em período de intensa estiagem. Essa situação vem caracterizar a função estratégica da água subterrânea como um recurso complementar no abastecimento de água e apresentando-se também como um bem mineral essencial nas potencialidades hídricas da região em benefício da população sob várias formas de uso.

Dentro dessa visão, justifica-se, ainda, a necessidade de realização de estudos que demonstrem a importância do uso da água subterrânea no contexto dos recursos hídricos de uma área onde existem as duas formas de abastecimento, através das águas subterrâneas e superficiais.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos representam os enfoques que se quer aplicar na pesquisa, sendo eles:

➤ Geral:

Definir no contexto dos recursos hídricos a relevância das águas subterrâneas como suporte complementar ao abastecimento da área, considerando os aspectos potenciais e suas características qualitativas, além dos valores estimativos das reservas destas águas, tendo em vista o aumento da demanda e o aproveitamento pelas comunidades.

➤ Específicos:

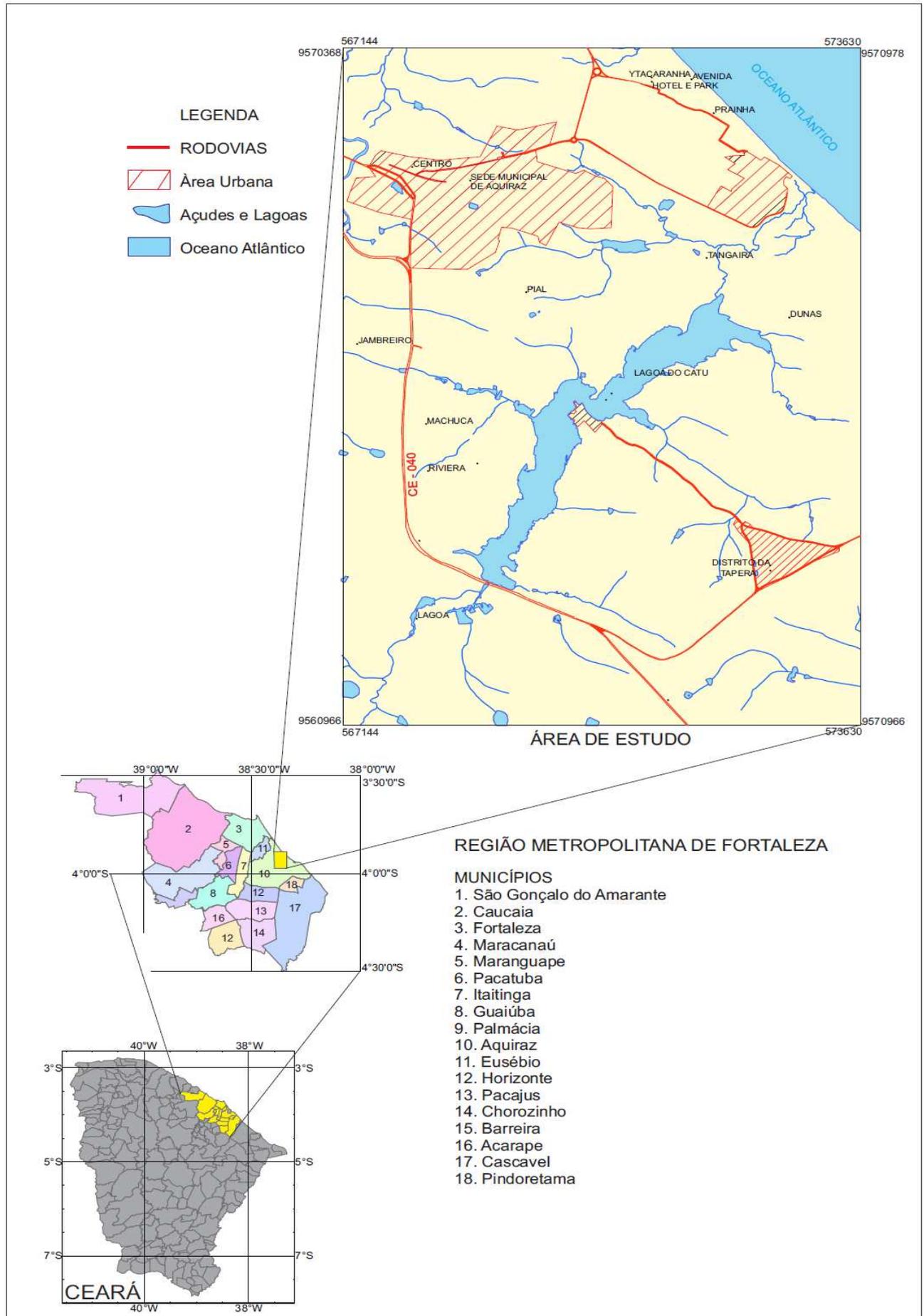
1. Analisar os parâmetros hidrodinâmicos dos principais sistemas aquíferos e os dados gerais dos poços como instrumentos essenciais às potencialidades das águas subterrâneas e como opção fundamental de uso atual da água no abastecimento;
2. Destacar a importância das águas subterrâneas em relação aos aspectos físico-químicos e bacteriológicos, procurando mostrar as características composicionais associadas às condições de aproveitamento hídricos da área;
3. A partir das características ambientais da área, considerar os dados qualitativos das análises para se estabelecer as diferenças entre as características da água superficial da lagoa do Catu e da água dos sistemas aquíferos adjacentes;
4. Caracterizar a necessidade de aproveitamento das águas subterrâneas em relação aos recursos hídricos, destacando a importância dessas águas no contexto do abastecimento das localidades envolvidas, visando atender o crescimento do consumo em função do desenvolvimento do lugar.

1.3 Localização e acesso

A área de estudo está inserida na região costeira do município de Aquiraz-CE, situada no setor nordeste da RMF, envolvendo basicamente a sede municipal, Prainha e o Distrito da Tapera, delimitada pelas coordenadas UTM de (957038 – 567140 a 9570380 – 573600 Sul) e (9560955–567140 a 9560955 – 573600 Oeste) (Figura 1), distando aproximadamente 30 km de Fortaleza-CE.

O acesso a área é realizado através das rodovias CE-040 e CE-025 que constituem as principais ligações entre a capital e a área de estudo.

Figura 1 – Localização da área



A área possui 57,7 km² e corresponde a parte da faixa costeira central da região norte de Aquiraz, atingindo no interior, os limites de influência continental que ocorre ainda sobre os terrenos da Formação Barreiras.

2 O ESTADO DA ARTE

A área de pesquisa se encontra interligada por boas rodovias que facilitam o transporte entre os municípios adjacentes, contribuindo para a dinâmica turística e o desenvolvimento geral dessa zona do município. Trata-se de uma área fisicamente constituída pela sede municipal, o Distrito da Tapera e Prainha. Dentre estes, a sede municipal é a que se apresenta com maior destaque, haja vista a infra-estrutura e as condições urbanas e populacional de maior concentração. Demograficamente é representada por uma população com 34.212 habitantes (IBGE, 2010), sendo que 34% desse valor se concentram na sede municipal.

De acordo com o IPECE (2011), o clima da área é típico de região costeira, mostrando uma situação térmica agradável com período chuvoso de janeiro a maio associada a precipitações pluviométricas entre 1.200 e 1.380 mm anuais, com média mensal em torno de 126 mm.

Na região é muito comum a existência de sítios, chácaras, condomínios de lazer, vilas e distritos bastante povoados, a exemplo das localidades da Prainha e parte da Tapera. A sede municipal de Aquiraz representa o principal referencial urbano e administrativo para efeito da utilização e distribuição desses recursos hídricos. Nesse mesmo contexto, os índices de precipitação pluviométrica, associados às características hidrogeológicas, vêm contribuir para que os principais aquíferos possuam boas condições de recarga, particularmente nos terrenos do Sistema Aquífero Dunas.

As condições presentes dos recursos hídricos da área, de uma forma geral, estão relacionadas as águas superficiais e subterrâneas e possuem um papel fundamental no contexto do abastecimento, sendo que as últimas constituem uma opção de uso existente em todos os setores urbanos e rurais da área. Tal fato se justifica pelas constantes presença de poços na maior parte das ocupações urbanas, onde a água subterrânea é extraída de poços particulares e públicos, mesmo já existindo instalação de água da rede oficial de abastecimento .

Cabe destacar, entretanto, que a água superficial constitui, no presente a principal forma de abastecimento, sobretudo na sede municipal, onde ocorre uma maior demanda. No

contexto dos recursos hídricos superficiais, dados fornecidos pela CAGECE (2011) mostram a rede de abastecimento para as três principais localidades da área, com a distribuição das ligações ativas de água das referidas localizações, que se processa de acordo com a seguinte ordem: 3.237 para a sede de Aquiraz, 498 para a região da Prainha e 566 para o Distrito da Tapera.

Do total produzido, observa-se um maior domínio de uso para sede municipal, haja vista uma densidade urbana mais ampla em relação aos outros locais onde há rede de distribuição da CAGECE. Vale destacar que nesse cenário de abastecimento de água, a lagoa do Catu constitui o manancial de onde é feita a captação para tal fim, e que segundo pesquisa desenvolvida por Gomes (2003) possuía um volume de água de 8.954.000 m³.

No contexto da infra-estrutura relacionado ao saneamento básico, não se pode dizer a mesma coisa para o abastecimento, já que as redes de esgotos são muito deficientes e o saneamento possui uma pequena área de cobertura, somente na parte central da sede, ou seja, segundo a própria CAGECE (2011) a malha de esgoto existente corresponde a 1.988 ligações de esgotos, referentes a 46,17% só para a sede. Tal fato revela que a carência de saneamento básico em toda a área resulta no surgimento de fossas, contribuindo para a geração de risco de poluição da água subterrânea, principalmente nos terrenos porosos e permeáveis.

O quadro exposto sobre abastecimento e uso dos recursos hídricos não é suficientes para se generalizar que essas localidades sejam plenamente beneficiada por água superficial administrada pela CAGECE, já que informações levantadas em campo dão conta que essas águas são vistas e utilizadas com restrição devido a forte presença de cloro detectado no odor e sabor. É importante considerar que estas manifestações são ouvidas sempre em pontos onde existem, ao mesmo tempo, as duas formas de utilização, água superficial e subterrânea.

Os dados referenciais sobre as pesquisas realizadas no âmbito das águas subterrâneas da área são considerados, a princípio, em trabalhos existentes realizados em nível regional da RMF, abordando aspectos associados a geologia e hidrogeologia. Nesse sentido, são consideradas as pesquisas desenvolvidas por Bianchi *et al* (1984); Cavalcante (1998), Fernando (2005), Brandão *et al.* (1995) e Morais (2011), sendo este último um dos que contribuiu para classificação e individualização do Sistema Aquífero Dunas, adotado nesta pesquisa.

Os dados de literatura revelam a definição de parâmetros hidrogeológicos relacionados as potencialidades hídricas da RMF. Entre as informações produzidas por autores, merecem destaque os parâmetros de condutividade hidráulica estimados por Bianchi *et al* (1984)

com valores de $1,8 \times 10^{-4}$ m/s e $1,85 \times 10^{-6}$ m/s, referentes aos Sistemas Dunas e Barreiras, respectivamente.

Nesse cenário considera-se, também, os trabalhos hidrogeológicos específicos realizados na faixa costeira de Aquiraz, os quais reúnem informações que caracterizam as potencialidades hidrogeológicas e a qualidade das águas subterrâneas dos Aquíferos Dunas e Barreiras na área de estudo e adjacências. Nesse sentido pode ser mencionado as pesquisas de Silva (2000), Ribeiro (2001), Guerra Júnior (2005), Sousa (2012) levantando os aspectos qualitativos das águas subterrâneas da região da Prainha.

Observa-se, de uma forma geral, a carência de trabalhos de pesquisa hidrogeológica sobre a área e o município, pelos órgãos oficiais que poderiam desenvolver projetos hídricos subterrâneos que agregassem informações técnicas consistentes sobre o assunto.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia utilizada para atingir os objetivos desse estudo é compreendida por etapas que estão relacionadas ao levantamento geral de dados e informações dos trabalhos de campo e tratamento dos dados obtidos, os quais representam os tópicos essenciais ao desenvolvimento sequencial da pesquisa.

3.1 Pesquisa bibliográfica

Esta fase caracterizou-se pela aquisição de dados e informações relacionadas ao escopo bibliográfico que envolve conhecimentos metodológicos da pesquisa e informações complementares pertinentes ao interesse da Tese, além da obtenção de elementos que contribuíssem para o direcionamento objetivo das atividades que o estudo exige.

Em relação à bibliografia, foram consultados trabalhos técnicos e científicos, representados por livros, projetos, estudos acadêmicos e publicações voltados para os objetivos da pesquisa, além de elementos normativos, tipo portarias e resoluções que emitem critérios sobre o uso e controle da água. Nesse sentido, foram selecionadas obras informativas que pudessem contribuir de forma significativa e abrangente na realização do estudo, com assuntos pertinentes a hidrogeologia, geologia, meio ambiente, hidroquímica, características hidrológicas, aspectos geoambientais, situação sócio econômica e recursos hídricos.

No contexto dos aspectos bibliográficos, destacam-se os trabalhos específicos mais importantes que estão relacionados ao cenário da área em estudo, dentre os quais, os de Cavalcante (1998), Bianchi *et al.* (1984), Brandão *et al.* (1995) e COGERH (1999), todos referentes a RMF e que, de uma forma geral, fornecem subsídios aos recursos hídricos da área de estudo.

3.2 Levantamentos dos dados hídricos e cadastro de poços

Esta etapa diz respeito a aquisição de dados geoambientais, incluindo informações climáticas fornecidas pela Estação Meteorológica do Campus do Pici/UFC (Centro de Ciências Agrárias) e cadastramento dos poços tubulares obtidos a partir de instituições públicas. Os órgãos consultados são representados pela CPRM (2011), COGERH (2011), SOHIDRA (2011), CAGECE, IBGE e IPECE. Os poços levantados foram plotados e organizados em planilha no formato do programa Excel, resultando no cadastro de 177 poços (Apêndice A), contendo informações diversas representadas por localização, nome do proprietário, situação do poço e características hidrogeológicas, dentre outros.

Com base nesse cadastro foi realizada a seleção de 30 poços para constituir um arquivo específico e para serem visitados em campo, os quais serão considerados como suporte direto da pesquisa em relação aos aspectos hidrogeológicos.

Os critérios utilizados para a seleção dos poços amostrados foram: Priorizar àqueles que representam os dois principais aquífero da área (Dunas e Barreiras); considerar àqueles poços reconhecidos como de grande utilidade de abastecimento para as populações comunitárias, poços que possuam informações hidrogeológicas, principalmente, profundidade e nível estático, parâmetros que podem influenciar na qualidade das águas subterrâneas; condições de acesso favoráveis aos processos de coleta e transporte das amostras para laboratórios de análises; poços sem proteção e suspeitos de contaminação por se encontrarem perto de fossas e poços que possuam perfis lito-construtivos visando o relacionamento dos filtros com a área de entrada d'água no poço e com isso ter-se uma estimativa da espessura saturada do aquífero.

As informações relativas ao abastecimento e dados populacionais na área foram obtidas de órgãos tipo CAGECE, IPECE e IBGE, sendo que a base cartográfica da área na escala 1: 20.000 foi obtida da CPRM e IPECE. A partir da escolha da base cartográfica, elaborou-se o mapa-base para a área de pesquisa, tendo sido mantida a escala original, já que a mesma é compatível com o grau de detalhamento do trabalho.

Complementarmente, foram obtidos também dados hídricos sobre espessura média saturada dos Sistemas Aquíferos Dunas e Barreiras. Nesse sentido foram utilizados os valores médios da extensão dos filtros de 7 poços do Aquífero Barreiras e 4 do Sistema Dunas. Os referidos dados estão representados pelas médias dos comprimentos dos filtros existentes nos perfis lito-construtivos dos poços no Barreiras: 71, 09, 63, 178, 175, 178, 59 e 04 e Dunas: 59, 58, 66, 65 e 62. As médias desses comprimentos correspondem as espessuras saturadas médias (h_0), utilizadas na Equação 03 que define as reservas permanentes.

3.3 Elaboração de mapas temáticos

No contexto da área são considerados os mapas temáticos representados por temas geoambientais específicos e por um mapa hidrogeológico onde são plotados os pontos d'água em uma base georreferenciada, além do mapa hidrográfico (1: 54.000).

Nesse sentido, foram elaborados os mapas geomorfológico, geológico, fisiográfico e o mapa de pontos d'água monitorados, os quais foram confeccionados em 1: 25.000 com a utilização do ambiente SIG (Sistema de Informações Geo-referenciadas). O mapa geomorfológico (1:54.000) é uma concepção das unidades físicas que envolvem a Planície Litorânea e os Glacis Pré-Litorâneos correspondendo, portanto, as características geomorfológicas e ambientais da Formação Barreiras e dos depósitos dunares e flúvio-marinhos. Em situação semelhante, os demais mapas temáticos que obedecem as referidas condições cartográficas já mencionadas, estão enquadrados nas mesmas caracterizações específicas dos seus respectivos contextos.

A área de estudo, que possui $57,1 \text{ km}^2$ foi geograficamente compartimentada em função da ocorrência superficial dos aquíferos e da área de ocupação da lagoa do Catu. Para esse fim, foi utilizado o programa de computador Arcview 8.3, que calculou os tamanhos das áreas superficiais dessas estruturas hídricas (Aquíferos Barreiras, Dunas, Alvionar e área da lagoa) em toda a área pesquisada.

De outra forma, a base hidrogeológica, caracterizada nos pontos georreferenciados que representam a área, constitui também outro elemento cartográfico temático onde são plotados todos os poços levantados para a pesquisa e a lagoa do Catu.

O mapa de pontos d'água, na escala 1: 35.000, utilizado no monitoramento, constitui uma base de pontos de água, com 27 poços monitorados bimestralmente, através dos

quais são efetuadas medições de dados físico-químicos, representados pelos parâmetros pH, CE, STD salinidade. Os valores desses dados contribuem para definição da qualidade das águas subterrâneas dos dois principais sistemas aquíferos da área, Barreiras e Dunas.

3.4 Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo, no geral, foram relacionados a atividades que, inicialmente, envolveram deslocamento em vários setores da área para checagem e conhecimento de informações necessárias a preparação ao desenvolvimento da pesquisa, bem como ao levantamento de novos dados que contribuíssem para aprimoramento dos estudos, através das Fases 1 e 2.

Fase 1:

As atividades desta fase foram iniciadas em junho/2011 com trabalhos de reconhecimento, geográficos, geológicos e hidrogeológicos, além de se verificar as principais localizações que pudessem contextualizar as condições ambientais e a situação dos pontos de água da área. Nesse sentido, foram realizadas outras atividades de visita de campo com o intuito de se efetuar levantamento de novos poços e complementar as informações existentes, seguidas de obtenção das coordenadas UTM desses poços.

Os trabalhos realizados no campo foram desenvolvidos basicamente, através das seguintes atividades: reconhecimento físico e geográfico da área de pesquisa, incluindo os limites que a envolve; identificação dos aspectos geológicos e hidrogeológicos; observações gerais sobre as condições de abastecimento e dos recursos hídricos existentes; levantamento de pontos de água e amostragem para as análises físico-química e bacteriológica.

Na oportunidade, foram mantidos contatos com a prefeitura local para obter informações sobre quantidades e o estado dos poços de domínio público municipal (chafarizes) que esse órgão tem sobre controle. No mesmo entendimento, foram levantadas, junto a CAGECE, informações referenciais sobre as condições de suprimento de água subterrânea e superficiais da área, além de outros aspectos, tais como, a utilidade da lagoa do Catu e estimativa percentual do consumo da água em relação a população.

Num caráter complementar foram desenvolvidas, também, atividades relacionadas a identificação e reconhecimento do corpo físico da lagoa, visando-se investigar a sua relação com as águas subterrâneas, através das obras de captação do seu entorno. A

partir desses fundamentos foi definido o planejamento para as atividades de amostragens para a fase seguinte.

Fase 2:

Essa fase envolve as atividades de campo e resultados de laboratório, sendo que a primeira foi a partir de Nov/2011 e foi prolongada até Maio de 2012, quando foram realizadas especificamente as atividades de amostragens e coletas de água para análises dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, além das medições bimestrais de monitoramento feitas em 27 poços. As coletas e análises foram feitas em 30 pontos de água, sendo que 4 desses pontos se referem as águas superficiais da lagoa do Catu, onde os pontos escolhidos para essa lagoa estão relacionados aos poços existentes no mesmo lugar, representando uma coleta dupla (poço/lagoa).

Para o procedimento temporal sobre amostragens e análises foi definido o intervalo de 6 meses entre a primeira e segunda coleta, considerando então as condições sazonais, representadas pelos períodos seco e chuvoso, iniciando-se a primeira coleta em Nov/2011 e a segunda em Maio/Junho/2012.

As amostragens foram efetuadas em pontos abrangentes dos sistemas aquíferos em localidades representativas das condições hidrogeológicas, adotando-se para tal fim os critérios de coletas fundamentados nas orientações emitidas por Santos (1997). Já para a coleta de água na lagoa foram considerados os preceitos técnicos indicados pelo manual de coleta da CETESB (1996), que orienta que as amostras devem ser coletadas em pontos representativos e estabilizadas do corpo hídrico, preservando sempre a parte interna dos frascos coletores e evitando qualquer contato com detritos, folhas ou material acidental que implique em risco de contaminação.

Nessa mesma fase foram desenvolvidos também os trabalhos de monitoramento bimestral em 27 poços que fazem parte do contexto dos poços visitados e que estão relacionados ao Apêndice D e que cujas atividades foram iniciadas em Nov/2011, prolongando-se até Jun/2012. O monitoramento foi realizado obedecendo a critérios hidrogeológicos e ambientais relacionados aos sistemas aquíferos, as profundidades e posição de nível estático dos poços, visando gerar informações que adicionassem mais elementos qualitativos, quando comparados com as análises de laboratórios.

No contexto do referido monitoramento foram efetuadas as medições de campo visando a detecção dos seguintes parâmetros físico-químicos: pH, STD, condutividade elétrica (CE), resistividade e salinidade. A obtenção dos valores medidos desses parâmetros

ocorreu através da utilização dos equipamentos, condutivímetro digital (METTLER TOLEDO) e o pHmetro (modelo MA- 522/P Marconi).

As amostras para análises físico-químicas foram coletadas em recipiente plástico de 1.000 mL, sendo em seguida armazenada e conservada em caixa de isopor com gelo, enquanto que as amostras para as análises bacteriológicas, foram coletadas em garrafas de vidro âmbar de 1.000 mL, sendo em seguida acondicionadas, também, em isopor com gelo para sua conservação. Após concluídas as coletas, as amostras foram imediatamente transportadas para os laboratórios onde foram processadas e posteriormente interpretadas.

3.5 Trabalhos de laboratório

As atividades relacionadas aos laboratórios estão representadas pelas análises físico-químicas e bacteriológicas das amostras coletadas em 26 poços dos Aquíferos Barreiras e Dunas e 4 pontos da lagoa do Catu, correspondendo a 30 amostras físico-químicas e 20 bacteriológicas para cada período de amostragem. As primeiras amostras físico-químicas foram coletadas e processadas no período Nov/Dez/2011 no Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada do Departamento de Geologia da UFC. Já as amostras de físico-química da segunda fase (período pós-chuva) foram analisadas em mai/jun/2012 no laboratório do NUTEC do Governo do Estado do Ceará. Nesses dois laboratórios, as metodologias utilizadas foram baseadas nas diretrizes gerais do Standard Methods (2005).

Procedimento semelhante foi adotado para as 20 análises bacteriológicas que foram analisadas no Laboratório de Microbiologia do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR). Nessa oportunidade, foi utilizado o método dos tubos múltiplos no desenvolvimento das análises, além dos testes presuntivos e confirmativo que determinam o NMP (Número Mais Provável) sobre coliforme totais (C.T.) e coliforme termotolerantes ou fecais, métodos estes vinculados ao Standar Methods (*op.cit.*).

3.6 – Tratamento e integração dos dados

O tratamento dos dados está caracterizado, a princípio, pela organização das informações levantadas, a partir do cadastramento dos pontos de água existentes, além de dados físico-químicos e bacteriológicos, organizados em tabelas diversas, foram ordenados nos apêndices desse estudo, através de programas de computação Excel e Word (versão 2007).

O conjunto integrado desses dados está fundamentado nas amostras de 30 pontos de água utilizados nas análises físico-químicas e 20 para bacteriológicas, que foram em seguida lançados em planilhas, processados de forma representativa na elaboração de tabelas e gráficos para que fosse feita a interpretação diagnóstica da qualidade da água dentro dos parâmetros investigados.

➤ Uso da água na agricultura

De acordo com Santos (2008) um dos critérios mais utilizados para caracterização da qualidade da água na agricultura está relacionado e aos Sólidos Totais Dissolvidos (STD), expresso pela condutividade elétrica da água a 25°C e também pelo SAR (*Sodium Absorption Ratio*) – Razão de Adsorção do Sódio, cujos valores são calculados pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL). Nesse sentido, o valor do SAR se posiciona como um indicador do perigo de alcalinização ou sodificação do solo.

Segundo a JOHSON Division (1978), o valor desse índice do sódio sendo superior a 10 é considerado perigoso para o solo. Os valores do SAR estão calculados pela Equação 01 e a sua correspondência com a condutividade elétrica (CE) vão caracterizar o tipo de aplicação da água na irrigação.

$$SAR = \frac{rNa^+}{\sqrt{\frac{rCa^{+2} + rMg^{+2}}{2}}}$$

[Equação 01]

De posse das informações amostradas, os dados foram processados e interpretados, além de utilizados em programas específicos, a exemplo do *software* hidroquímico Qualigraf (MOBUS, 2003). Através desse programa, os dados são colocados em mg/L e convertidos em meq/L, resultando na geração de vários diagramas hidroquímicos como Piper (Classificação iônica) e *U.S Salinity Laboratory* (Irrigação) e STD.

No cenário geral da qualidade, os dados pesquisados são refletidos na elaboração de tabelas que definem o uso aproveitamento da água em relação aos padrões oficiais de potabilidade, irrigação e indústria.

3.7 Aspectos dos cálculos das reservas hídricas subterrâneas

Os cálculos para avaliação das reservas hídricas subterrâneas da área estão relacionados aos fatores dimensionais que envolvem os aquífero e aos resultados do balanço hídrico que possam influenciar nessas reservas. Nesse sentido, serão considerados basicamente, conhecimentos emitidos por Castany (1975), Cavalcante(1998) e Costa (1997), através dos quais são caracterizados e calculados os seguintes tipos de reservas: reguladoras, permanentes, totais, além das disponibilidades potenciais e efetivas. Esse tipo de classificação possui características compatíveis com os aspectos hidrogeológicos da área da pesquisa, e que envolve as rochas sedimentares da Formação Barreiras e os depósitos dunares costeiros, que ficam localizados na parte nordeste da RMF.

Observa-se, entretanto, que para todos os cálculo das reservas subterrâneas desta pesquisa, o valor (A) da área será relacionado ao espaço superficial aflorante de cada sistema aquífero.

- Reservas reguladoras ou renováveis

Sua avaliação é realizada, através de parâmetros que caracterizam a dinâmica da água subterrânea no aquífero, utilizando-se o método volumétrico, representado pela Equação 01 que tem por base a variação dos níveis d'água (Δh) nos aquífero livres.

$$R_r = A \times \Delta h \times \eta_e$$

[Equação 02]

Onde:

R_r = Reservas reguladoras (m^3/ano)

A = área aflorante do aquífero (L^2)

Δh = Variação anual do nível d'água (L)

η_e = porosidade efetiva (adimensional)

- Reserva permanente (R_p)

É calculada através do método volumétrico que tem como base a espessura saturada média (h_o), o qual mostra que a reserva permanente não é afetada dentro dos limites de variação. Seu cálculo é feito pelo emprego da equação 2. Acrescenta-se, entretanto, que a

espessura saturada (h_o) referente a cada aquífero considerado corresponde a extensão média das entrada d'água dos filtros dos perfis de 11 poços existentes nos Sistemas Dunas e Barreiras.

$$R_p = A \times h_o \times \eta_e$$

[Equação 03]

Onde:

R_p = Reserva permanente

A = Área aflorante do aquífero (L^2)

h_o = Espessura saturada média (L)

η_e = Porosidade efetiva (adimensional)

➤ Reservas Totais (R_t)

As reservas totais são representadas pela somatória das reservas reguladoras e permanentes de cada sistema, conforme mostra a Equação 04. O cálculo total para a área consiste da somatória dos volumes armazenados em cada aquífero..

$$R_t = R_p + R_r$$

[Equação 04]

➤ Disponibilidade potencial (D_p)

Segundo Cavalcante (1998), a disponibilidade potencial (D_p) é uma parte específica das reservas subterrâneas do sistema aquífero, sendo que o volume total pode ser utilizado de forma não depletiva, usando-se apenas as reservas reguladoras.

Seu cálculo fica definido pela utilização das reservas reguladoras, mais 1/3 das reservas totais da área considerada para os Sistemas Dunas e Barreiras conforme a Equação 05.

$$D_p = R_r + 1/3(R_t)$$

[Equação 05]

Onde:

D_p = Disponibilidade potencial (L^3)

R_r = Reservas renováveis (L^3/T)

R_t = Reserva totais (L^3)

➤ Disponibilidade efetiva (D_e)

Segundo Costa (1997) a disponibilidade efetiva (D_e) é caracterizada através do volume d'água que é retirado dos poços instalados, com vazões próximas do seu limite máximo explotável, utilizando-se os parâmetros da Equação 06, tendo como base os dados de 169 poços dos 177 levantados na pesquisa. Foi atribuído aos mesmos um regime médio de funcionamento de 8 hs/dia e uma vazão média de $3m^3/h$.

$$D_e = n \times Q_m \times t_h$$

[Equação 06]

onde:

D_e = Disponibilidade efetiva (m^3/ano)

n = Número de poços captados

t_h = Tempo médio de bombeamento

Q_m = Vazão média (m^3/h)

4 CONSIDERAÇÕES SÓCIO ECONÔMICAS

As condições sócioeconômicas de uma região estão relacionadas também com a situação dos seus recursos hídricos, os quais contribuem fundamentalmente para o melhoramento da qualidade de vida da população, considerando-se os outros segmentos que são necessários a sobrevivência e ao desenvolvimento.

No caso desse estudo, a região em questão refere-se ao município de Aquiraz, que segundo o IPECE (2011) possui uma área territorial de $480,976 km^2$, com uma população total (urbana e rural) de 72.628 habitantes, resultando em uma densidade demográfica de $150,50 hab/km^2$ e uma taxa geométrica de crescimento anual de 1,85%.

Os dados censitários da Tabela 1 mostram a variação do crescimento populacional e dos domicílios particulares entre os anos de 2000 e 2010, destacando os valores totais do município e das principais localidades da área de pesquisa, conforme IBGE (2010). Tal crescimento contribui conseqüentemente para a necessidade de aumento de

consumo de bens primário, secundário e terciário, incluindo-se dentre eles os recursos hídricos.

Tabela 1 - Variação do crescimento linear dos totais da população e dos domicílios entre os censos de 2000 e 2010 comparando o município e as localidades da área de estudo.

Município e Distrito	Município		Sede Municipal e Prainha		Distrito da Tapera	
	Ano	2000	2010	2000	2010	2000
População	60.469	72.628	20.085	25.377	6.666	8.835
Domicílios	14.014	19.707	4.759	7.048	1.723	2.584

Fonte: IBGE (2010)

A citada Tabela 1 mostra uma situação específica da região de estudo em que dados do IBGE estão voltados diretamente para os aspectos demográficos de cada localização urbana entre os censos de 2000 a 2010. Tal situação contribui para o entendimento de que o aumento demográfico e de domicílios se reflete também num incremento da ocupação urbana e no conseqüente aumento no consumo de água subterrânea e superficial, demandando maiores gastos econômicos.

No contexto da rede de abastecimento de água, partes do município se encontram beneficiado com água superficial, a exemplo da Sede Municipal, Tapera e Prainha. A CAGECE, empresa responsável pelo fornecimento, informa que esses locais são atualmente atendidos com 3.237,566 e 498 ligações ativas, respectivamente e que o esgotamento sanitário está relacionado à apenas parte da sede municipal, onde estão instaladas 1.988 ligações de esgotos, conforme o IPECE (2011)

A distribuição de energia elétrica é realizada pela COELCE, que segundo informa o IPECE (*op.cit*) os dados atuais de fornecimento em toda a área municipal mostram um total de 28.314 consumidores, resultando em um consumo total de 139.145 mwh/ano. Esse valor é distribuído da seguinte forma: 35.108, residencial; 53.182 para a indústria; 20.428 para área comercial, 18.793 para o setor rural e 11.634 para o setor público.

Em relação a educação, dados do IPECE (*op.cit.*) revelam que para toda região municipal existem 19.818 alunos matriculados em escolas do município, estado e particular, sendo que desses estabelecimentos, 14.618 matrículas pertencem a rede municipal. A taxa de analfabetismo para o período 2000/2010 é de 31,48% para pessoas com 15 anos ou mais. Os

indicadores educacionais mostram que os maiores índices de aprovação ocorrem nas escolas do estado, com 88,4% para o ensino fundamental e 82,2% para o ensino médio.

No que diz respeito a situação da saúde no município, a maior parte de seu atendimento principal está concentrado na sede municipal e, segundo informações do IPECE (op.cit.), existem 28 unidades de saúde pública, sendo que algumas estão distribuídas nos distritos, com 0,91 médicos para cada 1.000 habitantes, indicador este que em 2007 era de 1,25. O hospital geral, localizado na referida sede, presta atendimento para várias especialidades, a exemplo de Centro de Parto Isolado, Centro de Atenção Hemoterápica e Centro de Apoio a Saúde da Família.

Os índices econômicos revelam um Produto Interno Bruto (PIB) municipal da ordem de R\$ 496,794 milhões, segundo informações do IPECE (2011), mostrando ao mesmo tempo um PIB per capita de R\$ 7.053. O setor de serviço é responsável por 53% da geração total do PIB, seguido de 38,57% para a parte da indústria. O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) para pessoas acima de 15 anos, apresenta um valor de 0,670 (índice médio), se posicionando como o 27º na posição do ranking do estado e constitui outro índice que contextualmente está relacionado às condições econômicas e educacionais do município.

As condições de emprego formais revelam uma totalidade de 6.254 pessoas admitidas em 2010, sendo a indústria de transformação o setor de destaque, concentrando o maior número de empregados. Nesse cenário econômico, o setor secundário, através da indústria apresenta um razoável crescimento no tocante ao número de empresas, enquadrando-se em sua maioria na categoria indústria de transformação, além do ramo da construção civil e extrativismo mineral. Exemplo nesse sentido pode ser comprovado com as presenças das indústrias White Stone do Brasil S/A, Indústria de Bebidas Antártica do Ceará S/A e também da USIBRAS (Usina Brasileira de Óleos e Castanhas Ltda), que possui um papel relevante na absorção de muitos empregos para região e fica localizada à margem da CE-040 (Foto 1).

Foto 1 - Aspecto da usina de castanha USIBRAS, que usa água subterrânea e superficial da lagoa do Catu, localizada em Aquiraz, à margem da CE-040. Coord.: 9566066/568426 (março/2012)



Fonte: autor (2012)

O setor agropecuário, enquadrado na parte primária da economia, também se destaca no contexto econômico do município, gerando mão de obra e incrementando as condições de emprego no setor, através do cultivo de vários produtos agrícola, a exemplo da produção de castanha e cana de açúcar. De outra forma, a produção avícola assume um importante papel na economia, a partir da existência de inúmeras granjas que detém a primazia no município em termos de arrecadação de ICMS e se destaca por gerar muitos empregos para o município.

Finalmente, o setor terciário vem completar o quadro econômico do município mostrando sua importância nos seguimentos de turismo, comércio e serviços, os quais apresentam uma maior visibilidade ocupacional em se tratando de uma região costeira. Nesse sentido, o setor de turismo se apresenta com um dos principais atrativos naturais da região, possuindo 36 km de praias que envolvem as regiões de Porto das Dunas, Prainha, Batoque e Barro Preto, destacando-se o Porto das Dunas como uma das áreas mais ocupadas e representativa, tendo em vista a existência do Beach Park, Itacaranha e Aquaville Resort, constituindo três grandes parques de diversão e lazer dessa praia. O segmento de serviço completa esse cenário se destacando como um dos responsável pelo incremento de 2,43% na arrecadação do ICMS para o município.

A situação bancária do município é marcada pelas presenças de uma agência do Banco do Brasil, além de uma Loteria vinculada a Caixa Econômica Federal.

Convém salientar que o entendimento conclusivo sobre os aspectos socioeconômico da área de pesquisa é extensivo a todo espaço territorial do município, uma vez que as informações levantadas junto aos órgãos oficiais se referem ao município de Aquiraz como um todo, mesmo a divisão de sete distritos além da sede. Essas informações normalmente têm como fonte básica o IPECE, responsável pelo perfil básico dos municípios.

5 ASPECTOS GEOAMBIENTAIS

Esses aspectos contextualizam os parâmetros que envolvem o meio ambiente físico que tem relação com a área de estudo, contemplando basicamente, desde os aspectos climáticos ao geológico, os quais evidenciam o comportamento e a diversificação desses elementos.

Os elementos geoambientais considerados estão associados a compartimentação do espaço geográfico da área inter-relacionando seus componentes aos recursos hídricos e, especificamente, as águas subterrâneas. Nesse contexto, os principais parâmetros desse estudo são os elementos físicos e bióticos, assim constituídos: aspectos climáticos, cobertura vegetal, solos e aspectos geomorfológicos

5.1. Considerações climáticas

De acordo com informações do IPECE (2011), os dados climáticos levantados para a região da pesquisa indicam um clima do tipo Tropical Sub-úmido e apresenta temperatura média que varia entre 26 a 28 °C e período chuvoso se caracterizando de janeiro a maio. O clima de ambiente costeiro, do tipo “Aw”, conforme o modelo de Köppen (MEDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2009).

Acrescenta-se, entretanto, que as informações climáticas relacionadas ao IPECE fazem parte dos dados do Perfil Municipal de Aquiraz (2011) que contempla as características gerais do município e confirma também as considerações climática da Estação Meteorológica do Campus do Pici.

Nesse contexto, as condições atmosféricas da área são regidas, basicamente por quatro sistemas meteorológicos que ocorrem no Nordeste e no estado do Ceará, a saber: a

Zona de Convergência Intertropical, Os Ventos Alísios de SE, a Massa Equatorial Continental e a Frente Polar Atlântica, ou Frente Fria (Bezerra, 1997). Além desses sistemas existem também, as Linhas de Instabilidades ligadas às brisas marítimas, que exercem influência na faixa costeira.

A Zona de Convergência Intertropical é considerada como o principal sistema meteorológico causador das maiores precipitações que ocorrem no período de fevereiro a maio, sendo os meses de março e abril o intervalo em que ocorre o maior valor pluviométrico (1.380 mm/ano). Caracteriza-se por fortes chuvas que se estendem do litoral para o sertão, onde atuam com menor intensidade.

O sistema regido pela Frente Polar Atlântica possui grande importância como elemento gerador de instabilidade e precipitações frontais ao longo do litoral nordestino no período de outono-inverno, no qual alcança maior intensidade. Tal fenômeno acontece devido ao deslocamento da massa de ar frio que penetra por baixo da camada de ar quente, provocando a sua elevação, formação de densas nuvens e conseqüente precipitação (BEZERRA,1997).

Com menor representatividade que a Zona de Convergência Intertropical, o sistema composto pela massa de ar Tropical Continental é o responsável pelas chuvas de verão em quase todo o litoral nordestino, devido ao deslocamento de massas quentes e úmidas que avançam sobre o continente, após o recuo da Frente Polar Atlântica.

O mês de Abril é considerado como o de maior precipitação e tal aspecto se deve ao fato da superposição do Sistema de Vorticidade Ciclônica com os demais sistemas nessa época do ano, o qual atua de forma mais intensa na faixa litorânea (BEZERRA, 1997)

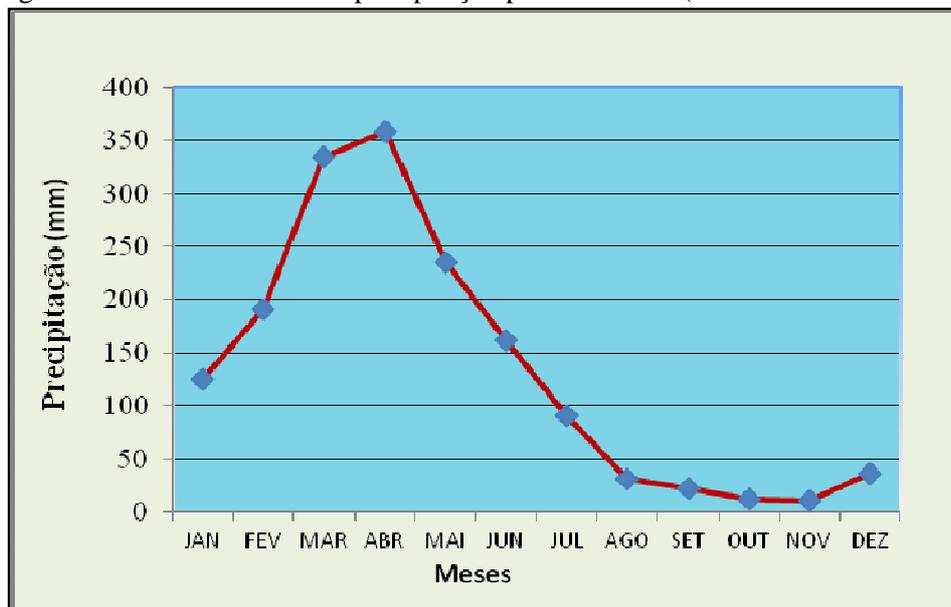
Considerando-se as condições dinâmicas dos sistemas acima descritos, conclui-se, portanto, que todos contribuem para que ocorra incidência de precipitações na região litorânea do Nordeste, mesmo em outra época do ano, fora do principal período chuvoso (Fevereiro a Maio). Nesse sentido, a associação dos referidos fenômenos meteorológicos com os fatores geográficos existentes, tais como relevo, correntes dos ventos alíseos, baixas latitudes, dentre outros, concorrem para a caracterização climática da faixa costeira, onde se localiza a área de estudo.

De acordo com Bezerra (*op.cit.*) o regime pluviométrico é representado pelas irregularidades das chuvas, cuja intensidade é bastante variável no tempo e no espaço, ocasionando anos de elevadas precipitações e outros de chuvas escassas. No que se refere à distribuição das chuvas, o ano se divide em dois períodos, um chuvoso e outro seco, com o primeiro compreende o intervalo de Fevereiro a Maio com valores pluviométricos variando entre

1.200 e 1.380 mm anuais, enquanto que de Junho a Janeiro corresponde ao período seco, o qual é sempre afetado por precipitações esparsas, decorrentes das linhas de instabilidades, geradas pelo efeito da brisa marítima. Essas anomalias pluviométricas no período seco contribuem para a conservação da umidade do solo durante quase todo o ano.

O comportamento gráfico da evolução climática para a área está fundamentado nos dados fornecidos pela Estação Meteorológica do Campus do Pici (bloco N° 804 da Engenharia Agrícola/UFC), que dispõe de valores médios de vários parâmetros climáticos em uma série histórica (1966 – 2013), a exemplo da figura 2, que mostra o comportamento da precipitação pluviométrica para o período. Cabe salientar, que à época do levantamento dos dados climáticos, durante ano de 2010, foi constatado junto a FUNCEME que o município de Aquiraz não possuía estação meteorológica, razão que culminou com a opção pela Estação Meteorológica do Campus do Pici. De uma forma geral, as médias climáticas utilizada para a área tem como base o período de 1966 – 2013, medidos nessa estação e que mostra as médias mensais das variações climáticas não se configura entre os meses de Setembro a Dezembro, devido a ausência de chuva.

Figura 2 – Médias mensais de precipitação para Fortaleza (Período 1966 – 2013)

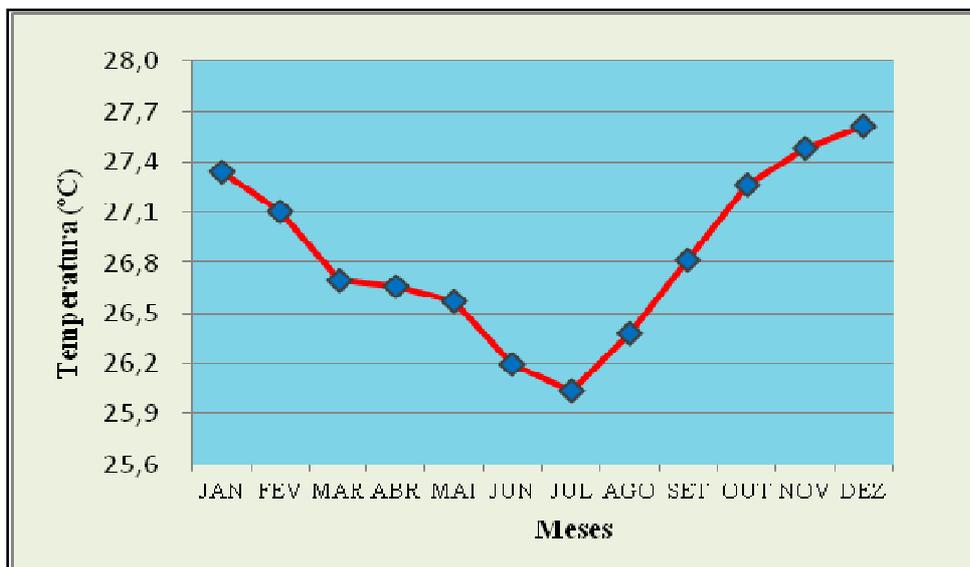


Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici na UFC

Informações da Estação Meteorológica do Campus do Pici confirmam essa performance mostrando temperaturas médias mensais variando entre 26 e 27,7 °C para Fortaleza e zona costeira da RMF (Figura 3).

O quadro climático da área segue o mesmo padrão de Fortaleza no que diz respeito a variação térmica durante o ano, refletidos nos períodos chuvosos e secos. Nessas estações outros parâmetros térmicos são considerados, a exemplo da insolação e da evaporação que tem seus valores típicos caracterizados em função das presenças de chuvas e da pouca nebulosidade. Considera-se que nesse sentido os dois fatores associados possuem uma influência significativa nas perdas hídricas, sobretudo nos reservatórios superficiais que sofrem efeito direto da insolação e da evaporação.

Figura 3 – Médias mensais de temperatura consideradas para área de estudo (Período 1966 – 2013)

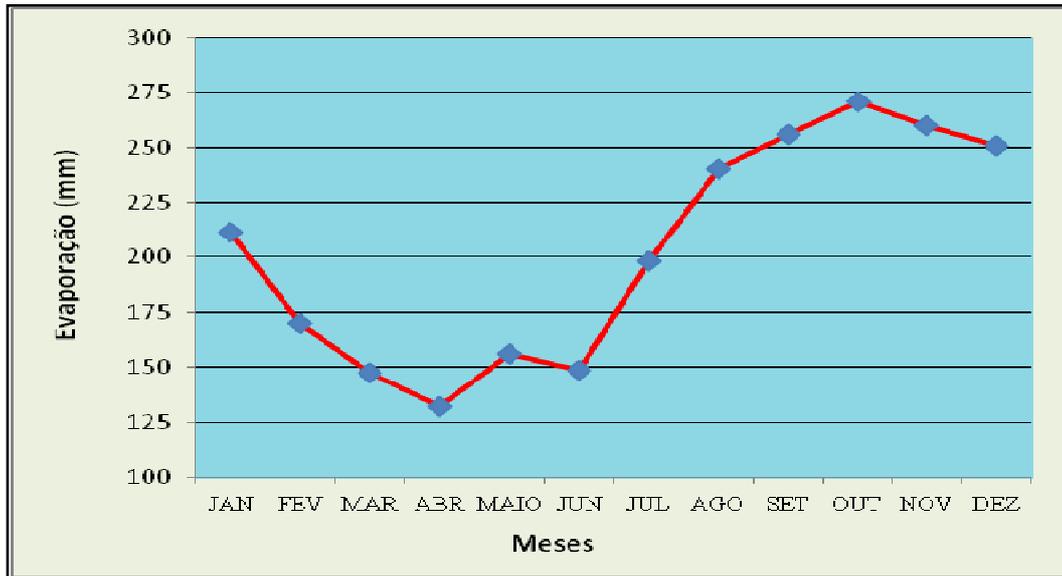


Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici (2013)

A evaporação, possui valores maiores no período de estiagem e menor em época de maior concentração chuvosa. Este processo está diretamente relacionado ao regime pluviométrico, mostrando que o trimestre úmido, que se desenvolve de Março a Maio, ocorre com menores índices médio de evaporação, conforme indica o gráfico da Figura 4, que mostra também maiores intensidades entre os meses de Agosto a Novembro.

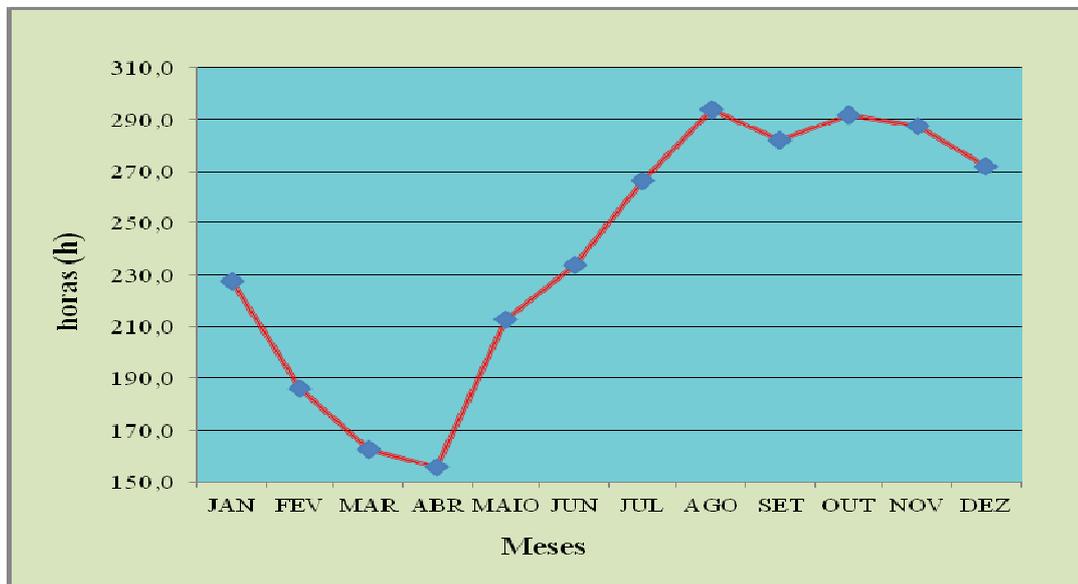
De acordo com dados da Estação Meteorológica do Campus do Pici a insolação apresenta os menores valores entre os meses mais chuvosos de Fevereiro a Abril, com mínimo aproximado de 160 horas/mês, enquanto que no período de agosto a novembro ela se torna mais elevada, apresentando valor máximo de 290 horas/mês, conforme o gráfico da Figura 5.

Figura 4 – Distribuição da evaporação média durante o ano para área de estudo e zona costeira (Período 1966 – 2013)



Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici (2013)

Figura 5 - Distribuição das médias mensais de insolação na região durante o ano para Fortaleza e zona costeira (Período 1966 -2013)



Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici (2013)

5.2 Balanço hídrico

O levantamento do balanço hídrico visa estabelecer o saldo hídrico entre os aportes e as saídas de água dentro da unidade hidrográfica que compõe a área, através de um determinado intervalo de tempo. Esse saldo está diretamente relacionado aos fatores que

integram o ciclo hidrológico e que estão ao mesmo tempo envolvidos na equação do balanço. A equação do balanço hídrico obedece ao princípio da conservação da massa, segundo o qual em um sistema qualquer a diferença entre as entradas e as saídas de água é igual a variação do armazenamento dentro desse sistema.

Os parâmetros que constituem o referido balanço são representados pela precipitação pluviométrica, evapotranspiração, escoamento e infiltração, sendo esse último elemento considerado o mais importante para contribuição das variações de reservas das águas subterrâneas.

Em termos gerais, o potencial de um aquífero ou a disponibilidade de água subterrânea de uma determinada região está condicionada às suas características climáticas e geológicas. Segundo Castany (1975), normalmente a metodologia utilizada para o balanço hídrico dos aquíferos é a mesma empregada para o balanço hídrico global. Nesse sentido, para que se proceda a avaliação desse balanço são necessárias as considerações dos principais componentes climáticos e hidrológicos, representados pelas precipitações pluviométricas, temperaturas, evapotranspiração e infiltração, além das condições geológicas que envolvem a água subterrânea. É fundamental para o balanço o período de referência em que o mesmo é considerado, e também a interação dos referidos parâmetros durante esse período.

No caso desse trabalho, o tempo de referência compreende uma série histórica de 45 anos (1966-2013), com ano hidrológico de Janeiro a Dezembro, sendo os dados fornecidos pela Estação Meteorológica do Campus do Picí (UFC/2011) para Fortaleza e faixa costeira da RMF.

Os principais aquífero da área são considerados livres, constituídos por sedimentos, possuindo porosidade intergranular, cuja infiltração eficaz representa a parcela da água que vai influir na zona de saturação e contribuir, conseqüentemente, com as reservas reguladoras. Nesse sentido, Castany (*op.cit.*) considera que a infiltração eficaz é o fator mais relevante no que diz respeito à entrada de água em aquífero livres, pois além de ser o parâmetro responsável pela variação do nível potenciométrico, exerce também um importante papel na ocorrência da recarga. Nesse sentido, o referido autor procura caracterizar a dinâmica do balanço hídrico global de uma área, em função da variação dos parâmetros hidrológicos envolvidos, os quais são representados pela Equação 07.

$$\boxed{P = R + E + I} \quad [\text{Equação 07}]$$

Onde:

P = Precipitação (mm)

R = Escoamento superficial (mm)

E = Evapotranspiração real

I = Infiltração

Em se tratando do envolvimento de aquífero, não é considerado o escoamento superficial (R), já que uma parte da água infiltra, outra se evapora e o restante é captado no exutório. Conclui-se, portanto, que nesse tipo de balanço, o dado mais importante para entrada de água no aquífero é a infiltração eficaz (I_e), o que leva o fator **P** da equação anterior a depender apenas dos valores E e I, resultando na Equação 08.

$$\boxed{P = E + I_e} \quad \text{ou} \quad I_e = P - E \quad [\text{Equação 08}]$$

A precipitação (P) é expressa pela quantidade de água adicionada ao solo, principalmente através da chuva. A evapotranspiração real (E) está relacionada à evaporação da quantidade de água que se encontra retida no solo para alimentar as plantas, ou seja, num período de déficit pluviométrico a água retida alimenta a evapotranspiração real. Com o aumento da umidade ou com o surgimento das precipitações, cresce também a evapotranspiração a um valor máximo caracterizando, portanto a evapotranspiração potencial (E_p), ou seja, a quantidade de água que evapotranspira quando as reservas de água do solo são suficientes para compensar as altas perdas. Conseqüentemente, este parâmetro representa o consumo de umidade necessário para que a vegetação nunca sofra falta de água.

O cálculo desse parâmetro está representado na Equação 09, a qual foi introduzida por Thornthwaite (1948) e indica a máxima evaporação possível que pode ocorrer em condições favoráveis, quando solo se encontra bem provido de água dentro da sua capacidade de campo.

Os elementos básicos utilizados para o cálculo do citado parâmetro se apresentam com suas devidas definições referentes ao seu emprego na fórmula da equação 7 atribuída a Thornthwaite (1948). O fator k está associado às condições locais e a latitude da área, sendo que os valores mensais correspondentes são fornecidos por Villela *et al.* (1975). Nesse sentido, o cálculo da Evapotranspiração Potencial é desenvolvido conforme os dados aplicados na Equação 9.

$$E_p = 16(10 \times T/I)^a \times k \quad \text{[Equação 09]}$$

Onde:

E_p = evapotranspiração potencial (mm);

T = temperatura média mensal em °C, referente ao período considerado

I = o índice térmico anual definido como a soma dos índices mensais (i);

k = fator de correção que depende da latitude do lugar e do valor da insolação média mensal

i = índice térmico mensal, obtido em função da temperatura média mensal (T)

a = constante, cujo valor está relacionado ao índice térmico (I)

$$i = (T/5)^{1,5}$$

$$I = \sum i = 147$$

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

$$a = 3,6$$

De acordo com Vasconcelos (1999), o método proposto por Thornthwaite (*op cit*) é considerado o mais adequado para áreas costeiras, como, 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 envolvendo temperatura e precipitação.

A partir dos dados mensais da evapotranspiração potencial (ETP) e dos respectivos valores das médias de precipitação e temperaturas mensais foi construída a Tabela 02, composta pelos parâmetros necessários ao quadro do balanço hídrico da área. Os outros elementos que compõem a Tabela 02 foram obtidos através da relação entre a variação climática e as condições de absorção da água no solo, fato responsável pela a infiltração e também pela evapotranspiração real do balanço. A contabilização desses dados propiciou a definição dos valores da infiltração eficaz (I_e) e da evapotranspiração real (ETR),

considerando que esse parâmetro depende ao mesmo tempo da evapotranspiração Potencial (ETP) e da precipitação (P).

Tabela 02 - Cálculo do balanço hídrico para Aquiraz, segundo o método de Thornthwaite (1948), referente ao período 1966- 2013 a partir das médias mensais de temperatura e precipitação.

Mês	P	T °C	I	K	ETP (mm)	P - ETP	C	ETR (mm)	Ie(mm)
Jan	135,5	27,3	12,76	1,06	157,80	-22,30	0	136,0	0
Fev	196,5	27,1	12,62	0,95	137,64	58,86	58,86	137,6	0
Mar	329,7	26,7	12,41	1,04	142,64	187,06	100	142,6	145,92
Abr	350,3	26,7	12,34	1,0	137,16	213,14	100	137,2	213,14
Mai	230	26,6	12,34	1,02	137,98	92,42	100	138,0	92,42
Jun	163,6	26,2	12,06	0,99	126,64	36,96	100	126,64	36,96
Jul	90,4	26	11,93	1,02	126,84	-36,44	63,56	90	0
Ago	30,6	26,4	12,2	1,03	135,51	-104,91	0	31	0
Set	21	26,8	12,48	1,0	139,06	-118,06	0	21	0
Out	12,2	27,3	12,76	1,05	156,31	-144,11	0	12	0
Nov	11,3	27,5	12,97	1,03	157,52	-146,22	0	11	0
Dez	34,2	27,6	13,04	1,03	159,64	-125,44	0	34	0
Total	1606	0	149,1	0	1714,7	0	0	1017	488

Fonte : Estação Meteorológica do Campus do Pici (2011) bloco 804 da Engenharia Agrícola (UFC)

Legenda: P= Precipitação; Etp = Evapotranspiração potencial; Er = Evapotranspiração real; I= Índice térmico anual; C = Capacidade de armazenamento do solo; K = Fator de correção envolvendo latitude. e insolação.

A quantidade de água que o solo é capaz de armazenar, varia normalmente com as características litológicas apresentadas. Ocorre, porém, que Thornthwaite (1948) fixou de forma arbitrária o valor de 100 mm como capacidade de armazenamento de água que o solo pode suportar, sendo esse o valor usado como ponto de referência entre as condições de infiltração e de evapotranspiração. Segundo Vasconcelos (1994) este índice pode variar com a natureza do terreno, sendo 50 mm em solos arenosos e 200 mm em solos argilosos.

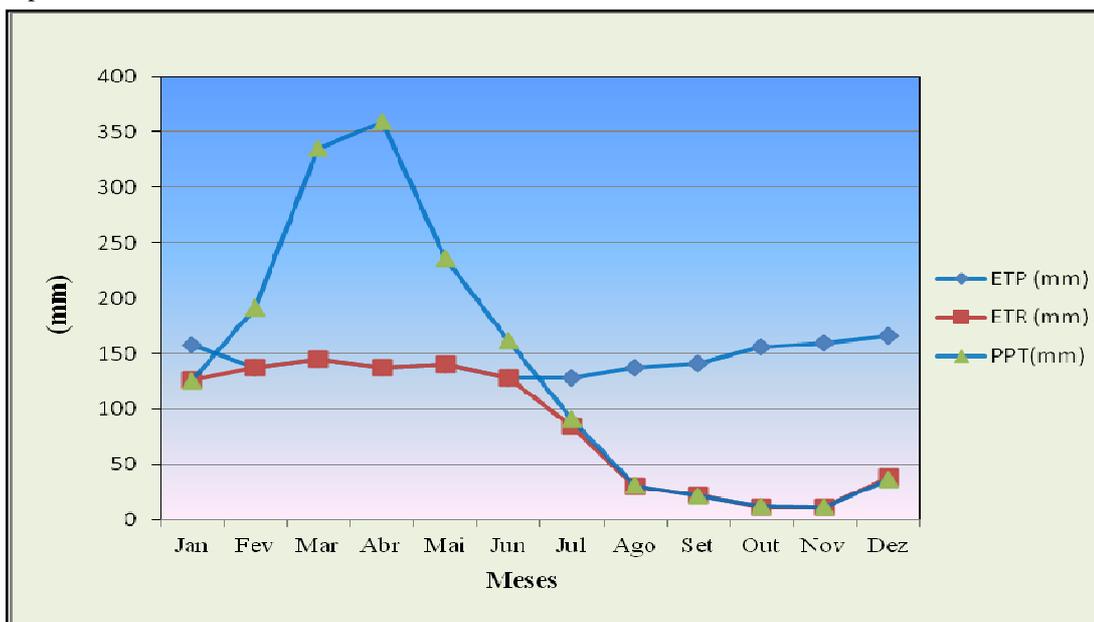
Com base nos dados levantados na Tabela 02, pode ser estabelecida uma avaliação do comportamento das variáveis envolvidas no balanço em relação ao período considerado. O gráfico da Figura 6 mostra a variação climática entre esses dados e também os respectivos resultados hidrológicos em milímetros, em cada faixa de tempo do ano médio.

Considerando-se as informações apresentados na Tabela 02 e nas curvas do gráfico, pode-se concluir que o período de maior incidência de precipitação ocorre entre os meses de Fevereiro a Maio. Durante essa época, a evapotranspiração real se iguala a evapotranspiração

potencial, gerando conseqüentemente, um excedente hídrico (Ex), que contribui para infiltração eficaz média (I_e), responsável pela recarga do aquífero e pela variação da superfície potenciométrica. Seu valor de 488 mm/ano constitui um dado referencial importante para avaliação estimativa das reservas renovadoras dos aquífero pesquisados.

Com relação ao excedente hídrico na faixa litorânea, Ribeiro e Gonçalves (1981) e Bezerra (1989) *apud* Brandão *et al.* (1995), comentam que quando a razão precipitação/evapotranspiração potencial (P/Ep) é maior que 1 (um), significa que existe um potencial hídrico disponível à recarga dos aquífero e a capacidade de armazenamento de água no solo, fato que deve acontecer normalmente entre os meses de maiores precipitações.

Figura 6 - Gráfico do Balanço Hídrico, mostrando a variação dos principais parâmetros referente ao período 1966- 2013.



Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici (2013)

Observa-se, também, que o intervalo de Agosto a Dezembro apresenta-se como períodos de baixos índices pluviométricos e caracterizados como época de acentuada estiagem. Nessa fase, a evapotranspiração potencial mostra-se superior a evapotranspiração real, resultando, portanto, numa situação deficitária de água para o solo, anulando naturalmente as condições de infiltração para o aquífero.

Considerando todos os elementos apresentados, conclui-se, portanto, que o período mais importante da série anual para a contribuição dos aquíferos, está representado

pelos meses em que ocorre o excedente hídrico, tempo que acontece a infiltração eficaz (I_w). Em termos gerais, observa-se que houve um saldo positivo para a infiltração eficaz média em relação ao período considerado (1966-2013), a qual irá influir no comportamento das reservas reguladoras da área.

A infiltração eficaz desse balanço corresponde à aproximadamente 33% do total das precipitações médias para o período considerado. O valor encontrado será aplicado nas avaliações das reservas renováveis, proporcionalmente às taxas de porosidades efetivas dos principais sistemas aquífero da área.

5.3 Aspectos hidrográficos

Os principais aspectos hidrológicos do município de Aquiraz estão de uma forma geral representados pelas Bacias Hidrográficas dos rios Pacoti e Catu, que pertencem a Região Metropolitana de Fortaleza, sendo que no município de Aquiraz seus cursos estão geograficamente posicionados na faixa de baixo curso, envolvendo os terrenos sedimentares da zona costeira. São rios de caráter intermitente e o escoamento de suas águas ocorre normalmente durante o período chuvosos com o surgimento das precipitações que se dá entre os meses de fevereiro a abril.

Destaca-se, entretanto, que mesmo sendo o rio Pacoti o maior do município, não possui a mesma representatividade com relação a área de estudo, já que sua ocorrência se dá num pequeno espaço no extremo noroeste da citada área, ficando o Sistema Catu como o segmento hidrológico característico dessa região de trabalho.

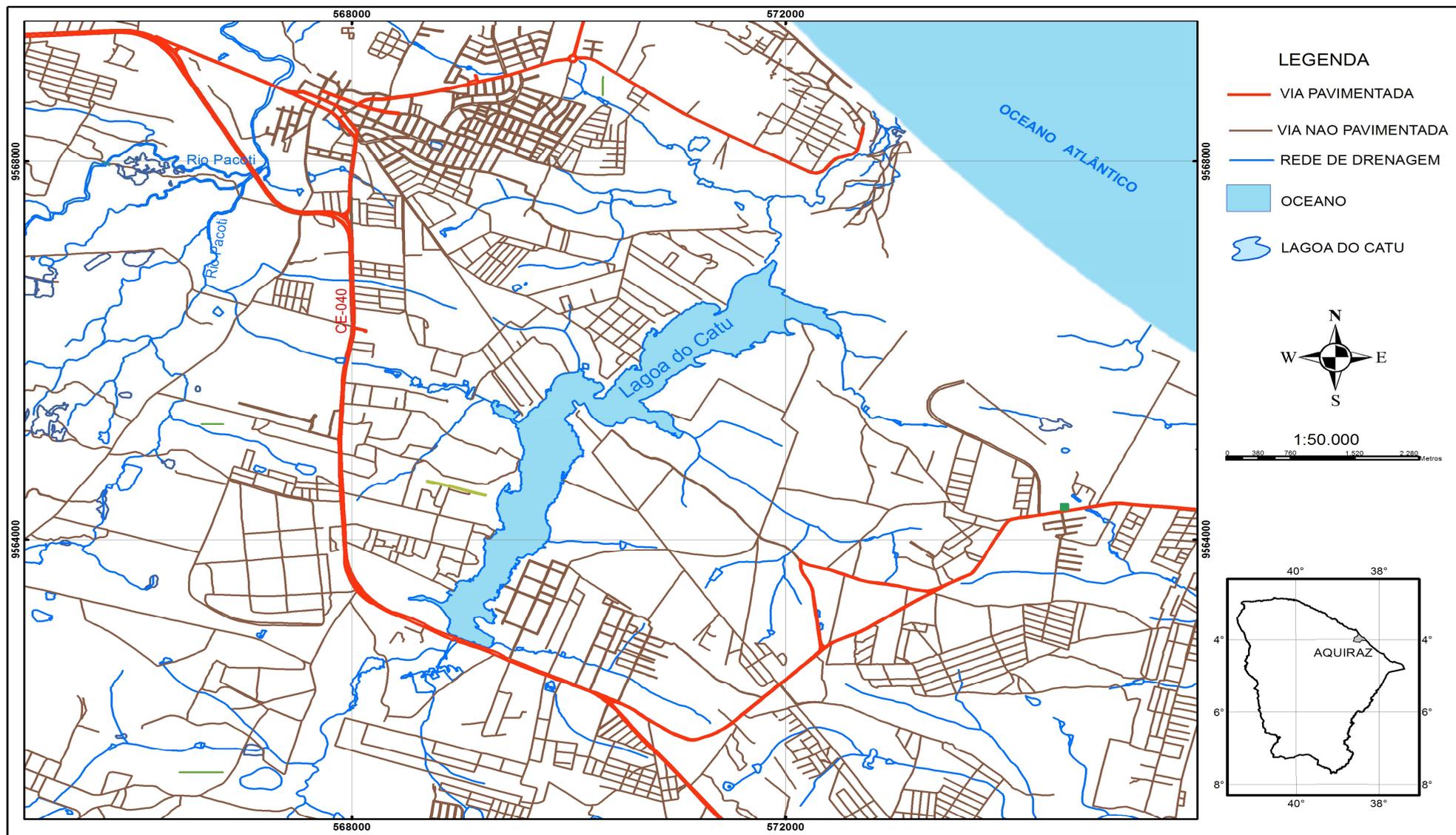
Nesse contexto, a área de estudo torna-se hidrograficamente marcada pelas drenagens que formam o rio Catu e a lagoa homônima, definindo, portanto a bacia hidrográfica da área de pesquisa, cuja direção linear se dá no sentido Nordeste, se enquadrando no contexto estrutural regional NE-SW (preferencial) e NW-SE existente na RMF, seguindo-se o *trend* preferencial das extrutura geológica da região, segundo Braga et al (1977). O trecho principal se configura desde as proximidades da CE-040 até a sua foz na Prainha, passando pelos terrenos de Tabuleiros pré- litorâneos e pelos Depósitos Eólicos Dunares, além da presença física da lagoa do Catu, conforme as feições físicas mostradas na Figura 7.

No cenário da realidade hídrica atual, o Sistema Catu (rio e lagoa) é considerado como uma drenagem e reservatório de grande importância para a área de estudo, já que, por ser hidrologicamente ligada ao açude Catu Cinzento, situado a montante, assume um

relevante papel no abastecimento público de localidades que são beneficiadas de várias formas de uso. Nesse sentido, reconhece-se a destacada função da lagoa dentro da Bacia Hidrográfica do rio Catu, que nasce no município de Horizonte, a aproximadamente 30km do litoral, e desemboca no oceano na localidade da Prainha.

Além do rio Catu, o cenário hidrológico é complementado por algumas pequenas lagoas espalhadas na região de pesquisa, que possuem áreas de formatos diversos e são consideradas essenciais na utilização do abastecimento doméstico e agrícola. Estão localizadas em terrenos da Formação Barreiras e associadas aos depósitos dunares, sendo este último ambiente caracterizado pelo surgimento de lagoas interdunares, cuja formação é decorrente da obstrução de cursos de águas que são às vezes barrados pelas dunas móveis, impedindo-os de atingirem o mar. Algumas lagoas formadas nas referidas condições apresentam evidências de interligação com aquíferos livres que exercem influências nas suas recargas.

Figura 7 - Aspectos hidrográficos da área, notando-se em destaque, a lagoa do Catu



Fonte: IPECE 2003

Os corpos de águas são considerados pequenos, mais importantes reservatórios de águas superficiais da região estudada e do município, pois mesmo em período de intensa estiagem eles se mantêm com volumes suficientes para atender as demandas exigidas. A lagoa do Catu caracteriza o melhor exemplo nesse sentido, sendo alimentada parcial e sazonalmente pelo rio homônimo. A lagoa apresenta um direcionamento leste-oeste (sentido do riacho) e a parte mais larga de sua bacia fica situada nas proximidades da Prainha, onde se localiza o corpo de duna que funciona como aquífero influente, ficando em contato direto com a lagoa (Foto 2).

Foto 2 – Visão da lagoa do Catu, mostrando o contato da parte mais larga (no setor jusante) da lagoa com o Sistema Dunas (ao fundo) de onde recebe recarga. Coord.:956122/570434



Fonte: Autor (dez/2011)

5.4 Cobertura vegetal

As feições da cobertura vegetal de uma região revelam os efeitos e o comportamento dos elementos naturais que compõem o ambiente, através da interação entre o clima e os fatores do meio físico, além da interferência antrópica que muito tem contribuído para promover mudanças na composição da flora existente. Nesse sentido, as características da vegetação da área de estudo estão relacionadas à constituição dos fatores ambientais envolvidos, principalmente em relação ao litoral.

Segundo Figueiredo (1997) e Brandão et al (1995), as condições climáticas, as feições topográficas da planície litorânea, dunas e tabuleiros, reunidos aos tipos de solos, determinam, sob a influência do nível da água subterrânea, o tipo de vegetação que ocorre nestas áreas. Com base na combinação desses fatores foram determinadas várias unidades da cobertura vegetal da região litorânea, sendo a área de estudo representada basicamente pelas espécies do Complexo Vegetal da Zona Litorânea e pela Vegetação de Dunas.

O Complexo Vegetal da Zona Litorânea ocorre em terrenos planos da zona pré-litorânea, Tabuleiros pertencente ao domínio da Formação Barreiras. Tais terrenos possuem diferenciação na percolação de água subterrânea em função das variações granulométricas existentes (fácies argilosos arenosos), fato que determina o tipo de cobertura vegetal presente.

Sobre os referidos locais de tabuleiros situados mais para o interior, em setores onde a Formação Barreiras possui fácies mais arenosos, ocorrem os tipos vegetais que são identificados pela associação de Caatinga e Cerrado. Este último forma manchas alternadas com outras espécies vegetais de sua zona de ocorrência, estando representado por várias espécies, tais como sambaíba (*Curatela americana*), pau-terra (*Guaea paviflora*), paud'arco roxo (*Tabebuia Avelanadae*), frejó (*Cordia trichotoma*), carrapicho-de-cavalo (*Krameria tomentosa*) e barbatimão (*Stryphnodendron coriaceum*), dentre outras.

A vegetação de Caatinga ocorre na mesma zona de tabuleiros e está relacionada às espécies de substituição, após a ocorrência de sucessivos desmatamentos. Suas principais espécies são: jurema (*Mimosa*), catingueira (*Caesalpinia*), camará (*Lantana camará*) e imburana-vermelha (*Bursera lappaceos*). A Foto 3 caracteriza a feição típica da vegetação dessa zona.

Foto 3 – Aspectos da vegetação da zona de tabuleiro, próximo ao litoral, mostrando o efeito da ação antrópica, pela presença de trechos desmatados. Coord.: 9569098/570198



Fonte: Autor (Nov/ 2011)

Conforme Figueiredo (1997), a vegetação pioneira correspondente aos campos de dunas exerce um importante papel como agente fixador, impedido a ação eólica sobre as dunas recentes que se encontram em estágio de estabilização. A composição das espécies vegetais que cobrem essas dunas são representadas por salsa (*Ipomoea pes-caprae*), oró (*Phaseolus ponderatus*), bredinho-da-praia (*Iresine portulacoides*) capim-barba-de-bode (*Sporobolus virginicus*), cipó-da-praia (*Reminea marítima*) e beldroega-da-praia (*Sesuvium portulacastrum*).

As dunas edafizadas mais antigas estão situadas à retaguarda das dunas móveis e apresentam coberturas vegetais arbórea, identificadas pelas seguintes espécies: João-mole (*Psonia tomentosa*), jucá (*Caesalpinia ferrea*), pau d'arco roxo (*Tabebuia avellanede*), tatajuba (*Chloroflora tinctoria*) e cajueiro (*Anacardium occidentale*).

Finalmente, um diminuto setor topograficamente rebaixado no canto noroeste da área, se mostra com característica típicas de um pequeno estuário e faz parte da foz do riacho Pacoti, correspondendo a última unidade da sequência vegetacional da área pesquisada, onde se presencia evidência incipiente de mangue com vegetação halófilas típica de terrenos litorâneos baixos, sujeitos à ação de maré.

5.5 Solos

A classificação geral dos tipos de solos da área de pesquisa está fundamentada nas informações e divisões atuais empregadas pela EMBRAPA (1999), dentro da seguinte classificação: Neossolos Quartzarênicos, Planossolos Nátricos e Argissolos Vermelhos Amarelos. Nesse sentido, as referidas classes de solos são caracterizadas e definidas de acordo com as suas respectivas ocorrências nos setores espaciais, apresentando seus aspectos pedológicos, relacionados às condições ambientais responsáveis pela sua formação.

Os Neossolos Quartzarênicos são divididos em distróficos e marinhos, distribuídos em terrenos que podem receber influências do mar e do continente. Os primeiros são distribuídos nos terrenos pré-litorâneos, sendo que suas areias foram desenvolvidas a partir do retrabalhamento dos sedimentos da Formação Barreiras e, por vezes, estão associadas às areias marinhas. O segundo tipo está situado na planície litorânea, na faixa costeira compreendida pelos campos de dunas, constituindo uma estreita área que acompanha paralelamente a linha de costa e às vezes interrompida por rios e/ou canal.

Os Planossolos Nátricos representam os solos indiscriminados de mangues, possuindo cobertura vegetal típica e são formados sob condições de excesso de água do mar. Na área de estudo, ocorrem nas proximidades da desembocadura do rio Pacoti e na foz ou estuário do riacho Catu.

Os Argissolos Vermelhos e Amarelos são solos que se apresentam com uma ocupação espacial predominante na área, abrangendo aproximadamente 75% da região pesquisada, estando os mesmos relacionados com os terrenos da Formação Barreiras. São formados por argilas medianamente profunda e de baixa atividade.

5.6 Aspectos geomorfológicos

Levando-se em conta a compartimentação topográfica do relevo da RMF, a área pesquisada é basicamente envolvida por duas unidades morfológicas representadas por Glacis Pré-litorâneo e Planície Litorânea, sendo as primeiras constituídas pelos Tabuleiros pré-Litorâneos e Planície Fluvial, enquanto a segunda é formada por Campos de Dunas e Planície Flúvio-Marinhas.

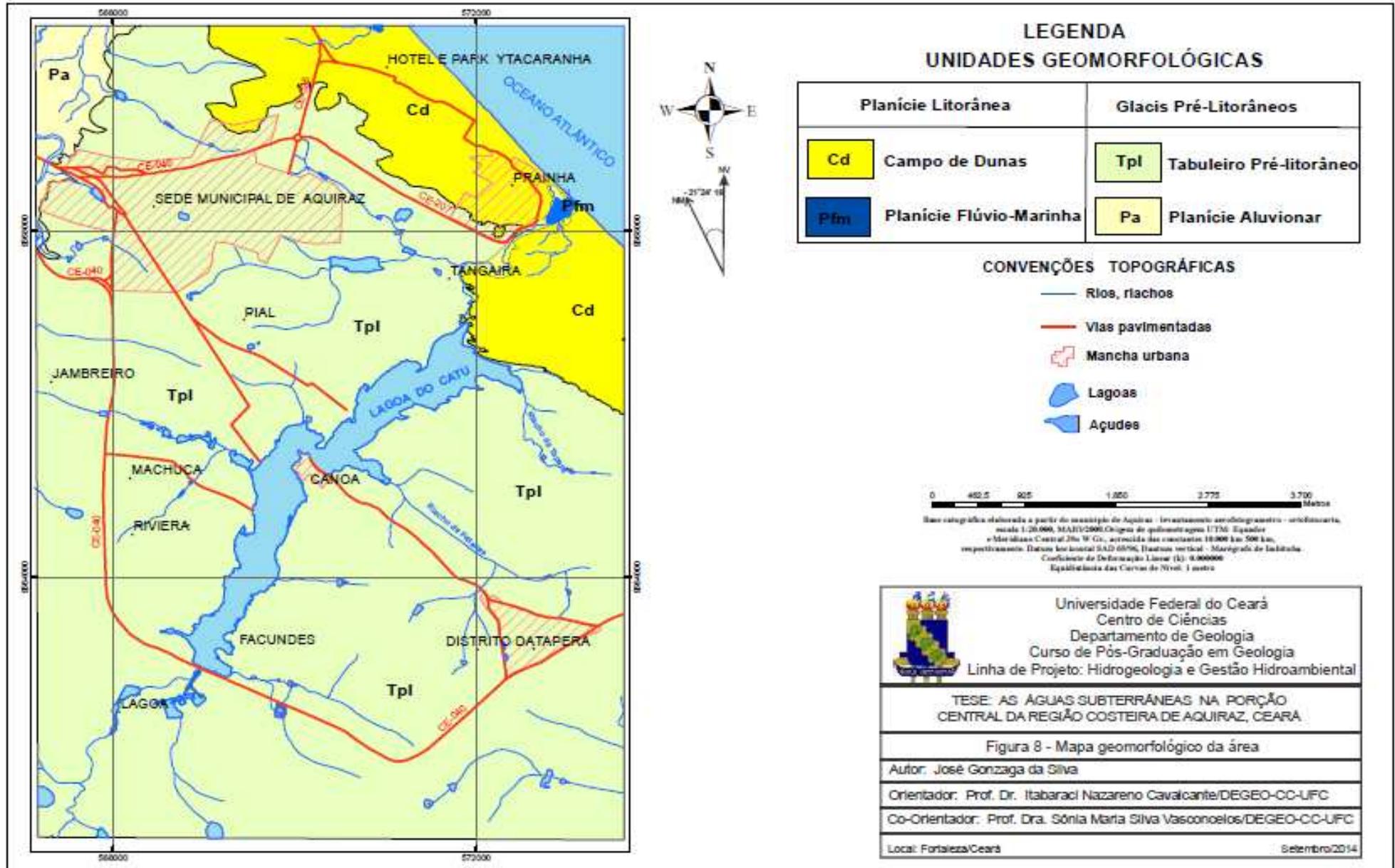
Segundo Sousa (1995), essas unidades são constituídas por formas de acumulação da planície litorânea, representadas pelos depósitos eólicos e por formas dissecadas ou de degradação, identificadas pelas rochas sedimentares da Formação Barreiras. Conforme o autor, a diferenciação entre essas unidades está fundamentada em alguns fatores básicos, tais

como: estruturas geológicas, tipos de relevo, variação litológica e posicionamento altimétrico, além das características do solo e da vegetação. Esses fatores são responsáveis pela compartimentação morfológica que envolve a área, conforme está caracterizado no mapa geomorfológico (Figura 8).

O Glacís pré-Litorâneo (destacado na área como Tabuleiros) representa a unidade de agradação mais típica da RMF e se constitui como a de maior abrangência na área de estudo, vindo a ser recoberto pelos sedimentos dunares no seu setor NW. Compreende uma estrutura de deposição e se inicia de modo gradativo, do interior para o litoral, apresentando altitude que varia entre 30 a 40 metros (Ribeiro, 2001). É formado por sedimentos plio-pleistocênico pertencentes à Formação Barreiras e se distribuem como uma faixa de largura variável de 3 a 6km, posicionada por trás dos depósitos eólicos antigos e atuais.

A Planície Litorânea está compreendida pelos campos de dunas, praias e planícies fluvio-marinhas. As dunas são formadas por cordões contínuos e paralelos a linha de costa, que algumas vezes são interrompidos pela interferência de planícies aluviais e flúvio-marinhas que cortam a sequência dunar. Tal fato ocorre no setor noroeste da área de pesquisa, mais precisamente na localidade da Prainha, onde se presencia as feições dos terrenos de dunas, associados a uma pequena evidência flúvio-marinha no riacho Catu.

Figura 8- mana geomorfológico da área



Fonte: CPRM (2003)

No contexto da Planície Litorânea que envolve a área observa-se o campo de dunas, composto por dunas móveis ou recentes ou, paleodunas, estas representadas por antigas acumulações eólicas, rebaixadas e situadas à retaguarda das dunas móveis. Estas caracterizadas normalmente pela ausência de vegetação e ocorrendo mais próxima à linha de costa, onde a dinâmica eólica é mais intensa. As paleodunas de geração mais antiga apresentam o desenvolvimento de processos pedogenéticos, resultando no surgimento de vegetação fixadora de maior porte.

De acordo com Brandão (1995), os campos de dunas são responsáveis pelo impedimento de alguns cursos de água. Nesse sentido, muitos rios e riachos são barrados pelas dunas móveis e tem suas embocaduras obstruídas, originando, conseqüentemente, uma série de lagoas costeiras, como é o caso da lagoa do Catu, situada no centro leste da área e que constitui um exemplo típico dessa situação.

Em termos altimétricos, a morfologia das dunas é bem destacada na paisagem em relação às feições morfológicas dos Tabuleiros Pré-Litorâneos, conforme mostra a Foto 3, que enfatiza a mudança na forma de relevo dessa unidade eólica.

Considerando-se o aspecto morfológico complementar, acrescenta-se que o ambiente de praia está incluído dentro do contexto da unidade dos campos de dunas e representa depósitos contínuos e alongados, paralelos à linha de costa em trecho compreendido entre a linha média de maré baixa e a base das dunas móveis.

Nesse cenário, observa-se que os Glacís Pré-litorâneos constituem a compartimentação geomorfológica mais abrangente da área e que deve apresentar uma significativa relação física com as condições hidrogeológicas nos aspectos da recarga e descarga do Sistema Aquífero Barreiras. De acordo com Ribeiro (2001), os referidos tabuleiros exibem morfologia típica de rampa, com declividade inferior a 5° e vai se aplainando à medida que se aproxima da costa.

Foto 4 – Relevo típico de campos de dunas nas adjacências da localidade da Prainha-Aquiraz. Coord.: 9569914/570696.



Fonte: Autor (set/ 2011)

5.7 Aspectos geológicos

As considerações geológicas que envolvem os contextos regional e local da área estão relacionadas a caracterização geoestratigráfica e litológica do ambiente físico pesquisado.

5.7.1 Enfoque regional

Do ponto de vista regional, a área está inserida no contexto geológico da RMF e estruturalmente dentro da Faixa de Dobramento Jaguaribeano, conforme BritoNeves (1975). De uma forma geral, a litoestratigrafia regional é constituída por rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino e pelos litótipos cenozóicos que repousam discordantemente sobre este embasamento, caracterizados na Tabela 2.

De acordo com o que está exposto, a Tabela 2 reúne de forma sintética a constituição geológica regional que abrange o contexto físico espacial da RMF, e é especificamente representada por rochas sedimentares.

Tabela 3 - Síntese geológica regional relacionada à área de estudo

		UNIDADES GEOLÓGICAS		DESCRIÇÃO
		CENOZÓICO	Quaternário	Qa
Qd	Depósitos eólicos recentes (dunas)			Areias esbranquiçadas de granulação fina a média, bem selecionadas, quartzosas, com grãos de quartzo foscos e arredondados, muitas vezes encerrando níveis de minerais pesados.
Qpd	Depósitos eólicos antigos (paleodunas)			Areias de coloração amarelada e acinzentada de granulação fina a média, por vezes siltosas, bem selecionadas de composição quartzosa ou quartzo-feldspática.
Terciário	TQc		Coberturas Colúvio-Eluviais	Sedimentos areno-silto-argilosos, alaranjados e/ou avermelhados, de granulação fina a média, ocasionalmente mais grosseira, com horizontes laterizados na base.
	Tb		Formação Barreiras	Sedimentos areno-argilosos de coloração avermelhada, creme ou amarelada, freqüentemente de aspecto mosqueado, mal selecionados, com níveis conglomeráticos e matriz argilosa caulinitica com cimento argilo-ferruginoso e, às vezes, silicoso.
	Tλ		Rochas Alcalinas	Fonólitos, Traquitos e Tufos
PROTEROZÓICO	Inferior	Pε gn-mg	Complexo Gnáissico-Migmático	Biotita-gnaisses, para e ortoderivados, com anfibólio, granada e silimanita, parcial ou totalmente migmatizados. Intercalações de lentes calcárias e de muscovita-quartzitos.

Fonte: Modificado de BRANDÃO *et al*, 1995.

5.7.1.1 Embasamento Proterozóico Inferior

Esta unidade está basicamente representada pelo Complexo Gnáissico-Migmatítico que se posiciona estratigráficamente no Proterozóico Inferior, ocupando a distribuição na RMF. É constituído de gnaisses aluminosos, em parte migmatizados e frequentemente intercalados por níveis quartzíticos e carbonáticos. Segundo Brandão *et. al* (1995), os tipos migmatíticos mais comuns formam estruturas bandadas/dobradas e ocorrem sempre associados às demais rochas dessa unidade.

5.7.1.2 Rochas Cenozóicas Terciárias

Esse segmento estratigráfico é predominantemente marcado por rochas da Formação Barreiras, na RMF e particularmente na faixa costeira, posicionando-se à retaguarda dos sedimentos eólicos. Trata-se de uma formação que acompanha a linha de costa e apresenta largura variável, chegando a penetrar até 30 km em direção ao interior (Brandão *et al.*, 1995). É litologicamente formada por sedimentos areno-argilosos com horizontes conglomeráticos e lateríticos que estão sempre associados a percolação de água subterrânea. Segundo Braga *et al.* (1981), a Formação Barreiras se apresenta com espessura bastante variável, tendo em vista seu relacionamento com a superfície irregular do embasamento cristalino, aumentando em direção à linha de costa. Nesse contexto, informações relatadas por Ribeiro (2001) e Silva (2000) mostram que essa espessura raramente ultrapassa 50 metros.

As Coberturas Colúvio-Eluviais distribuem-se de forma irregular na região e se assentam diretamente sobre os terrenos cristalinos e são resultante do intemperismo *in situ*, possuindo certo deslocamento gravitacional. São formados a partir de profunda decomposição e lixiviação das rochas do embasamento cristalino, sendo caracterizada por um material areno-argiloso, alaranjado, de granulação fina a média.

Nesse mesmo contexto estratigráfico, as rochas alcalinas afloram associadas à topografia regional através das presenças de necks e diques que se sobressaem destacadamente em meio aos terrenos da RMF. De acordo com Brandão *et al.* (1995), tais feições estão associados geneticamente ao vulcanismo terciário do Arquipélago de Fernando de Noronha. Em termos litológicos, Braga *et al.* (1981) afirmam serem essas rochas predominantemente classificados como fonólitos, traquitos e tufos, mostrando coloração cinza-esverdeada com pórfiros milimétricos de feldspatos em uma matriz afanítica. Sua ocorrência se dá em vários pontos da RMF, com destaque para o serrote Caruru, existente nas adjacências da área de pesquisa, na proximidade da localidade de Porto das Dunas.

5.7.1.3 Rochas Cenozóicas Quaternárias

Na sequência dos sedimentos quaternários para a área de estudo são consideradas as Paleodunas como parte dos sedimentos costeiros de origem eólicas, que são constituídas de areias quartzosas e quartzo-feldspática ou, as vezes, siltosas, com tons acinzentados e alaranjados. Trata-se de uma geração de dunas mais antigas cujo desenvolvimento resultou no surgimento de processo pedogenético, ocasionando, conseqüentemente a fixação de um

revestimento vegetal. Essas feições se encontram depositadas à retaguarda das dunas móveis e fixas e sobre os sedimentos da Formação Barreiras, com a qual a textura chega a se confundir.

No contexto da dinâmica dos sedimentos eólicos costeiros, as dunas móveis são geradas num caráter mais recentes e são formadas pela acumulação dos sedimentos removidos da face de praia e distribui-se como um cordão contínuo que ocorre paralelamente à linha de costa. Segundo Brandão *et al.* (1995), esses depósitos eólicos ocorrem capeando as gerações mais antigas, embora em alguns pontos estejam posicionadas diretamente sobre os sedimentos terciários da Formação Barreiras. Caracterizam-se pela ausência de vegetação ou pela fixação de um revestimento pioneiro, o qual diminui o efeito da dinâmica eólica, que impede a migração dessas dunas.

Nesse mesmo cenário, os sedimentos flúvio-aluvionares e de mangues constituem, finalmente, o último segmento da sequência litológica estratigráfica na área. São sedimentos quaternários constituídos por areias, cascalho, silte e argilas, com ou sem matéria orgânica, compreendendo os sedimentos fluviais lacustre ou estuarinos recentes. O material depositados pelos rios e riachos são mais representativos e se caracterizam pela formação de areias finas, siltes e argilas, enquanto que nas lagoas costeiras e interiores são depositados sedimentos pelíticos e matéria orgânica. Nos ambientes estuarinos ou de planície flúvio-marinhas formam-se depósitos silticos argilosos, ricos em matéria orgânica.

5.7.1.4 Aspectos estruturais

As feições estruturais da região tiveram sua origem no Pré Cambriano, com passagens interrompidas durante o Paleozóico e Mesozóico, gerando os elementos mais proeminentes, os quais estão representados por falhas e fraturas, cujos principais traços dispõem-se segundo o *trend* preferencial NE-SW e, secundariamente, NW-SE (BRAGA *et al.*, 1981).

De acordo com Ribeiro (2001), as unidades basais foram desenvolvidas sob regime de médio e alto grau metamórficos, exibindo diferentes fases de dobramentos, produzindo estruturas sinformes e antiformes, de geometria simétrica e assimétrica, além do aparecimento de diques ácidos que ocorrem preenchendo algumas estruturas influenciadas pela matriz tectono-estrutural modelada no final do Brasileiro.

Além dos eventos abordados, as características estruturais da RMF são marcados por vários estágios de atividades neotectônicas vinculados a reativação de lineamentos

presentes no continente, envolvendo a zona costeira e o magmatismo alcalino presente (BRANCO, 2003). Dentro desse contexto, a autora faz referência a morfologia da zona costeira leste do Ceará como sendo um setor caracterizado por ações de movimentos neotectônicos ocorridos no Mesoterciário, os quais exerceram um intenso controle em vários segmentos geoambientais, afetando a geologia, geomorfologia, hidrogeologia e na sedimentação quaternária da região costeira que envolve a área de pesquisa.

Esses efeitos neotectônicos evidenciam também a influência no quadro estrutural da zona costeira, tendo como resultado o surgimento de promotórios rochosos e o controle da deposição costeira e variações nas espessuras atuais dos sedimentos da Formação Barreiras ao ponto de provocar implicações diretas no potencial dos sistema aquífero dessa formação, considerando que nas calhas tectônicas ocorram maiores preservação das espessuras saturadas. O magmatismo alcalino terciário constitui outra forma das manifestações neotectônicas, quando do surgimento de plugs e neck vulcânicos no espaço da RMF. Tal fato, segundo Braga *et al.* (1981), correspondem ao prolongamento de zonas de fraturas oceânicas de direção E-W, que se estende da ilha de Fernando de Noronha à RMF.

5.7.2 Geologia local

As considerações definidas para a geologia local estão basicamente fundamentadas dentro do contexto apresentado na geologia regional, envolvendo o espaço da RMF, com ênfase para os litótipos mais próximos da área de pesquisa localizada na faixa costeira do município de Aquiraz. Numa ótica composicional e hidrogeológica do espaço investigado, a constituição litológica se encontra representada por rochas sedimentares terciárias e quaternárias que se sobrepõem ao embasamento pré-cambriano (não aflorante). Nesse contexto, as rochas cristalinas são totalmente sotopostas às coberturas sedimentares cenozóicas, formadas pelos sedimentos da Formação Barreiras e pelos terrenos litorâneos dunares, seguidos também por pequenas manchas aluvionares e de mangues nos extremos noroeste e nordeste da área, respectivamente.

No cenário da geologia local, o referido embasamento assume a mesma situação de irregularidade já descrita por Braga *et al.* (op.cit.), influenciando na variação da espessura sedimentar da Formação Barreiras que o sobrepõe. A profundidade em que o mesmo é atingido em alguns locais da área depende do ponto onde determinado poço está localizado,

fato esse que está provavelmente relacionado a sua irregularidade topográfica e estrutural, segundo já foi abordado na geologia regional.

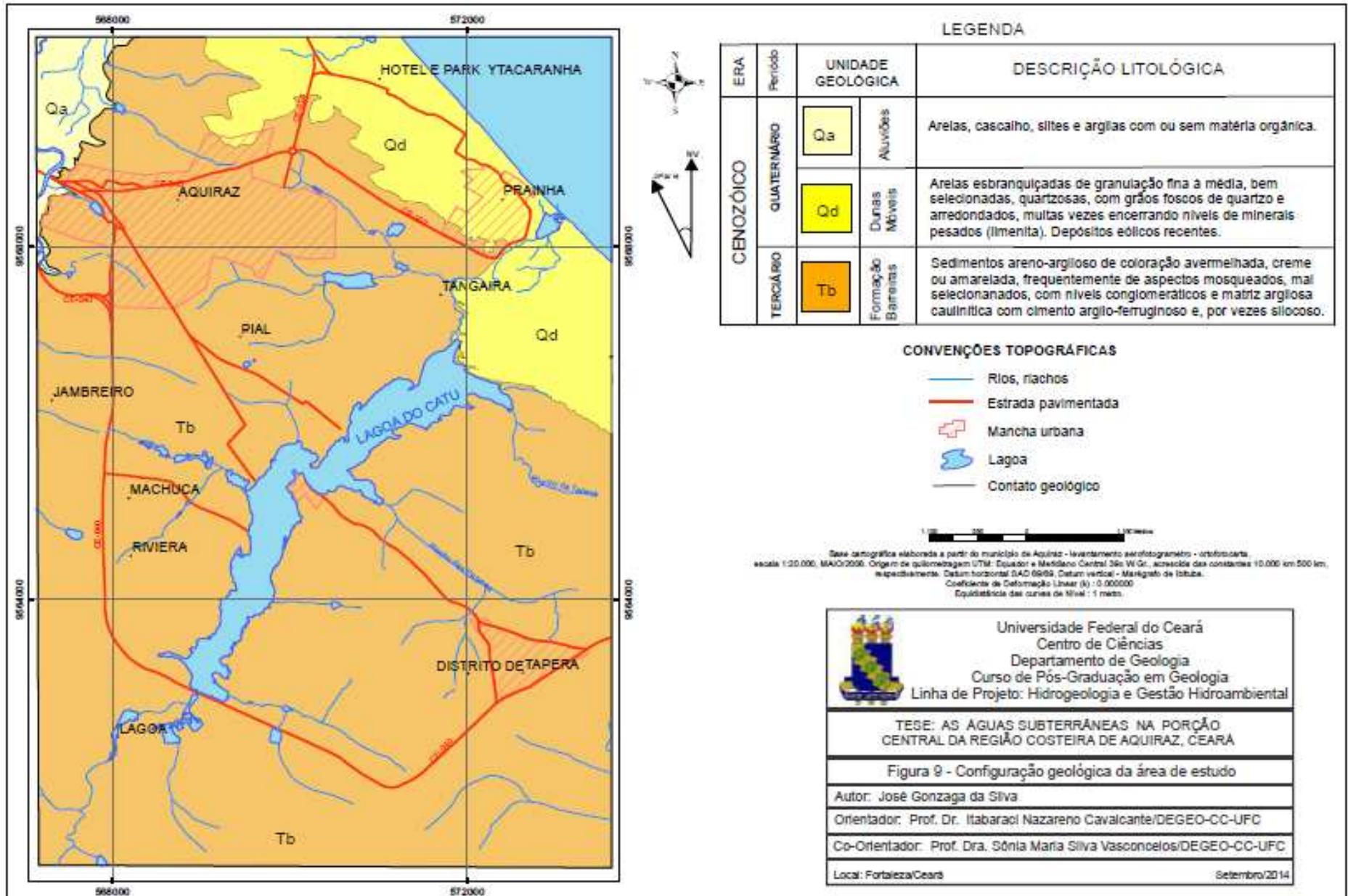
Conforme mostra o mapa geológico da Figura 9, os sedimentos terciários da Formação Barreiras ocupam 83% da área de pesquisa e se distribuem como uma faixa aproximadamente paralela à linha de costa, com largura variável entre 4,5 a 7 km nos limite da área.

Litologicamente, os sedimentos da Formação Barreiras são constituídos por terrenos areno-argilosas, pouco litificados, de coloração avermelhada, creme ou amarelada, com granulação variando de fina a média, contendo intercalações de níveis conglomeráticos. Segundo Braga et al. (1981), na porção onde domina a granulação fina a média pode ser encontrado horizontes mais argilosos com concentrações de óxidos de ferro, crosta de laterização ou, ainda, seixos imaturos flutuantes na matriz. De acordo com as literaturas pesquisadas os horizontes lateríticos não têm cotas definidas, mas comumente estão associados aos níveis de percolação das águas subterrâneas.

Seguindo a sequência lito-estratigráfica da área, as Paleodunas estão depositadas discordantemente sobre a Formação Barreiras e representam as dunas mais antigas, que ficam situadas numa cota mais baixa e a retaguarda em relação as dunas recentes. É distribuída de forma mais ou menos contínua por toda a faixa costeira, e apresentando certa exposição na localidade da Prainha, porção nordeste da área de pesquisa.

Em termos litológicos, as Paleodunas na área mantêm a mesma performance antes definida para geologia regional, se posicionando de forma incipiente à retaguarda das dunas móveis, onde se nivela topograficamente com os sedimentos da Formação Barreiras adjacentes, sem que assuma uma condição mapeável de destaque.

Figura 9 – Configuração geológica da área de estudo



Fonte: CPRM (2003)

As Dunas Móveis, ou recentes (Quaternárias), representam uma unidade constituída por sedimentos inconsolidados, removidos da superfície da praia, formando acumulações dunares que se distribuem em forma de um cordão contínuo, disposto paralelamente à linha de costa. Esses depósitos estão situados em toda faixa costeira da área de estudo, só sendo interrompido pela presença de planícies fluviais e flúvio- marinhas, caracterizadas na área, através de setor parcial da planície e da foz do rio Catu.

Essas dunas são litologicamente caracterizadas por areias esbranquiçadas, bem selecionadas, de granulação fina a média, quartzosa, com grãos arredondados foscos de quartzo, contendo muitas vezes níveis de minerais pesados, sobretudo ilmenita. São caracterizadas pela ausência de vegetação e pela presença de um revestimento vegetal pioneiro que contribui para atenuar o efeito da dinâmica eólica.

Incluídos no contexto estratigráfico das dunas móveis, as praias recentes (Qd) são constituídas por sedimentos predominantemente arenosos, depositados ao longo da costa, numa faixa que compreende desde a linha de maré baixa até a base das dunas móveis. Esses depósitos formam acumulações de areias de granulação média a grossa, ocasionalmente cascalho, com restos de conchas e minerais pesados.

Os depósitos flúvio-aluvionares e de mangues representam sedimentos de natureza quaternária (Qa) e são formados por sedimentos fluviais, lacustres ou estuarinos recentes, representados basicamente por areias, cascalho, siltes e argilas, com ou sem matéria orgânica. Nos terrenos onde existem coberturas sedimentares, as planícies de inundação são sempre caracterizadas pelas presenças de material de granulação mais fina, os quais formam depósitos possantes, decorrentes dos sedimentos erodidos da Formação Barreiras e das dunas, resultando no acúmulo de areias finas, siltes e argila.

Na área de estudo, o acúmulo desses sedimentos pode ser presenciado através de material siltico-argiloso e orgânico que ocorre nas margens do rio Pacoti e partes do riacho Catu. Sua abrangência ao longo do referido rio, ocorre até os limites de influência do mar em direção ao continente, propiciando a formação de um ambiente representado por vegetação mista.

6 CONDIÇÕES DE ABASTECIMENTO HÍDRICO

As formas de abastecimento da área de pesquisa estão relacionadas às condições dos recursos hídricos existentes no município, envolvendo as águas superficiais e subterrâneas, sendo que os recursos subterrâneos assumem uma posição complementar apenas na região central da sede municipal. As características climáticas favoráveis as boas precipitações chuvosas da zona costeira, bem como os aspectos geológicos e ambientais contribuem para que haja alternativa de abastecimento através da lagoa do Catu e dos Sistemas Aquíferos Dunas e Barreiras.

6.1 Água superficial

De acordo com informações prestadas pela Prefeitura Municipal de Aquiraz, a água superficial representa a principal forma de abastecimento urbano para sede do município, através do fornecimento operado pela CAGECE, órgão estadual, responsável pelo abastecimento e saneamento básico do estado. A distribuição da água é realizada a partir da sua captação na lagoa do Catu, que é o principal corpo de água superficial, que se estende desde a CE-040 até as proximidades da localidade da Prainha (Figura 9).

Destaca-se, entretanto, que o abastecimento ocorre de forma segmentada de operação, sendo uma parte da água direcionada para a sede municipal e Prainha e outra captação canalizada para a localidade do Distrito da Tapera, onde existe outra estação de tratamento com reservatório elevado de distribuição. Para esse fim e segundo Gomes (2003), a lagoa possui um volume aproximado de 8.954.000 m³ de água, quantidade suficiente para atender a demanda atual imposta pelos principais órgãos consumidores.

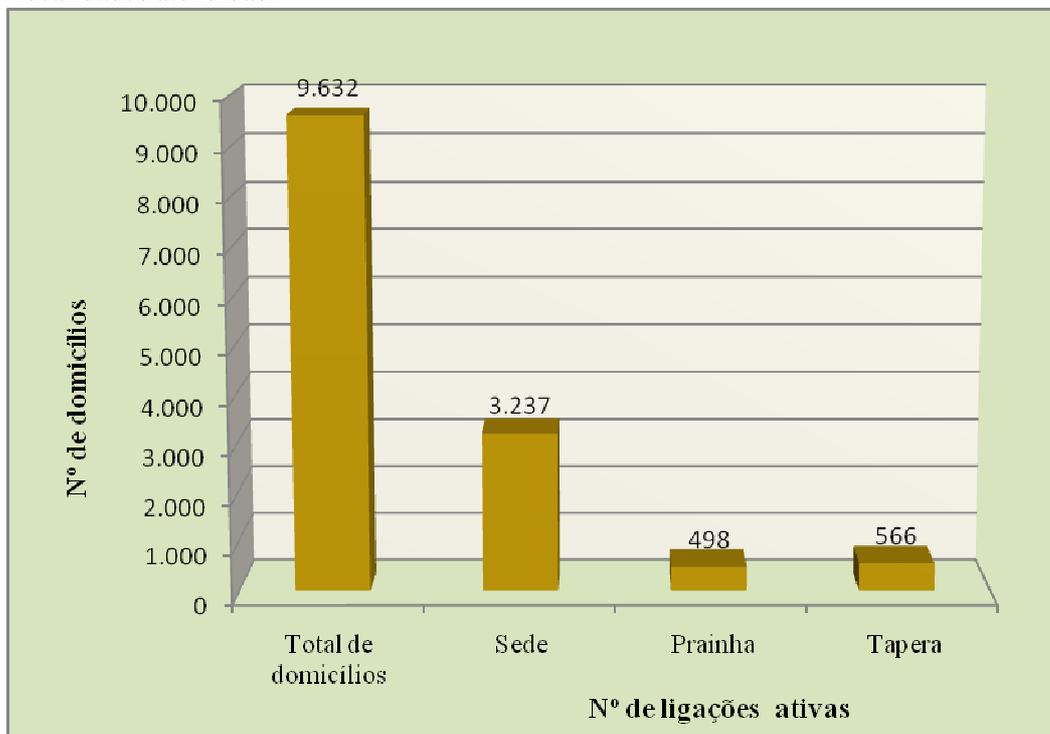
Informações oficiais apresentadas pela CAGECE (2012) dão conta de que existem 3.735 ligações ativas de água instaladas na rede de abastecimento que envolve a sede municipal e a região da Prainha, sendo que a sede possui 7.048 domicílios ocupados, segundo dados do IBGE (2010). Para atender a demanda da sede e da Prainha, a CAGECE está bombeando uma média diária de 1.955m³, durante um período de 14 horas/dia, resultando em uma vazão horária de 139,6m³.

O Distrito da Tapera, por ter menor ocupação urbana (2.584 domicílios ocupados), possui aproximadamente 566 ligações ativas e realiza uma captação média diária da lagoa de 237m³, durante um tempo de 9 horas/dia, implicando numa vazão horária de 23,3m³/h. Os dados da CAGECE (2012) são contextualizado na Figura 10, mostrando a

distribuição das ligações de abastecimento por esse órgão nos principais segmentos residenciais da área de pesquisa, além de sua relação com os domicílios relacionados as ligações ativas instaladas, totalizando 4.301 ligações nas referidas localidades abastecidas.

No contexto geral de abastecimento por água superficial, além dos dados fornecidos pela CAGECE existem também as outorga liberadas pela COGERH (2012) para exploração de 2.935.600 m³/ano para suprir vários empreendimentos da área. Nesse sentido, o volume total de água bombeada da lagoa por esses órgãos atinge a medição anual de 3.735.760,0 m³/ano, o que corresponde a um valor diário de 10.234m³/dia bombeado da lagoa do Catu.

Fig. 10 – Aspectos da distribuição das ligações ativas de água feitas pela CAGECE nas localidades atendidas.



Fontes: CAGECE, 2011 (ligações ativas) e IBGE, 2010 (total de domicílios)

O processo de abastecimento executado pela CAGECE ocorre através do bombeamento na lagoa do Catu, sendo em seguida feita a adução da água para a estação de tratamento (ETA) em Aquiraz, onde a água passa por tratamentos químico e biológico adequados às normas da Portaria 2.914/2011-MS, tornando-a em condições de uso, sendo posteriormente efetuada a distribuição para a população da sede e setor da Prainha. A Foto 5 mostra aspectos dos reservatórios de tratamento e armazenamento de água da referida estação

na zona periférica da cidade de Aquiraz, observando-se no destaque da foto 5B, o reservatório elevado, que possui capacidade para 300m³.

Foto 5 – (A) Filtros da ETA (Estação de Tratamento e Distribuição de Água) da CAGECE na sede Aquiraz; (B) Reservatório de água tratada para distribuição. Coordenadas (0568917; 9567936)



Fonte: Autor (Nov/ 2011)

Através dos dados da CAGECE (2012) e IBGE (2010) é possível se mostrar, ainda uma relação de números populacionais/consumo, utilizando-se a taxa percapta de consumo diário estimada pela CAGECE (140L/habitante) e os valores populacionais para os dois últimos censos (2000 e 2010). Nesse sentido, pode-se mostrar que o aumento da população gerou, conseqüentemente, um aumento de consumo de água na área, conforme esquematizado na Tabela 4, fatos que podem gerar situações essenciais para um quadro de avaliação de consumo em relação a períodos futuros.

Tabela 4 - Comparação de consumo pela população da área de estudo, entre 2000 e 2010 (adaptado de dados da CAGECE (2011) e IBGE (2010)

Localidades	POPULAÇÃO (hab.)			CONSUMO (m3/dia)			Dados complementares	
	2000	2010	Aumento população	2000	2010	Aumento consumo	Taxa per/capta (L/dia)	Valor percentual
Sede Municipal e Prainha	20.085	25.377	5.292	2.811,9	3.552,78	740,88	140	26,34%
Distrito da Tapera	6.666	8.835	2.169	933,24	1.236,9	303,66	140	32,5%

6.2 Água subterrânea

A situação de abastecimento da área por água subterrânea se dá normalmente através da captação de água por poços tubulares e escavados dos principais sistemas aquífero e se apresentam com valores diferenciados de produção dependendo, principalmente, das características hidrogeológicas e da necessidade de consumo de cada localidade. Cabe destacar que em toda a área, inclusive na zona urbana, se observa as presenças de diversos tipos de poços utilizados, sobretudo para uso doméstico, seja em caráter complementar ou principal, mostrando a necessidade de uso da água subterrânea como opção de abastecimento.

Ressalta-se, entretanto, que diferentemente da água superficial, a captação da água subterrânea é realizada através de poços tubulares e escavados que existem em vários pontos da área, sem interferência de órgão específico de abastecimento de água, a exemplo da CAGECE. A forma de captação de água desses poços ocorre pelo sistema comum de bombeamento, utilizando-se bombas injetoras, submersas e até processos manuais de extração da água, dependendo do tipo de poço em relação a profundidade, a vazão e a maneira como foi construído.

Nesse sentido, foram constatados poços particulares e públicos em todas as localidades da área, sendo que os públicos estão restritos normalmente aos chafarizes e colégios públicos, onde existem poços tubulares com profundidades variando entre 40 e 50 metros e vazão média de $3\text{m}^3/\text{h}$ (segundo dados do cadastro) (Apêndice A). A Foto 6 mostra um exemplo de uso doméstico da água subterrânea através de um poço tubular em um chafariz público da Prainha, além de um poço escavado (Foto 7) com a mesma finalidade, existente nas proximidades da lagoa do Catu. Esses poços são de fundamental importância para as comunidades que os utilizam em diversas partes da área estudada, já que o abastecimento público por água superficial não está disponível de uma forma plena de abrangência e qualidade.

Considerando-se a água subterrânea da área em relação as condições potenciais de abastecimento, o Sistema Aquífero Dunas mostra-se como o que possui elementos hidrogeológicos mais favoráveis para suprir as demandas da população dentro das suas necessidades de consumo, tendo em vista apresentar melhores condições de porosidade e permeabilidade.

Cabe salientar que as populações das localidades mais afastadas da sede priorizam o uso da água subterrânea por considerarem de melhor qualidade e mais agradável ao sabor,

diferente da água superficial fornecida pela CAGECE, que dentre outros processos, passa por um intenso tratamento à base de cloro, tornado-a muito inconveniente ao paladar. As presenças de vários tipos de poços em chácaras, sítios e casas de campo, revelam a preferência e uso das populações pela água subterrânea nessas partes do município de Aquiraz. e que tem esse recurso como uma importante opção no abastecimento doméstico e em outras finalidades de seu uso.

É importante ressaltar nesse contexto a utilização da água subterrânea em setores industriais, onde existem várias formas de aproveitamento, seja para fins domésticos, ou para lavagens de equipamentos e outras atividades essenciais ao desenvolvimento da indústria. É o caso, por exemplo, da USIBRAS, usina de processamento de castanha de caju, que além da água superficial, utiliza também a água subterrânea, diariamente em várias formas de aproveitamento, tais como, uso potável, lavagem de equipamentos e armazenamento dessa água em tanques específicos para ser empregada em processos de transformação de resíduos da castanha em adubos.

Foto 6 - Poço tubular de 50 metros de profundidade que alimenta o chafariz público Municipal da localidade da Prainha na rua Alto Alegre. Coord.9568744/572112 (Nov/2011)



Fonte: Autor (2012)

Foto 7– Aspecto de um poço escavado na localidade de Riviera, próximo a lagoa do Catu.
Coord.: 9563804/569043(Nov/2011)



Fonte: Autor Nov/2011)

O município de Aquiraz, dado ao seu posicionamento litorâneo, possui condições climáticas agradáveis decorrentes da influência dos ventos alísios e dos maiores índices de precipitação do estado (1.000 a 1.380 mm/ano) (Dados do IPECE, 2011), cuja intensidade tende a diminuir na direção do sertão. A associação desses fatores com a hidrogeologia local do aquífero contribui para que a população da região litorânea do município seja beneficiada por água subterrânea dos Sistemas Aquíferos Dunas e Barreiras.

Comparativamente aos outros setores urbanos, as condições política e administrativa da citada sede constituem um referencial importante na avaliação do consumo de água e nas condições limites de abastecimento, compostas pelos fatores representados por maior abrangência urbana, consumo mais elevado e também a participação mais efetiva dos órgãos públicos do município e do estado nos problemas relacionados aos interesses da comunidade.

7. HIDROGEOLOGIA

As considerações hidrogeológicas estão relacionadas a identificação dos sistemas aquíferos a partir da constituição geológica da área e do comportamento dinâmico das águas subterrâneas que circulam nesses aquíferos, envolvendo ao mesmo tempo, os aspectos qualitativo e quantitativo que os caracterizam, dentro da estruturação específica do espaço

físico investigado. Segundo Custódio e Llamas (1983), a *Hidrogeologia constitui-se em uma matéria interdisciplinar, inserida no contexto do ciclo hidrológico, considerando-se especificamente seu aspecto subterrâneo, sendo necessário, portanto, a aplicação de leis e métodos de outras disciplinas relacionadas aos meios hídricos e geológicos.*

De acordo com as colocações contextuais, a hidrogeologia está associada ao comportamento dinâmico e potencial da água que se infiltra, se movimenta e é armazenada no subsolo ou nas camadas rochosas subterrâneas, seja sedimentar ou cristalina. Nesse entendimento, Fetter (1994) conceitua aquífero *como uma unidade geológica capaz de armazenar e fornecer água em quantidade suficiente para suprir determinada quantidade de poços.*

Referindo-se a RMF, que inclui a área de estudo, foram realizadas pesquisas hidrogeológicas que contribuíram para caracterização dos sistemas aquífero com geração de informações básicas necessárias, compreendendo parâmetros e estruturas hidrogeológicas, tais como as de Bianchi *et al* (1984), Cavalcante (1998) e COGERH (1999), dentre outros.

Nesse sentido, a caracterização hidrogeológica da área de estudo está representada a partir do posicionamento que envolve os sistemas aquíferos e seus elementos correlacionados, tipo, ocorrência, recarga, descarga, espessuras e propriedades hidrodinâmicas, os quais poderão fornecer informações essenciais que definam as potencialidades no campo dos recursos hídricos subterrâneos.

7.1 Sistemas aquíferos

A identificação dos aquíferos da área de trabalho está fundamentada nas informações geológicas, topográficas e levantamento de pontos de água obtidos nos trabalhos de campo e cadastros pesquisados, além de outros dados apresentados nos trabalhos anteriormente desenvolvidos sobre a RMF, principalmente os que foram realizados nas adjacências da região de estudo.

A partir desses elementos, foram definidos na área os seguintes sistemas aquíferos Barreiras (Terciário), Dunas (Quaternário) e Aluvionar (Quaternário), rochas sedimentares, sendo o Barreiras, o sistema que possui maior abrangência (83%, cálculo feito através do programa Arcview 8.3), na área na sua condição aflorante, se posicionando desde o continente até a proximidade com a linha de costa. A distribuição superficial destes aquífero na área de

pesquisa está graficamente caracterizada no mapa da base hidrogeológica desse estudo. (Apêndice B).

O embasamento Pré-Cambriano, composto basicamente por rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico, não aflora nos limites da área de trabalho e se encontra sotoposto aos sedimentos terciários da Formação Barreiras, só sendo detectado através de alguns pontos onde poços tubulares chegam a atingi-lo em profundidade superiores a 20 metros, fato que está relacionado ao seu contato com a Formação Barreira. De acordo com Cavalcante (1998), o Sistema Cristalino possui pequenas vocações para o armazenamento e captação de água subterrânea, ocasionando pouca tendência aquífera, devido a ausência marcante de porosidade e condutividade hidráulica primárias.

7. 1.1 Sistema Barreiras

Essa unidade hidrogeológica ocupa 47,9 km² (83%) da área estudada e corresponde ao segmento de maior área aflorante, sendo que subsuperficialmente, sua ocorrência se estende até ao mar. É constituída por sedimentos terciários clásticos de natureza areno-argilosa, com granulação variando de fina a média, apresentando horizontes conglomerático e incrustações lateríticas na base. Segundo Braga *et al.* (1981), as intercalações lateríticas não possuem cotas definidas e estão sempre associadas aos níveis de percolação das águas subterrâneas.

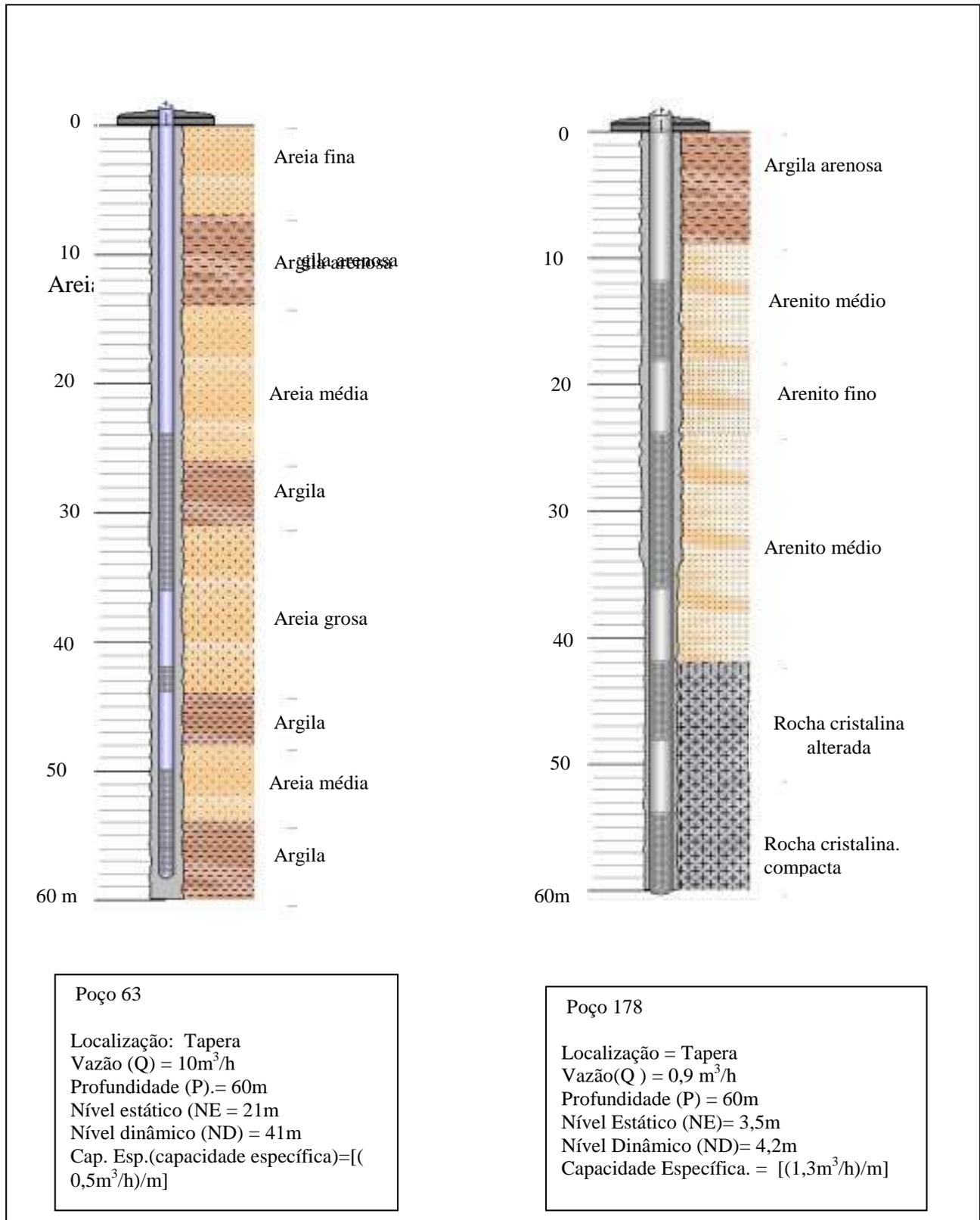
A espessura do sistema é bastante variável tendo em vista sua relação irregular com o embasamento cristalino, apresentando um valor médio entre 30 e 40 metros e máxima que pode atingir 60 metros. As observações de campo mostram que seu contato com a linha de costa é geologicamente interrompido pela presença dos terrenos dunares reconhecidos como o sistema aquífero sobrejacente. A sua relação com o embasamento é caracterizada através de perfis lito-construtivos de poços, onde se observa que a perfuração atravessa o Sistema Barreiras e penetra alguns metros no embasamento cristalino (Figura 11).

A porção da área ocupada pelo Sistema Barreiras, onde fica o poço 178, no Distrito da Tapera, se apresenta como um setor de feição topográfica aproximadamente plana, fato que contribuiria para existência de certa regularidade da espessura sedimentar e do perfil litológico de outros poços localizados em setores espaciais com a mesma semelhança física. Ocorre que a irregularidade do embasamento pré-cambriano vem se refletir na diferença dos perfis litológicos de outros poços com espessura totalmente sedimentar, onde não existe a

presença de rocha cristalina, a exemplo do Poço 63 (Figura 11), também da região da Tapera, ambos com profundidade de 60 metros, com sedimentos constituídos alternadamente por areias e argilas.

De acordo com Bianchi et al. (1994), esse sistema apresenta-se localmente como um aquífero livre, porém regionalmente mostra características de semi-confinamento, em função dos níveis sílticos argilosos, o que leva a ser estimado uma condutividade hidráulica de $1,8 \times 10^{-6}$ m/s, se assemelhando a um aquítarde. Tem como elemento de recarga a precipitação pluviométrica, as drenagens influentes, as lagoas interdunares e o Sistema Dunas que segundo Cavalcante (1998) funciona como aquífero de transferência em relação ao Sistema Barreiras (sotoposto).

Figura 11 – Perfis lito-constructivos dos poços tubulares 063 e 178 do Sistema Aquífero Barreiras na região da Tapera, observando-se a presença do embasamento cristalino no poço 178



Fonte: Adaptado do SIAGAS/CPRM (2010)

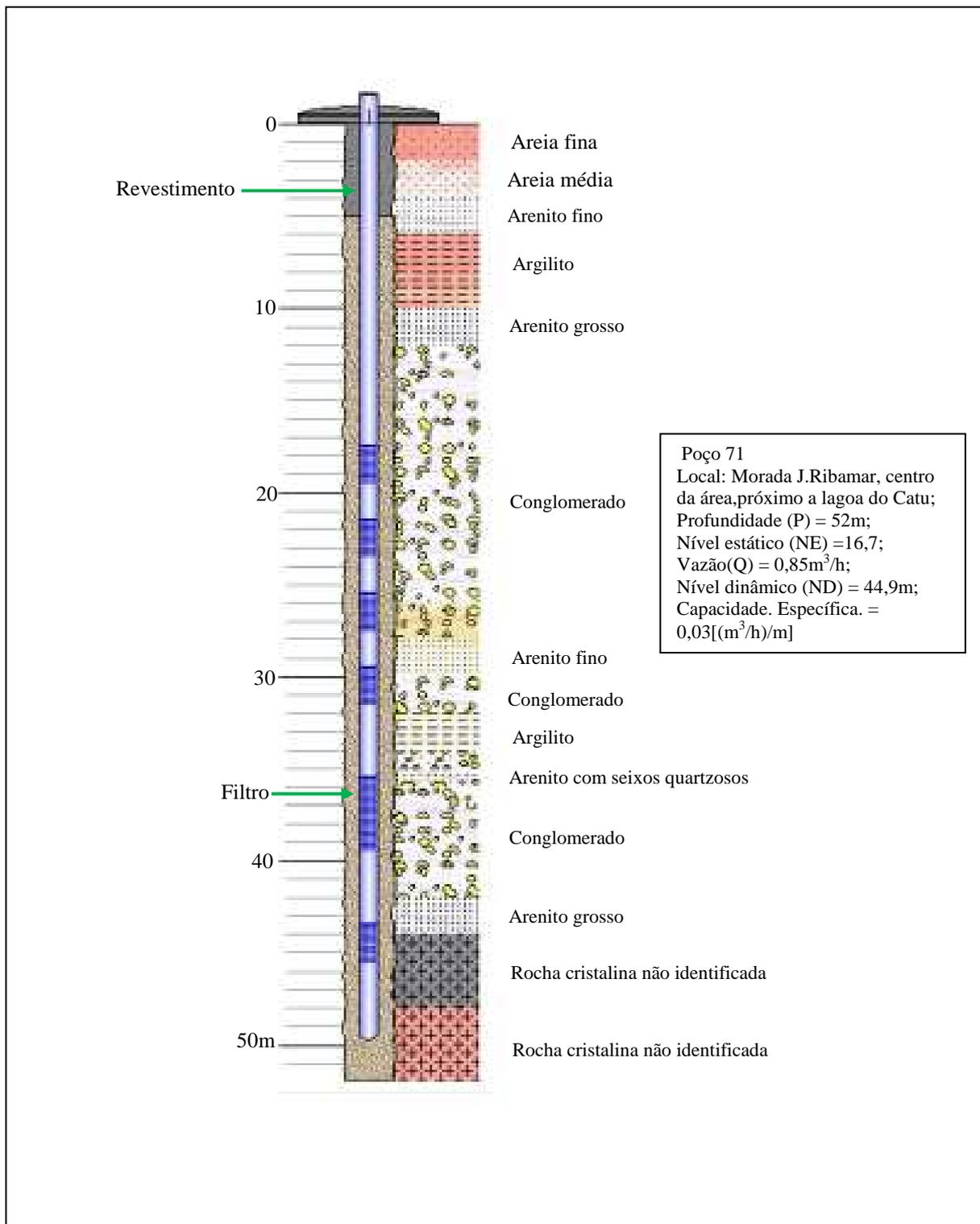
As condições de exutório estão naturalmente relacionadas às drenagens efluentes (fontes), as lagoas, a evapotranspiração e especificamente para o meio cristalino sotoposto, desde que esteja fraturado e apresente possibilidades de circulação e armazenamento da água subterrânea.

A variedade da espessura sedimentar desse sistema na área se reflete na variação da profundidade dos poços nele contidos, os quais possuem valores mínimos e máximo de 7 e 80 metros, respectivamente, com média de 45m e um valor dominante entre 55 a 65 metros de profundidade. Nesse mesmo contexto, são considerados os dados do nível estático desses poços, onde o domínio maior se posiciona entre 9 a 12 metros, com mínimo de 6,0 e máximo de 20,0 metros e média de 10,8m. No caso específico do Aquífero Barreiras, a heterogeneidade litológica dessa formação deve contribuir para variação extrema do nível estático e das características hidrogeológicas. Nesse sentido, a Tabela 5 reúne a variação dos valores desse parâmetro e também da profundidade do aquífero.

Tendo em vista a heterogeneidade litológica desse sistema, observa-se através de alguns perfis lito-constitutivos dos poços que o posicionamento dos filtros está condicionado a entrada d'água no poço, na faixa da zona saturada, onde ocorre a drenança do aquífero para o interior do poço. Nesse caso a definição da espessura saturada está representada pela média das somatórias dos comprimentos dos filtro nos poços, resultando em 13 metros. Com esse entendimento, observa-se, especificamente, que o Sistema Aquífero Barreiras não se limita à apenas uma única zona saturada, mas possui faixas de drenanças alternadas, tendo em vista a variação litológica sedimentar.

A existência de faixas alternadas entre arenitos, sedimentos areno-argilosos, conglomerados, argilitos, arenitos finos e grossos, gera para esse sistema uma certa complexidade hidrogeológica capaz de influir negativamente no rendimento hídrico dos poços. As características litológicas do perfil do poço 71 (Figura 12) confirmam essas variações sedimentares que mostram, inclusive a presença de conglomerado que poderia contribuir para o surgimento de uma boa vazão, fato não constatado nos testes de bombeamento, quando a vazão produzida foi de apenas 0,85 m³/h, mesmo ficando próximo a lagoa do Catu. Em áreas da RMF onde o nível conglomerático do Barreiras aflora, a exemplo da praia da Taíba – São Gonçalo do Amarante, observa-se a presença de cimento carbonático e argiloso, o que pode explicar a ausência de água provinda deste conglomerado.

Figura 12 – Perfil lito-constructivo de um poço tubular do Sistema Aquífero Barreiras, situado próximo a lagoa do Catu, mostrando a variação da composição sedimentar do aquífero.



Fonte: CPRM/SIAGAS (2011)

Tabela 5 – Variação de dados sobre profundidade e nível estático no Sistema Aquífero Barreiras na área.

Profundidade (m)		Nível Estático (m)	
Intervalo	Nº de Poços	Intervalo	Nº de Poços
> 5 ≤ 15	20	> 1 ≤ 3	07
> 15 ≤ 25	05	> 3 ≤ 6	15
> 25 ≤ 35	02	> 6 ≤ 9	10
>35 ≤ 45	22	> 9 ≤ 12	11
> 45 ≤ 55	28	> 12 ≤ 15	11
> 55 ≤ 65	41	> 15 ≤ 18	08
> 65 ≤ 75	04	>18 ≤ 21	05
> 75 ≤ 85	01	> 21 ≤ 26	01
TOTAL	123	-	68

Em uma situação metodológica semelhante a profundidade e ao nível estático, utilizando-se os dados cadastrais levantados para os poços, são definidas as considerações hidrogeológicas sobre o comportamento da vazão e do rebaixamento no Sistema Aquífero Barreiras na área, gerando informações que caracterizam esses dois parâmetros, conforme mostrado na Tabela 6.

Os valores da vazão de uma forma geral, estão associados as condições hidroestratigráficas do Sistema Barreiras, apresentando valores diferenciados devido as condições siltico-argilosas desse sistema, mostrando valores dominantes caracterizados por pequenas vazões, entre 0,4 e 2 m³/h (60,5%), seguido do valor médio de 2,7 m³/h. Localmente, esse Sistema apresenta condições hidrogeológicas favoráveis ao surgimento de uma boa vazão, com valor máximo de 10m³/h (poço 63, Tapera).

A Tabela 6 mostra, também, o comportamento do rebaixamento do nível d'água no poço que apresenta um intervalo de variação entre 0,5 a 40m, para os valores mínimos e máximo, respectivamente, e média de 17,3m. Os aspectos de recuperação nesse sistema aquífero vão depender de fatores localizados que favoreçam a recarga, envolvendo as condições hidrogeológicas. A situação extrema de 0,5 a 40m comprovam estes aspectos.

Tabela 6 – Dados de vazão e rebaixamento do nível d'água no poço do Sistema Aquífero Barreiras no espaço da área de pesquisa.

Vazão (m ³ /h)		Rebaixamento (m)	
Intervalo	Nº de Poços	Intervalo	Nº de Poços
> 0,4 ≤ 2	41	> 0,5 ≤ 5	13
> 2 ≤ 4	11	> 5 ≤ 10	08
> 4 ≤ 6	6	> 10 ≤ 15	06
> 6 ≤ 8	02	> 15 ≤ 20	08
> 8 ≤ 10	02	> 20 ≤ 25	05
> 10 ≤ 12	02	> 25 ≤ 30	08
>12 ≤ 14	01	> 30 ≤ 35	04
-	-	> 35 ≤ 40	02
-	-	>40 ≤ 50	01
Total	65	-	55

As limitações apresentadas envolvendo as características silícos-argilosas podem contribuir para que esse sistema aquífero assumira uma situação de baixa produtividade do poço, dependendo também do projeto do poço ou do sistema de bombeamento. Em termos práticos não se constata um quadro tão limitado, pois na sua grande abrangência na área, nota-se a importância do uso da água subterrânea através da presença de poços tubulares e escavados, públicos e privados que atendem as necessidades de chafarizes, escolas, sítios residências e até indústria.

Exemplo nesse sentido pode ser caracterizado através da indústria de castanha de caju (USIBRAS) que no contexto geral, tem a água subterrânea como um complemento importante de suas necessidades hídricas a partir da água captada de poços tubulares e escavado existentes nos domínios da usina. Informações apresentadas pela empresa demonstram que a água bombeada nos 4 poços possui uma contribuição significativa na demanda consumida em várias atividades, incluindo potabilidade, lavagem de equipamentos e até preparação de adubos orgânicos utilizados em jardinagem na área da empresa.

7.1.2 Sistema Dunas

Estendendo-se por toda faixa costeira, o Sistema Aquífero Dunas ocupa 14% da

área de pesquisa e chega a atingir até 2 km de largura no trecho mais amplo, no setor a margem esquerda do rio Catu. Este sistema é formado por dunas recentes, ou móveis, com sedimentos areno-quartzosos distribuídos como um cordão contínuo, paralelo à linha costa, a partir do limite de preamar.

Na área desse trabalho, possui altitudes que variam entre 5 a 40 metros, e espessura local de aproximadamente 20 metros. As características mineralógicas e morfológicas que constituem o sistema contribuem para um aquífero potencialmente importante, tendo em vista ser um corpo geologicamente homogêneo, constituído por areias quartzosas, pouco consolidadas, com granulometria variando de fina a média e espessura saturada que varia entre 7 a 10 metros. A Foto 8 mostra a feição física do aquífero dunas e seu posicionamento com a lagoa do Catu, que pode funcionar na condição de influência e efluência do referido sistema.

Foto 8 – Aspecto do Sistema Aquífero Dunas em contato com a lagoa do Catu (próximo a barraca Brisa do Catu, setor nordeste da área). Coord.: 9566582/571183.



Fonte: autor (maio/2012)

Levando-se em conta o seu posicionamento estratigráfico e topográfico, as condições de alimentação desse aquífero estão diretamente relacionadas à infiltração pluvial, que constitui o seu principal fator de recarga, ou por intermédio da superfície de algumas

lagoas que também recebem água na época chuvosa e repassam para o aquífero, quando suas águas são rebaixadas, a exemplo da lagoa do Catu. Segundo Cavalcante (1998), esse sistema funciona também como aquífero de transferência, liberando água para o aquífero subjacente existente na Formação Barreiras. Nesse sentido, dado a sua boa permeabilidade, as águas pluviais e infiltradas nas superfícies dunar, contribuem tanto para o próprio aquífero, como também para os sistemas posicionados em cotas inferiores.

As condições de descargas e exutório são caracterizadas através da ocorrência de algumas formas naturais e artificiais, tais como afloramento do lençol na base das dunas, fluxo para o mar e para drenagens efluentes, além da evapotranspiração e principalmente, a extração de água por poços diversos, é considerada a mais efetiva e importante forma de descarga. Já os setores de recarga são predominantemente alimentados por infiltração pluvial. Segundo Ribeiro (2001) existe a influência da topografia em relação ao teor de umidade subterrânea entre as zonas fisicamente mais elevadas e as mais rebaixadas, sendo esta considerada como um dos pontos de descarga que concentra maior volume de água a baixa profundidade.

De acordo com o cadastro de poços e com os trabalhos de campo realizados na área, foi considerado em relação a esse sistema, para a pesquisa, um arquivo de 43 poços tubulares para a região da Prainha. A espessura média desses sedimentos eólicos da zona costeira leva a definir que somente os poços com profundidades de até 22 metros podem captar água do Sistema Aquífero Dunas, enquanto os que possuem profundidade acima desse valor passam a fazer essa captação do Sistema Barreiras, que lhe é sotoposto.

Essa situação conduz ao entendimento de que muitos poços podem existir no Aquífero Dunas, porém captando água diretamente do Barreiras, havendo um diferenciamento positivo na produção de alguns poços que recebem água do aquífero superior de melhor potencial. Exemplo nesse sentido pode ser caracterizado na Figura 13, onde o poço 59 está localizado no Sistema Dunas, mas pela posição dos filtros observa-se que está captando água do Sistema Barreiras, através de um conglomerado de boa capacidade aquífera.

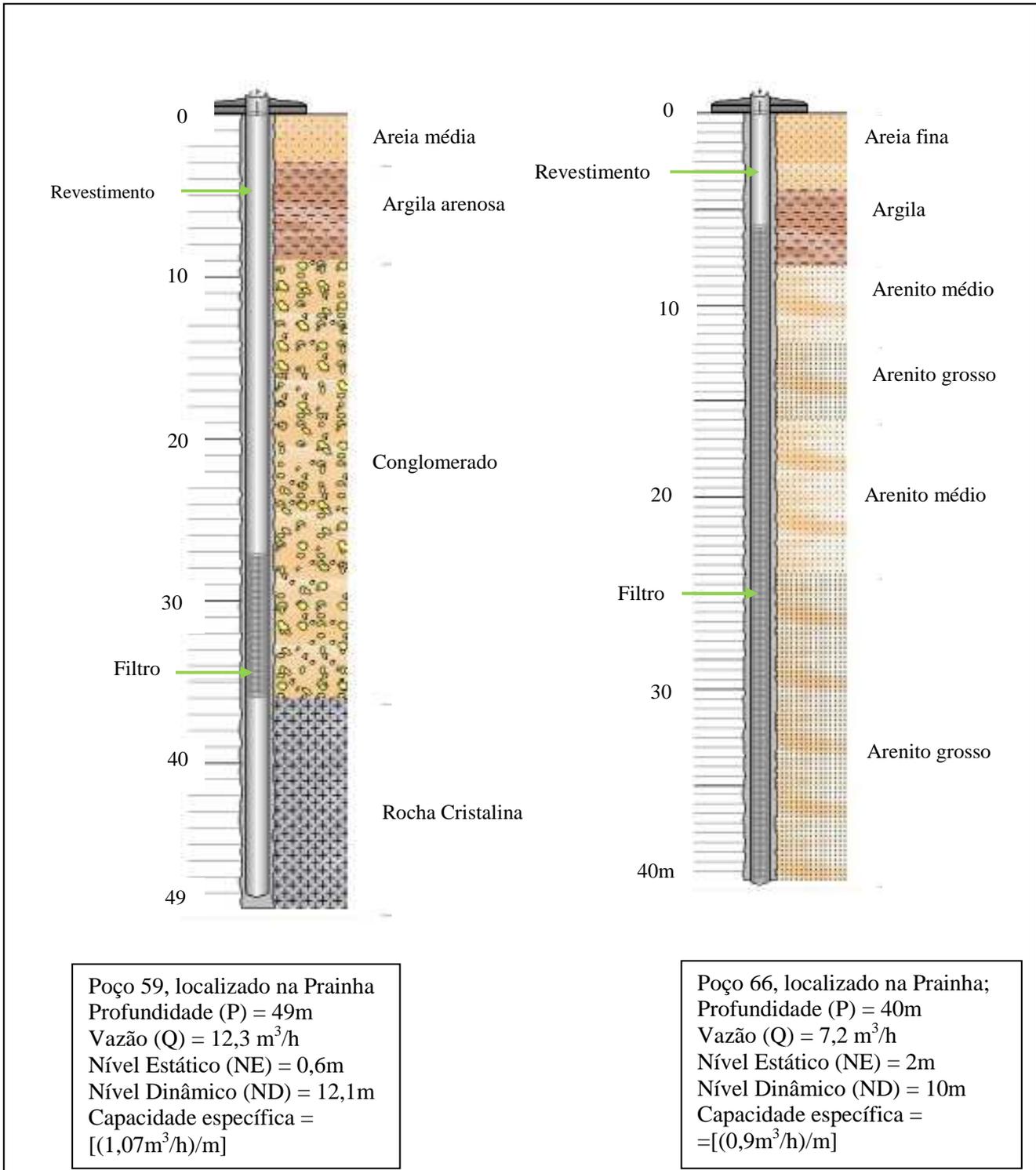
As características do poço citado podem ser comparáveis com as do poço 71 (Figura 12) do Aquífero Barreiras, onde ambos apresentam similaridades litológicas (na faixa do Barreiras), mas possuem diferenças nos valores da vazão. Tal fato revela uma influência hidrogeológica de maior potencial para o Aquífero Dunas através de uma vazão bastante relevante em relação a heterogeneidade litológica existente no Sistema Barreiras. Isso quer dizer que um poço construído diretamente no Aquífero Barreiras não é a mesma coisa que um poço

construído sobre o dunas, mas que capte água também do Barreiras, ou seja, as condições de potencialidades do Aquífero Dunas exercem uma influência positiva para maiores permeabilidade e porosidade, aumentando a possibilidade de surgirem maiores vazões em relação ao Sistema Barreiras.

As informações gerais pesquisadas e as observações de campo mostram que o Sistema Dunas se enquadra na condição de aquífero livre. Os 51 poços levantados nesse setor revelam uma espessura média saturada de 5m, sendo a água captada por intermédio de poços tubulares diversos, com diâmetros variando entre 6” a 8”, incluindo vazão média de 3,5 m³/h e máxima de 9,1m³/h. A profundidade pode variar entre 8 e 22,4 metros, e o nível estático tem o seu valor mínimo sub-aflorante, chegando a 1,2 m, com média de 3,9 metros.

Considerando a situação geral dos poços cadastrados neste sistema, procura-se ter uma visão mais abrangente em relação as condições operacionais de todos os poços pesquisados no ambiente hídrico Dunas. Nesse sentido são apresentados os dados e valores quantitativos dos parâmetros hidrodinâmicos que identificam a capacidade dos poços e sua relação com o sistema aquífero em questão. A Tabela 7 mostra os dados mínimos, médios e máximos dos parâmetros de poços do Aquífero Dunas, mas que penetram também o Sistema Barreiras, mostrando uma concepção mais ampla dos limites em relação ao Barreiras. De acordo com os parâmetros desse sistema, a profundidade é o que se torna mais representativo, tendo em vista a quantidade maior de informações sobre os outros parâmetros.

Figura 13 – Perfis lito-constructivos dos poços 59 e 66 localizados no Sistema Aquífero Dunas na Prainha, mostrando através dos filtros a captação d'água no Sistema Aquífero Barreiras.



Fonte: Modificado de CPRM/ SIAGAS/ 2012

Tabela 7 – Variação dos valores dos parâmetros hidrogeológicos dos poços captando o Aquífero Dunas.

PARÂMETROS	VALORES ESTATÍSTICOS			Nº DE DADOS
	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO	
Profundidade (m)	8,00	47,6	80,0	50
Nível Estático (m)	2,5	10,7	20,2	11
Vazão (m ³ /h)	0,7	3,3	9,1	13
Rebaixamento (m)	1,3	18	30,6	11

Os valores da Tabela 7 mostram que a profundidade é o parâmetro que reúne maior número dados para o Sistema Dunas, sendo que tal situação não reflete a totalidade dos poços desse aquífero, tendo em vista a carência de informações de todos os parâmetros em relação aos 51 poços do referido sistema. Essa ausência de dados está relacionada à dificuldade de se obter as informações necessárias nas empresas e órgãos responsáveis, incluindo, setores públicos e privados.

7.1.3 Sistema Aluvionar

Nos limites da área de estudo, os depósitos aluvionares estão distribuídos somente nas margens do baixo curso do rio Pacoti, setor noroeste da região pesquisada, ocupando um pequeno espaço de 1,36 km². São depositados em ambiente flúvio-marinho e constituídos por sedimentos silticos-argilosos, com intercalação de matéria orgânica devido à influência da vegetação de mangue.

Referindo-se as aluviões dos principais rios da RMF, Bianchi *et al.* (1984) chamam a atenção de que a captação da água subterrânea nos depósitos aluvionares dos principais rios dessa região só pode ser realizada sem risco de salinidade quando os pontos de extração da água no aquífero venham a ocorrer acima da equipotencial de 5 metros.

Na área de estudo, os depósitos aluvionares praticamente não são utilizados para captação de água subterrânea, já que na faixa desses terrenos não ocorre ocupação urbana, devido a presença de salinização dessa faixa aluvionar. Apenas em algum setor da sede municipal, localizados na margem direita do rio Pacoti (parte noroeste da área) é notada a ocorrência desse depósito, que não possui importância hidrogeológica.

O problema da salinidade e a baixa permeabilidade, em função da constituição siltico-

argilosa desse material aluvionar, devem representar os principais motivos pela falta de trabalhos hidrogeológicos específicos que possam determinar as condições hidrodinâmicas desse aquífero, cuja qualidade da água é afetada, principalmente pela salinidade.

As condições de recargas devem estar relacionadas à precipitação pluviométrica, as águas influentes dos Sistemas Dunas e Barreiras, além da influência de drenagens existentes na área enquanto que a evapotranspiração e a exploração representam os principais parâmetros de descarga.

Os aspectos acima abordados constituem informações relevantes das aluviões na área, em relação a sua deposição sedimentar recente e os efeitos da influência marinha no contexto ambiental e hidrogeológico..

7.2 Considerações hidrodinâmicas sobre os principais sistemas aquíferos

Estas considerações se referem a importância que os parâmetros hidrodinâmicos possuem em relação aos principais aquíferos da área, representados basicamente pelos Sistemas Aquíferos Dunas e Barreiras. Levando-se em conta a realidade hidrogeológica local, os parâmetros básicos considerados são a condutividade hidráulica – [K], a transmissibilidade [T] e o coeficiente de armazenamento [S], o qual se tratando de aquífero livre deve ser substituído pela porosidade efetiva (Johnson, 1978).

De uma forma geral, a definição destes parâmetros está associada à necessidade de conhecimento dos fatores responsáveis pela caracterização hidrogeológicas da área. A maior parte das pesquisas hidrogeológicas da RMF foi sempre direcionada para o Sistema Aquífero Dunas, sobre o qual foram levantados dados relacionados à condutividade hidráulica e a transmissibilidade. Nessa consideração, os depósitos dunares, pelos aspectos geológicos e ambientais, reúnem condições mais favoráveis à exploração de água subterrânea, comparativamente ao Barreiras, considerado por Beltrão e Manoel Filho (1973) como unidade aquífera de fraca tendência hidrogeológica.

Visando o estudo dos recursos hídricos da região metropolitana, Bianchi *et al.* (1984.), através de pesquisa hidrogeológica, estimaram a condutividade hidráulica para os Sistemas Dunas e Barreiras, correspondem a $1,8 \times 10^{-4}$ e $1,85 \times 10^{-6}$ m/s, referentes ao primeiro e ao segundo aquífero, respectivamente.

Dados hidrodinâmicos de condutividade hidráulica (K) e transmissibilidade (T) foram calculados pela CAGECE (1984), referentes ao estudo de água subterrânea no campo de dunas da Abreulândia, nas imediações da área de trabalho, resultando em valores médios de $7 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ e $9,7 \text{ m}^2/\text{h}$, respectivamente. Numa análise posterior efetuada sobre esses estudos, Cavalcante (1998) afirma que os referidos valores são considerados muito altos para as areias finas das dunas no âmbito da RMF.

É importante salientar que os dados encontrados para as áreas congêneres da RMF são analogamente adotados para esta pesquisa, tendo em vista os mesmos apresentarem características semelhantes e/ou iguais em relação ao meio físico.

Em pesquisa realizada pela COGERH (1999) sobre o potencial das águas subterrâneas e bacias hidrográficas da RMF, foram produzidos vários dados relacionados às características dos aquífero, incluindo-se entre eles os parâmetros hidrodinâmicos. Os trabalhos envolveram construção de poços em locais representativos dos sistemas Aquífero Dunas e Barreiras, onde foram efetuados testes de bombeamento visando à obtenção desses elementos, através dos quais foi definido valores diferenciados de K e T para os referidos sistemas.

A Tabela 8 reúne todos os valores médios dos parâmetros relacionados aos principais sistemas aquíferos na RMF e que foram levantados pelas fontes acima mencionadas, observando-se, entretanto, que dos trabalhos realizados, apenas a COGERH produziu dados referentes aos dois parâmetros e aos dois aquífero, caracterizando a transmissibilidade e a condutividade hidráulica para esses sistemas.

Tabela 8 - Parâmetros hidráulicos médios dos Aquífero Dunas e Barreiras na RMF, considerados para área de estudo.

Autor	Sistema Aquífero	Parâmetro	
		K(m/s)	T(m ² /h)
Bianchi (1984)	Dunas	$1,8 \times 10^{-4}$	-----
	Barreiras	$1,85 \times 10^{-6}$	-----
CAGECE (1984)	Dunas	7×10^{-4}	9,77
COGERH (1999)	Barreiras	$1,89 \times 10^{-5}$	1,87
	Dunas	$2,49 \times 10^{-4}$	6,84

Legenda: K = Condutividade hidráulica; T = Transmissibilidade

De acordo com a citada Tabela 7 o único valor da transmissibilidade, associado a baixa permeabilidade do Sistema Aquífero Barreiras, vem confirmar para essa unidade aquífera sua fraca tendência hidrogeológica.

7.3 Aspectos das obras de captação atual das águas subterrâneas

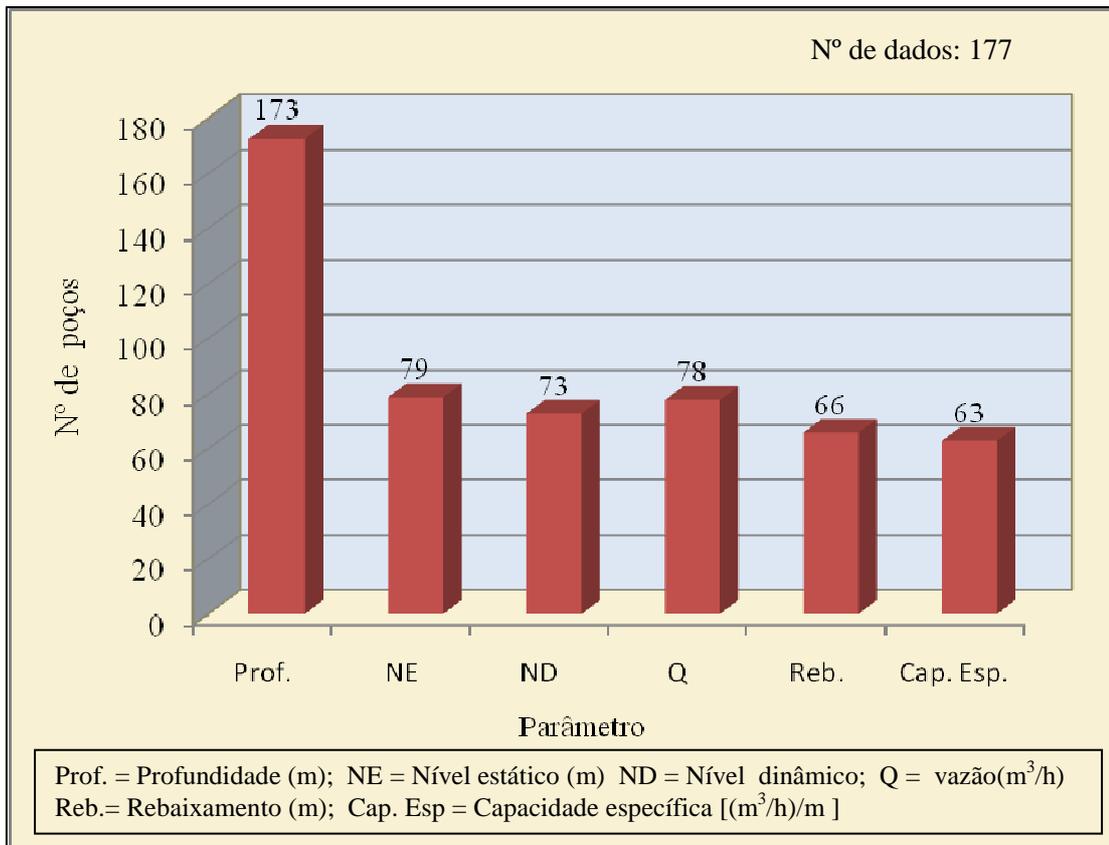
As obras de captação das águas subterrâneas revelam o meio e o instrumento de extração da água no subsolo através de suas formas variadas que envolvem basicamente poços diversos e fontes. Esses poços representam obras construídas em várias profundidades, os quais estão associadas às necessidades hídricas da população e as condições hidrogeológicas do terreno de interesse, podendo os referidos poços serem construídos em diferentes quantidades no tempo.

Nesse contexto se insere os 177 pontos de captação de água subterrânea da área, onde no cadastro (apêndice A) são classificados, de uma forma geral, em poços tubulares e escavados, observando-se um valor quantitativo dominante de 158 para o primeiro tipo, seguido de 19 poços escavados.

As condições consideradas para utilidade das águas subterrâneas a partir desses poços estão fundamentadas nos parâmetros hidrogeológicos parcialmente distribuídos na totalidade desses poços. Para esse fim são levados em conta as informações básicas geradas na situação de cada poço, através dos dados de profundidade, vazão, nível estático, nível dinâmico e capacidade específica (Figura 14).

O comportamento do referido gráfico revela que a profundidade corresponde ao parâmetro de maior ocorrência(97%), enquanto que os demais se apresentam diversificadamente, em quantidade inferior a 50% do total. Tal fato demonstra a precariedade de informações sobre os poços cadastrados.

Figura 14 – Parâmetros hidrogeológicos existentes no cadastro de poços da área de estudo.



A preferência da população por determinado tipo de poço está associada diretamente à necessidade por abastecimento e as condições gerais de execução dos mesmos, incluindo o aspecto financeiro. Para Demétrio *et al.* (2008), os poços tubulares são definidos como “ obra de captação de água subterrânea, cuja perfuração pode ser revestida por tubos plásticos ou metálicos que terão várias finalidades no decorrer da vida útil de cada um. Já os poços escavados apresentam formato cilíndrico, perfurados manualmente, através de picareta e pá, em sedimentos pouco consolidado, sendo os mesmos classificados como de pequena profundidade, com diâmetro mínimo de 1m e médio de 1,5 metro, espaço considerado necessário para a operação de pelo menos um homem realizar o trabalho de escavação. Esse tipo de poço é conhecido normalmente, como cacimba, cacimbão ou poço Amazonas”

As Fotos 9 e 10 mostram os tipos acima descritos através dos poços 41 e 164 existentes nas localidades de Canoa e Tapera, respectivamente. O primeiro representa um poço tubular de 40 metros de profundidade, pertencente a um chafariz público e se encontra revestido com tubo de PVC branco (usado também em obras de saneamento), sendo notório o descuido de preservação em função do excesso de mato no entorno. Já o segundo refere-se a

um poço escavado de 10 metros de profundidade, revestido com anel de cimento, localizado em uma escola pública, ambos captando o Sistema Aquífero Barreiras.

Foto 9 - Poço tubular revestido com PVC branco, pertencente ao chafariz da localidade de Canoa (Nº 41 no cadastro geral). (Coordenadas: 9564818 e 570677).



Fonte: Autor (12/2011)

Foto 10- Poço 164, escavado, com profundidade de 10m, localizado na Escola Pública Plácido Castelo (Distrito Tapera), revestido com anel de cimento. (coord. 9563446 e 573035)



Fonte: Autor (dez/2011)

No contexto dos poços escavados da área, é importante considerar a presença do poço amazonas, existente nas proximidades da CE-040, no interior da USIBRÁS (Foto11). Esse poço escavado é diferenciado por possuir grande diâmetro (12m) e profundidade de 8m, revestido de tijolos e se mostrar como um aquífero a céu aberto, tendo em vista as suas características de ser amplo e raso, captando o Aquífero Barreiras.

Foto 11 – Poço escavado amazonas pertencente a indústria USIBRAS, situada à margem da CE 40, próximo a Aquiraz, mostrando o nível da água no Aquífero Barreiras no período pós-chuva. Coordenadas: 9568847 e 569457)



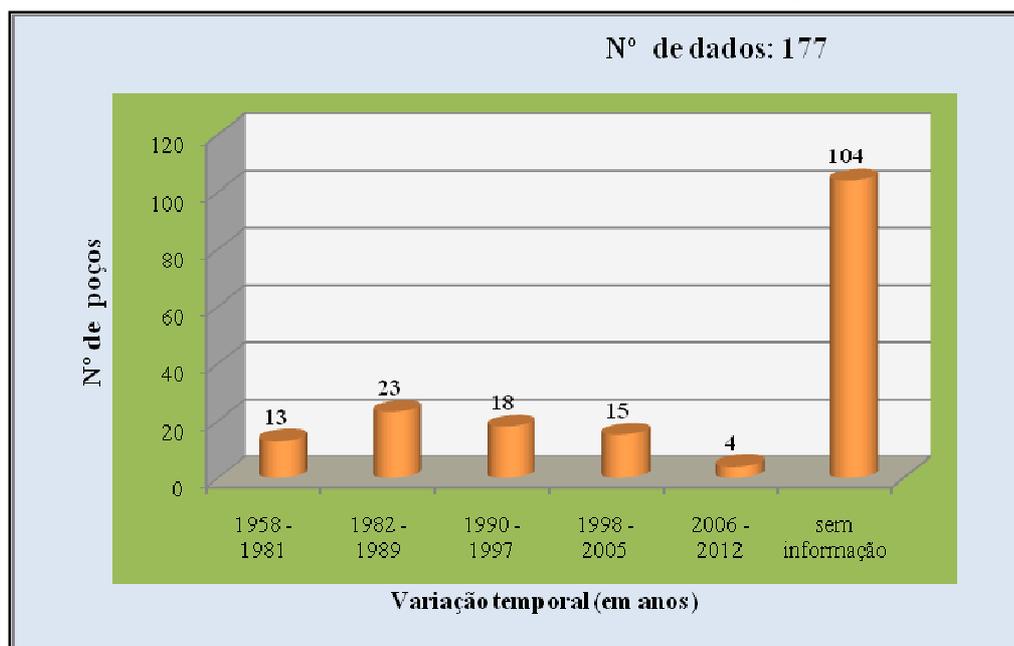
Fonte: Autor (jun/2012)

Considerando-se as condições de propriedade dentro do cenário dos 177 pontos d'água levantados, ocorre uma predominância dos poços privados, com 141 (79%), enquanto que os públicos representam 37(21%), configurando a importância e a necessidade do uso da água subterrânea na área, principalmente em setores onde não existe abastecimento público. É importante acrescentar que a presença dos poços públicos estão normalmente relacionada as instalações em chafarizes e escolas públicas, destacando-se como de maior utilidade para as populações que habitam e estudam nesses locais públicos do Município ou do Estado.

No conjunto geral das informações cadastradas para os poços da área, à época em que os mesmos foram construídos representa a necessidade de uso da água em determinado período climático, mostrando também a evolução quantitativa desses poços ao longo do tempo. Uma parte significativa dos poços para esse trabalho foi levantada junto a CPRM, através do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS, 2011), além de outros poços complementares cadastrados nos trabalhos de campo, totalizando 177 pontos. Desse total, apenas 73 (40%) possuem informações sobre a data de construção, gerando mais uma lacuna na estrutura sequencial do cadastro em relação ao ano de perfuração, resultando em 106 poços (59,5%) sem esse dado (Figura 15).

Com base nesse quadro foi caracterizada a distribuição temporal desses poços na área nos últimos 32 anos, período de maior concentração, a partir de 1982 até o presente. Nesse sentido, observa-se que o período de 1982 a 1989 representa àquele com maior número de poços, considerando-se que neste ano ocorreu uma grande estiagem, o que estimulou as pessoas da região a buscarem o uso da água subterrânea como alternativa de abastecimento em todo o município de Aquiraz. Na Figura 15 observa-se, também, que o período entre 2006 e 2012 corresponde ao de menor quantidade de poços, pois representa o início do período de ampliação da rede abastecimento público, conforme informações da CAGECE (2011).

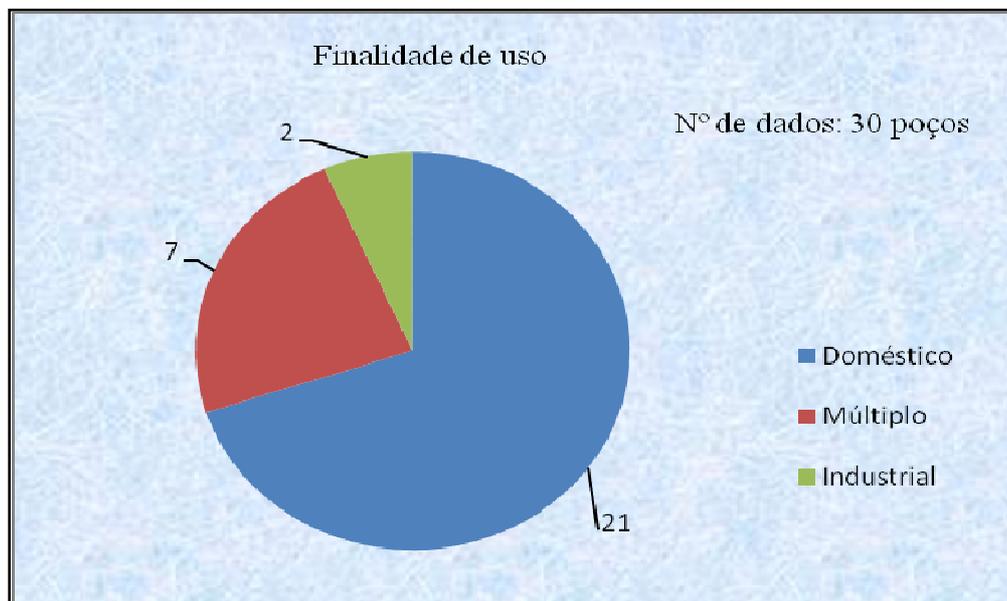
Figura 15 - Distribuição temporal dos poços existentes na região pesquisada.



As abordagens apresentadas nas considerações anteriores sobre as situações desses poços estão associadas à finalidade de uso a que os mesmos se destinam, já que a necessidade de perfuração está relacionada ao aproveitamento da água subterrânea no abastecimento da população, bem como na sua utilização para diversos fins, tais como usos múltiplo e industrial. Acrescenta-se, nesse sentido, que os poços considerados para múltipla finalidade são aqueles que podem ser usados para fins doméstico, recreação, irrigação e abastecimento animal.

A carência de informação cadastral constatada no âmbito geral dessa pesquisa resultou na seleção de 30 poços, considerados como poços visitados, que reúnem os dados necessários para definição das análises físico-químicas, bacteriológicas, monitoramento bimestral e observações hidrogeológicas. Nesse contexto, as definições de aplicação das finalidades ficaram direcionadas para usos doméstico, industrial e múltiplo (envolve: abastecimento humano, recreação, irrigação e até uso industrial). Os poços 173 e 174 constituem exemplo do uso industrial, caso da USIBRAS, localizada próximo a CE-040. A Figura 16 caracteriza a classificação das referidas finalidades relacionadas ao tipo de uso.

Figura 16- Finalidades aplicadas no contexto dos poços visitados na área

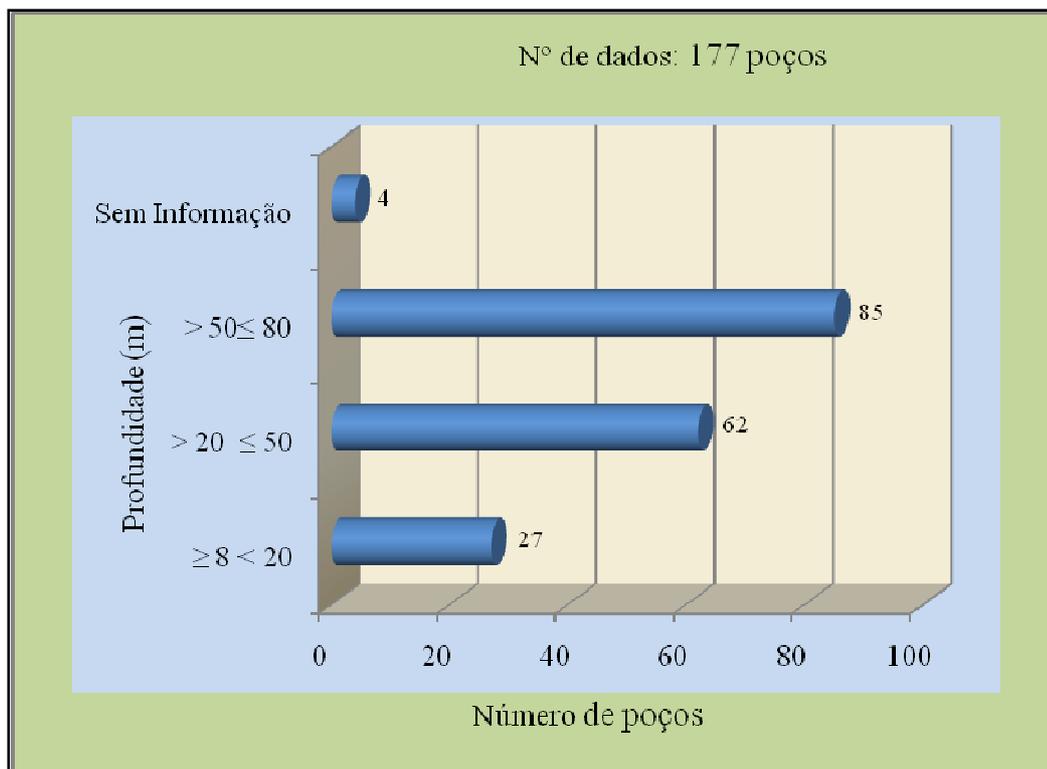


De uma forma geral, os parâmetros dos poços utilizados para captação de água subterrânea revelam as características hidrogeológicas e os sistemas aquíferos captados. Nesse

contexto os dados são basicamente a profundidade, vazão, nível estático, nível dinâmico, rebaixamento e capacidade específica.

Dos 177 poços levantados para a área, 174 (98%) possuem dados de profundidade, que se apresentam com valores diversificados, dependendo do tipo de poço e das condições hidrogeológicas dos sistemas aquíferos captados. A classificação das profundidades no contexto do estado do Ceará está basicamente fundamentada nas normas da SRH (1994), que considera um poço com mais de 50 metros como profundo, entre 20 e 50 metros de profundidade mediana, e abaixo de 20, como sendo poço raso. Nesse sentido, a quantidade dos poços e suas profundidades estão representadas na Figura 17.

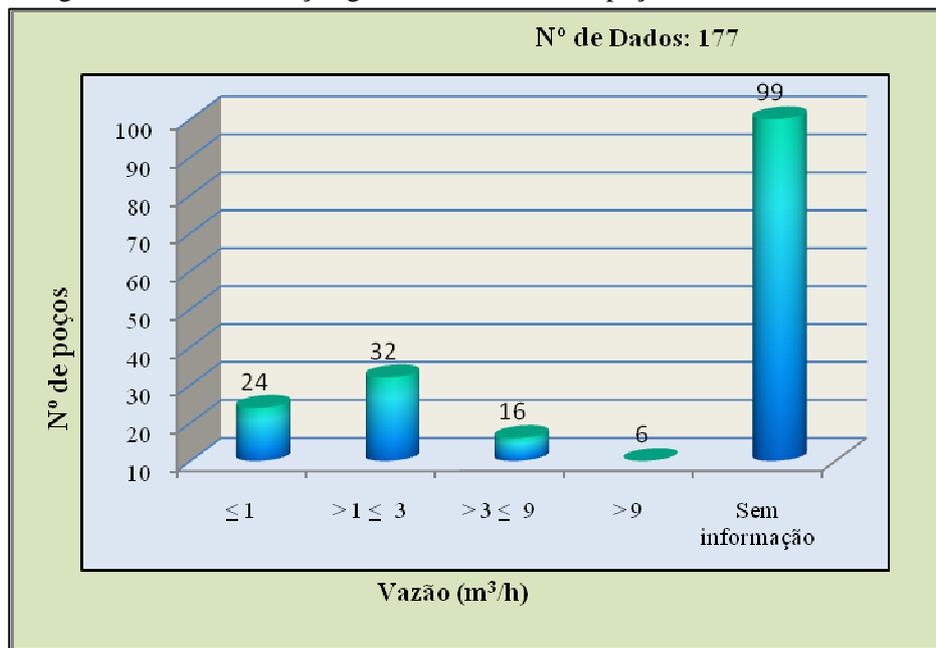
Figura 17 - Variação da profundidade dos poços da área.



De acordo com a Figura 17 a profundidade dominante, 85 poços (49%), está entre 50 e 80 metros revelando, portanto, que sua maior incidência está associada aos aquíferos Dunas e Barreiras, chegando a penetrar no cristalino. De outra forma, apenas 4 poços (2,3%) sem informação, demonstra que, na realidade, a profundidade, é o parâmetro mais comum entre os dados dos poços da área.

Outro parâmetro está relacionado as vazões existentes no cadastro, que dos 177 poços, 78 (43%) apresentam dados desse elemento, caracterizando uma situação representativa dessas vazões na área, mostrando valores que variam de 0,7 a 13 m³/h, com média de 2,7 m³/h. O gráfico da Figura 18 mostra que o domínio (18%) dos valores dessas vazões se concentra entre 1 a 3 m³/h, além de destacar a quantidade bem significativa de poços sem informações, 100 poços (57 %).

Figura 18 – Caracterização gráfica das vazões nos poços cadastrados



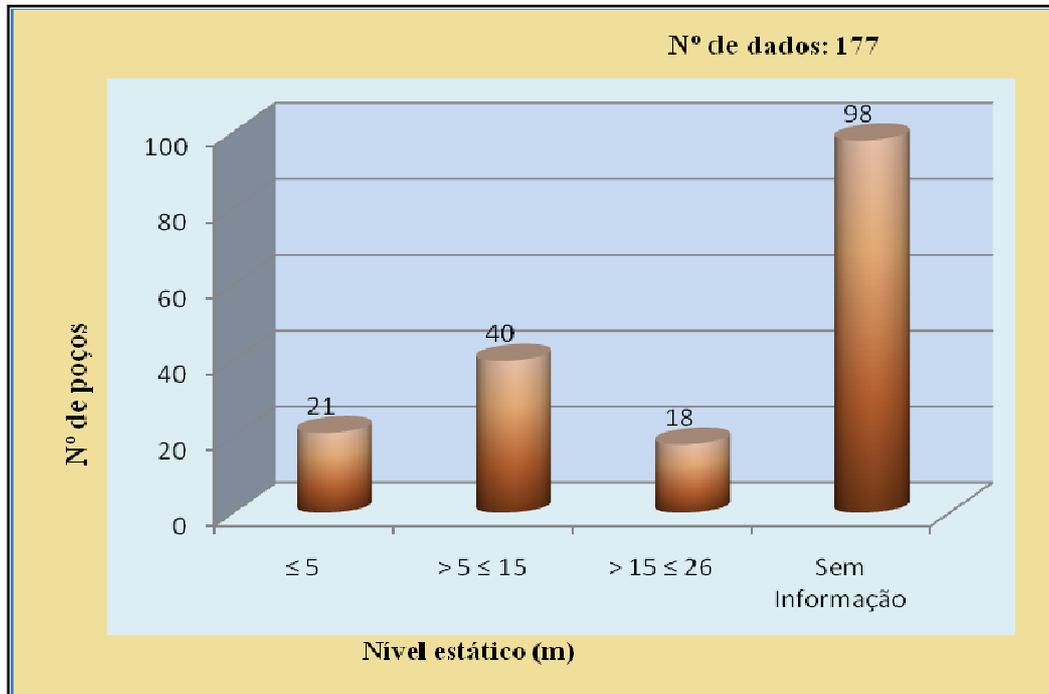
Considerando-se o contexto hidrogeológico da área, o Sistema Dunas representa o aquífero de maior potencial e responsável pelas vazões mais significativas, chegando a atingir valores de 5 a 9m³/h.

Finalmente, o nível estático (ou nível da água) no poço constitui um importante referencial em relação a posição de profundidade da água no aquífero, revelando a que distância essa água se encontra a partir da superfície, mostrando, entre outros risco de contaminação das águas subterrâneas para o aquífero. De acordo com Cavalcante e Gomes (2011), a classificação de profundidade do nível estático apresenta uma variação caracterizada pela seguinte ordem: raso (até 15m), mediano (entre 15 e 30m) e profundo (acima de 30m).

Os níveis estáticos encontrados para a área de estudo refletem valores que podem ser predominantemente enquadrados entre raso e mediano (Figura 19), onde os valores variam entre 5 a 15 metros. Tal fato apresenta conformidade com os poços que captam água nos

Aquífero Barreiras e Dunas, atingindo também o Cristalino, sendo que o Barreiras é o que se apresenta com maior profundidade.

Figura 19 – Situação estatística do nível estático dos poços na área



8. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados estão relacionados ao desenvolvimento de assuntos fundamentais da pesquisa, os quais mostram os segmentos essenciais envolvendo, a princípio, as reservas e potencialidades hídricas subterrâneas. Numa situação sequencial é apresentada a caracterização da qualidade e do comportamento das águas subterrâneas e superficiais, além de sua relação com o meio hidroambiental, considerando ao mesmo tempo, as condições hidroquímicas e bacteriológicas no contexto do uso geral pelo homem.

Nesse sentido, os resultados vêm contribuir significativamente para o entendimento dos aspectos positivos e negativos no âmbito da disponibilidade e oferta dos recursos hídricos da área, a sua relação com o homem no que diz respeito ao uso e aproveitamento. Dentro desse cenário, a qualidade das águas subterrâneas se posiciona como um elemento de vital importância como opção de abastecimento da população e como objeto de pesquisa da área.

8.1 Reservas, potencialidades e disponibilidades hídricas subterrâneas

Os cálculos das reservas reguladoras e permanentes mostram as suas avaliações nos aspectos das potencialidades e disponibilidades na área de interesse. Segundo Cavalcante (1998), o cálculo dessas reservas deve contemplar o uso integrado desses recursos e sua associação com o meio físico, já que os referidos recursos podem ser extraídos ou remobilizados de alguma forma.

As avaliações de reservas serão realizadas somente para os Sistemas Aquíferos Barreiras e Dunas, uma vez que o fator salinidade inviabiliza o aproveitamento das águas do Aquífero Aluvionar, não sendo necessário, portanto, o cálculo de reservas para este sistema. Destaca-se, entretanto, que a questão da salinização da água nesse aquífero está fundamentada em relatos de populares que possuem poços escavados com profundidades inferiores a 8,0 metros e nível estático subaflorante, muito suscetível, portanto, a influência da água do mar que adentra no continente.

Esse tipo de classificação possui características compatíveis com os aspectos hidrogeológicos da área da pesquisa, e que envolve as rochas sedimentares da Formação Barreiras e os depósitos dunares costeiros, que ficam localizados na parte nordeste da RMF.

8.1.1 reservas hídricas subterrâneas

A avaliação dessas reservas compreende o cálculo dos volumes hídricos armazenados nos Sistemas Aquífero Dunas e Barreiras, considerando os aspectos das disponibilidades e das potencialidades, que estão diretamente relacionados com as reservas reguladoras e permanentes.

8.1.1.1 Reservas renováveis (reguladoras)

São caracterizadas pelo volume hídrico armazenado nas camadas rochosas aquíferas, que ocorre em função da porosidade eficaz ou do coeficiente de armazenamento, representado através dos aportes de água (pluviométrica e superficial). Esse volume de água no aquífero é limitado por dois níveis potenciométricos extremos, máximo e mínimo, de variação sazonal dentro de um ano hidrológico determinado. Sua avaliação é efetuada em função dos parâmetros metodológicos definidos na Equação 02 ($R_r = A \times \Delta h \times \eta_e$)

➤ **Sistema Dunas**

Os dados de porosidade efetiva (η_e) e variação do nível d'água (Δh) para este sistema são aqueles adotados por Cavalcante (1998), considerando-se a área (A) = 8 km², tem-se uma reserva reguladora (R_r) de 1,8 milhões de m³/ano.

➤ **Sistema Barreiras**

O aquífero Barreiras é constituído por uma marcante heterogeneidade litológica caracterizada por níveis clásticos alternados por areias médias e frações argilosas, com níveis conglomeráticos na base, associados, também, a níveis lateríticos que influem nas condições hidrogeológicas da área.

A complexidade litológica para este sistema contribui para o surgimento diferencial de propriedades típicas do Sistema Aquífero Barreiras

Os parâmetros específicos para avaliação das reservas reguladoras do Sistema Barreiras, com base em Cavalcante (1998) são de $\Delta h=0,5m$ e $\eta_e= 5\%$, para 47,9km². Os parâmetros da Eq. 02 são aplicados também par o Aquífero Barreiras. Assim, tem-se que as reservas reguladoras (R_r) do Sistema Barreiras, são de 1,2 milhões de m³/ano, valor que deve ser influenciado pela média anual de 488 mm do balanço hídrico.

8.1.1.2 Reservas permanentes

As reservas permanentes, profundas ou seculares representam volumes de águas livres armazenados na camada aquífera, e que são pouco afetadas pelas variações sazonais, mantendo-se com volume constante. Costa (1997) afirma que elas não variam com as precipitações anuais e permitem uma exploração mais importante, regularizadas em períodos de vários anos.

No mesmo entendimento dessas conceituações, Cavalcante (1998) esclarece que sob uma análise integrada, a classificação de reservas permanentes não encontra respaldo, pois se sabe que a água subterrânea não está desconectada do ciclo hidrológico, pois participa efetivamente do mesmo, nas situações em que ocorra recarga, extração e descarga.

As posições acima apresentadas servem para definir as diferenças entre as reservas reguladoras e permanentes e estabelecer as variações, que possam contribuir com informações necessárias aos limites de exploração para que um determinado aquífero possa

ser submetido em função do tempo e da capacidade potencial existente. Os valores considerados para essas reservas seguem os cálculos metodológicos da Eq.03 ($A \times h_o \times n_e$).

A porosidade efetiva (n_e) de 15% e 5% para o Dunas e Barreiras, respectivamente, são aqueles adotados por Cavalcante (1998). Os valores de espessura saturada (h_o) são decorrentes do cálculo da extensão média dos filtros de 11 poços existentes nos sistemas Dunas e Barreiras, definidos em 5 e 13 metros para Dunas e Barreiras, respectivamente.

➤ Sistema Dunas

Considerando-se a área (A) de $8,03\text{km}^2$ espessura saturada média (h_o) de 5m e uma porosidade efetiva (n_e) de 15%, tem-se uma *reserva permanente* (R_p) calculada de 6,02 milhões de m^3 de água subterrânea para o referido sistema.

➤ Sistema Barreiras

No contexto das informações apresentadas e da mesma aplicação dos dados, tem-se para o Sistema Barreiras uma espessura saturada média (h_o) de 13m, área (A) de $47,91\text{ m}^2$ e uma porosidade efetiva (n_e) de 5%, resultando em uma *reserva permanente* (R_p) de 31,14 milhões de m^3 de água subterrânea.

8.1.1.3 Reservas totais

Representam a somatória das reservas renováveis e permanentes. São calculadas com a utilização da Equação 04 da metodologia ($R_t = R_p + R_r$), com base nos dados específicos de cada aquífero. Nesse sentido, o valor calculado para o Aquífero Dunas resultou num valor de 7,82 milhões de m^3 , enquanto em relação ao Barreiras foi encontrado um valor de 32,34 milhões de m^3 , resultando um total de 40,14 milhões de m^3 de água subterrânea.

8.1.1.4 Recursos explotáveis (Re)

Segundo Costa (1997), os recurso explotáveis de águas subterrâneas representam o volume máximo que pode ser retirado do aquífero sem que haja comprometimento não apenas do mesmo, mas também do meio ambiente. De acordo com Cavalcante (1998), os

recursos explotáveis podem ser utilizados diretamente das reservas reguladoras e dependem também das variáveis de decisão imposta pela política sócio-econômica existente na área onde ocorra a exploração. Assim tem-se no desenvolvimento deste assunto as potencialidades e disponibilidades calculadas a seguir.

8.1.1.4.1 Potencialidades e disponibilidades

No contexto das reservas hídricas subterrâneas, as potencialidades representam o volume total acumulado na zona de saturação, correspondendo na prática as reservas totais do aquífero, enquanto as disponibilidades correspondem ao volume que pode ser retirado desse sistema sem risco de exaustão do mesmo e se referindo praticamente ao uso das reservas reguladoras (COSTA, 1997).

Estas definições conduzem ao entendimento de que as potencialidades caracterizam uma capacidade ampla de utilização das reservas subterrâneas, demonstrando que, além das reservas reguladoras, pode acontecer também um envolvimento parcial das reservas permanentes, se necessário.

8.1.1.4.2 Disponibilidade potencial (Dp)

Em termos específicos, a disponibilidade potencial (Dp) do sistema aquífero é o volume total que pode ser utilizado de forma não depletiva, usando-se apenas as reservas reguladoras, ou quando depletiva, considerando a possibilidade de que a parcela utilizada da reserva permanente venha a ser repostada a longo prazo, naturalmente ou sob forma de recarga induzida (CAVALCANTE, 1998).

Dentro das considerações citadas, fica definido aqui que a disponibilidade potencial corresponde às reservas reguladoras, mais 1/3 das reservas totais, conforme a Equação 5 ($Dp = R_r + 1/3 R_t$), aplicada para os Sistemas Dunas e Barreiras.

Sabe-se que as reservas totais para os dois sistemas aquífero da área correspondem a 7,8 milhões de m³ para o Aquífero Dunas e de 32,34 milhões de m³ para o aquífero Barreiras, enquanto que as reservas renováveis são de 1,8 milhões de m³/ano e 1,2 milhões de m³/ano para os Aquífero Dunas e Barreiras, respectivamente. A conjuntura desses dados na Equação 05 da metodologia (já citada acima) produz a Disponibilidade Potencial para os dois principais aquífero de acordo com a disposição representada a seguir.

A aplicação dos elementos da Equação 05 para o sistema Dunas mostra que a Disponibilidade Potencial resulta em 4,4 milhões de m³, enquanto que para o Sistema Barreiras a Disponibilidade Potencial é igual 12 milhões de m³.

8.1.1.4.3 Disponibilidade efetiva (De)

Segundo Costa (1997) a disponibilidade efetiva (De) é caracterizada pelo volume d'água que é retirado dos poços instalados, com vazões próximas do seu limite máximo explotável, enquanto que a disponibilidade instalada corresponde ao volume máximo que pode ser captado num aquífero em regime de bombeamento de 24/24hs, mostrando que as vazões instaladas dos poços estão acima da disponibilidade efetiva.

No que diz respeito ao cálculo da disponibilidade efetiva Cavalcante (1998) sugere que sejam considerados apenas os poços que possuam vida útil de até 20 anos. No caso específico desse trabalho, tal fato torna-se inviável, uma vez que no cadastro utilizado existe uma grande lacuna nas datas de construção, impossibilitando uma classificação dentro da vida útil recomendada. Essa observação é considerada também em relação ao parâmetro vazão, que além de não se encontrar presentes para todos os poços, muitas vezes não é representativa dentro de um caráter efetivo, já que alguns poços da área, captam mais de um aquífero.

Nesse contexto, dos 177 poços cadastrados para a área, 8(4,5) se encontram desativados, sendo utilizados, portanto 169 poços para o cálculo da disponibilidade efetiva (De), Conforme enquadramento dos dados da Equação 6 das considerações metodológicas ($De = n \times Q_m \times th$). Nesse sentido, foi atribuído aos mesmos um regime médio de funcionamento de 8hs/dia, adotando-se uma vazão média de 3m³/h (média com base nas vazões dos poços cadastrados, Apêndice A), resultando em uma disponibilidade efetiva de 1.480.440 m³/ano (4.056 m³/dia) ou 4.056.000 L/dia, correspondendo a aproximadamente 49% do total das reservas reguladoras da área (3 milhões de m³/ano). De acordo com o consumo per capita (140L/habitante/dia) essa disponibilidade efetiva atenderia a uma população aproximada de 29.000 pessoas da área pesquisada.

Além do cálculo da disponibilidade efetiva para área, torna-se relevante também o entendimento desse tipo de aproveitamento pela população quando relacionado ao consumo específico dos principais setores da área pesquisada, já que existe uma divisão populacional feita pelo IBGE (2010) classificando a população em dois setores específicos, compreendendo a sede municipal e Prainha mais o distrito da Tapera (Tabela 4, página 63). Nesse contexto,

foram relacionados 25.377 habitantes para o primeiro setor e 8.835 para o segundo, totalizando 34.212 habitantes, que associados à taxa per capita de 140L/dia, demandariam 4.789.680L/dia, valor este que está 15,3% acima da disponibilidade efetiva já encontrada para o total da área.

No propósito desses aspectos são definidos também os fatores hídricos dessas localidades, considerando-se basicamente as quantidades respectivas de poços existentes (n) e os valores da vazão média como dados específicos de cada localidade. Essa situação gera valores diferentes de disponibilidades efetivas que são comparados aos respectivos dados das reservas reguladoras.

Os poços relacionados ao distrito da Tapera captam o Sistema Aquífero Barreiras, que possui 1,2 milhões de m³/ano. Nesse cenário, o cálculo da disponibilidade efetiva para o referido setor envolve dados de 49 poços, vazão média de 2,8 m³/h e regime de bombeamento de 8hs/dia, resultando numa disponibilidade efetiva de 400.624 m³/ano ou 1.097.600L/dia, valor esse que representa 33,4 % das reservas reguladoras do Barreiras.

Observa-se, de uma forma geral, que as disponibilidades efetivas apresentadas para área indicam haver uma condição hídrica favorável ao aproveitamento das águas subterrâneas, sem que haja comprometimento das suas reservas reguladoras. Percebe-se que as disponibilidades efetivas geral e específicas são diferenciadas em função da variação dos dados, dentro das respectivas características de vazão média e quantidade de poços. Através de uma análise comparativa entre a área total e o setor específico da Tapera no Aquífero Barreiras, pode-se observar a diminuição do valor da disponibilidade efetiva, haja vista a ausência de influência do Sistema Aquífero Dunas, de característica mais permeável.

8.2. Qualidade das águas subterrâneas

A partir das análises hidroquímicas e bacteriológicas, as características que definem a qualidade da água estão fundamentadas nos padrões e limites que classificam o uso dessa água levando-se em consideração os valores dos componentes químicos e bacteriológicos identificados nas análises. Segundo Freezy e Cherry (1979), o mais importante padrão de qualidade da água está relacionado a sua condição de potabilidade, cujos limites são comparados com os valores hidroquímicos encontrados nas análises, que estão em sua grande maioria constituídas por componentes inorgânicos.

As considerações acima refletem que a qualidade da água está associada a sua condição de aproveitamento, a partir dos padrões de uso estabelecidos. Fetter (1994) faz considerações gerais sobre a utilidade da água e indica que sua qualidade é consequência de seu estado natural, físico e químico, bem como das alterações que o homem pode provocar e acrescenta que a qualidade natural da água subterrânea varia substancialmente de um lugar para outro. Nesse sentido foram feitas as abordagens dos elementos constituintes, considerando-se inicialmente as características físico-químicas existentes na água no contexto químico mais representativos dos aquíferos da área.

8.2.1 Aspectos hidroquímicos

A qualidade da água subterrânea está relacionada a sua composição química encontrada nas análises das amostras coletadas em pontos de captação que representam os sistemas aquífero da área de estudo. Segundo Custódio e Llamas (1983), a qualidade de uma água é definida em função do conhecimento dos elementos que a compõe e dos efeitos que esses possam causar, seja no todo, ou separadamente. Os processos e fatores que influem na qualidade das águas subterrâneas podem ser relacionados de forma extrínseca e intrínseca aos sistemas aquífero, além da influência de elementos diversos que podem estar associados a água de recarga, clima, litologias atravessadas e alterações provocadas pelo homem (SANTOS, 2008).

Desta forma, a qualidade da água para esta pesquisa está fundamentada na relação composicional dos dados detectados nas análises em relação a situação sazonal e as medições de campo. No caso específico desse estudo, a caracterização qualitativa das águas subterrâneas está relacionada aos resultados verificados nas análises processadas sobre os dois sistemas aquíferos da área, envolvendo amostragens para análises químicas e medidas para o monitoramento. Os valores encontrados estão representados nos Apêndices C e D respectivamente.

Nesse contexto, são considerados os parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas dos Sistemas Barreiras e Dunas, cujos dados estão fundamentados nos 31 poços visitados, de onde foram selecionados 26 para análises envolvendo poços, tubulares e escavados, que representam as condições hidrogeológicas da área.

As considerações hidroquímicas desse estudo têm como base referencial de discussão os elementos de análises contidas no apêndice C, que enquadra todas as amostras

coletadas em campo nos dois períodos, seco e pós chuva. Nesse sentido, são considerados amplamente as informações existentes nos segmentos dos apêndices, associados aos dados estatísticos representativos das Tabelas 9 e 10 que mostram o comportamento mínimo, médio e máximo dos parâmetros analisados nos períodos de estiagem e pós-chuva (Nov/2011 e jun/2012).

Tabela 9 –Valores estatísticos dos principais parâmetros hidroquímicos analisados referentes ao período de estiagem (nov/dez/2011).

Parâmetros	pH	(mg/L)								CE ($\mu\text{S/cm}$)
		STD	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	
Mínimo	3,75	57	1,0	1,0	4,0	1	2,0	0	1,0	93
Médio	6,05	273	9,3	12,0	50	7,0	68	51,4	31	433
Máximo	8,04	676	27	48,0	141	28	276	266	90	1.309

Tabela 10 – Valores estatísticos dos principais parâmetros hidroquímicos analisados referentes ao período pós- chuvoso (jun/2012).

Parâmetros	pH	(mg/L)								CE ($\mu\text{S/cm}$)
		STD	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	
Mínimo	5,25	77,5 ↑	2,8	1,7	6,8	0,3	1,5	1,46	2,8	138 ↑
Médio	6,9	283 ↑	13,2	11,0	71	2,2	67	68,5	49,5	503 ↑
Máximo	7,9	650,8 ↓	62,3	45,2	141,8	5,9	236,8	261	164	1.504 ↑

Através da análises dos dados contidos nessas Tabelas, pode-se observar as variações de concentrações de alguns parâmetros que tiveram seus valores aumentados ou diminuídos pela influência sazonal do período chuvoso, implicando num aumento provável da diluição, ou a diminuição da concentração a partir da infiltração que a água possa exercer sobre os sistemas aquíferos. Exemplos nesse sentido podem ser notados com o sódio e o cálcio que tiveram seus valores aumentados com o período chuvoso, enquanto que o potássio diminuiu. Nesse mesmo contexto, a condutividade elétrica e o STD tiveram seus valores aumentados, a exceção do valor máximo que diminuiu no período pós-chuva. Tal fato deve

estar associado ao aumento da concentração de sais às diferenças de dissolução que os minerais possuem.

Conforme mencionado, as considerações dos parâmetros hidroquímicos investigados têm como base os dados das análises existentes nas informações bimestrais do monitoramento processado no campo, envolvendo os parâmetros analisados nos laboratórios, tendo em vista que alguns valores medidos no monitoramento são aproximadamente iguais aos das análises. Nesse sentido, são descritas a seguir as observações relacionadas às situações dos referidos parâmetros considerados nas análises e resultados de monitoramento.

➤ pH

Segundo Custódio e LLamas (1983), em uma água quimicamente pura os íons H^+ e OH^- estão em equilíbrio e o seu pH é neutro. O pH é normalmente uma função do gás carbônico dissolvido e da alcalinidade da água. De acordo com HEM (1985), uma água com pH superior a 8,5 sugere condições propícias a incrustação, enquanto que valores inferiores a 6,5 possuem condição favorável ao processo de corrosão de vários tipos de materiais.

Para Santos (1997), a maioria das águas subterrâneas tem pH entre 5,5 e 8,5, podendo atingir os limites de 3,1 a 11 (Santos, 1997), definição compatível com os dados levantados nesta pesquisa. Os resultados de laboratório referentes as águas subterrâneas da área se apresentam com um domínio ácido em relação aos dois períodos de coletas, com 90% para a fase seca e 58% para o período pós-chuva. Nesse contexto, foram encontrados valores que variam de 3,7 a 6,5 e 5,2 a 6,8 (Apêndice C) para o primeiro e segundo períodos, respectivamente, mostrando um domínio de acidez para o período de estiagem, indicando o aumento do pH na época chuvosa.

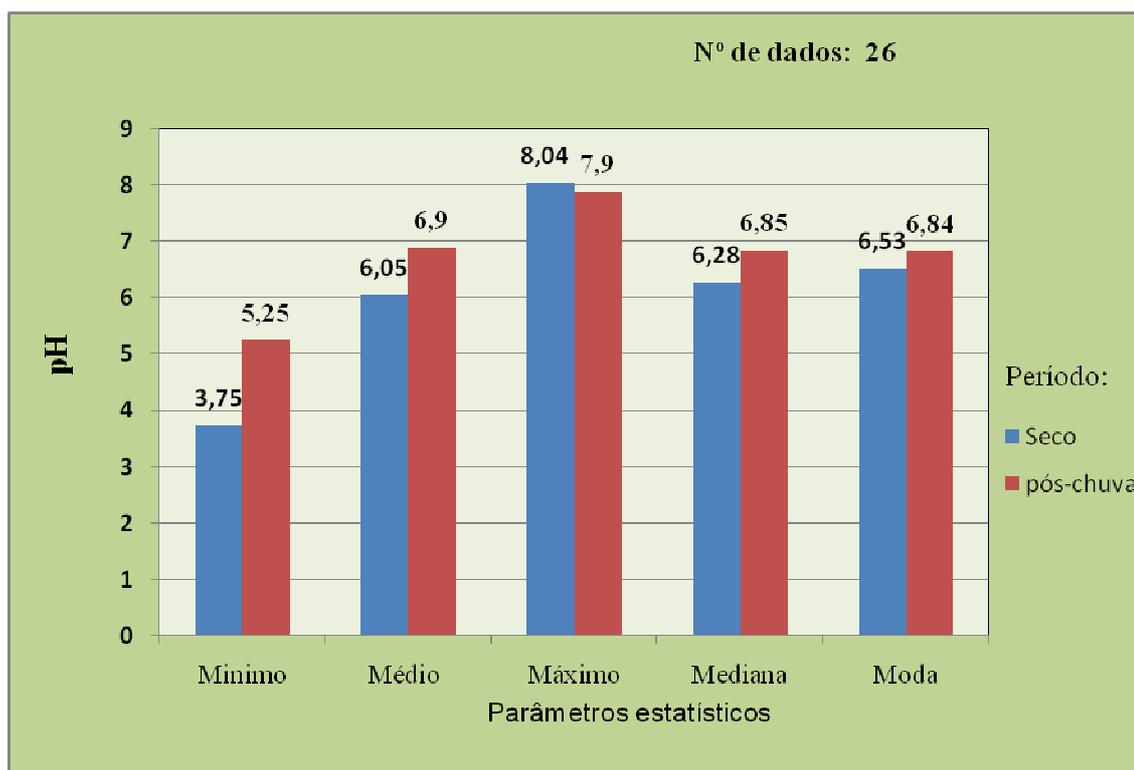
De uma forma geral, os dados contidos no Apêndice C revelam valores mínimos e máximo situados entre 3,75 a 8,04 (antes mostrado Tabela 9). Estes números constituem situações extremas de acidez e alcalinidade, mas estão enquadrados nos Valores Máximos Permitidos (VMP) para as águas potáveis, conforme a Portaria MS 2.914/2011, que define valores entre 6,0 a 9,5 como limites aceitáveis para o consumo humano.

Destaca-se, entretanto, que a performance quantitativa dos valores do pH para os períodos secos e chuvosos manifesta um aumento para o segundo período, mostrando que a presença da água da chuva provocou mudanças iônicas e, também, aumento de dissolução de gás carbônico, responsável pela formação do ácido carbônico (H_2CO_3) e provável aumento

do pH nessa variação sazonal. O gráfico da Figura 20 retrata esse aspecto no contexto dos limites mínimos, médios e máximos, quando se observa que ocorreu uma gradativa mudança, principalmente em relação aos valores mínimos e médios. Nesse contexto observa-se também que a moda calculada para esse parâmetro apresenta-se com valores próximos para os dois períodos climáticos, mostrando uma certa regularidade no caráter levemente ácido do pH das águas subterrâneas da área.

A exceção considerada a esse respeito é notada apenas na faixa máxima, quando o período seco apresenta um predomínio incipiente sobre o chuvoso, tendo como exemplo, apenas o poço 76 (poço escavado raso), que dista aproximadamente 80 metros da margem da lagoa do Catu, que deve ter sido influenciado pela proximidade com a mesma.

Figura 20 – Comportamento do pH das análises entre os períodos seco e pós-chuva a partir dos dados das 26 amostras coletadas.



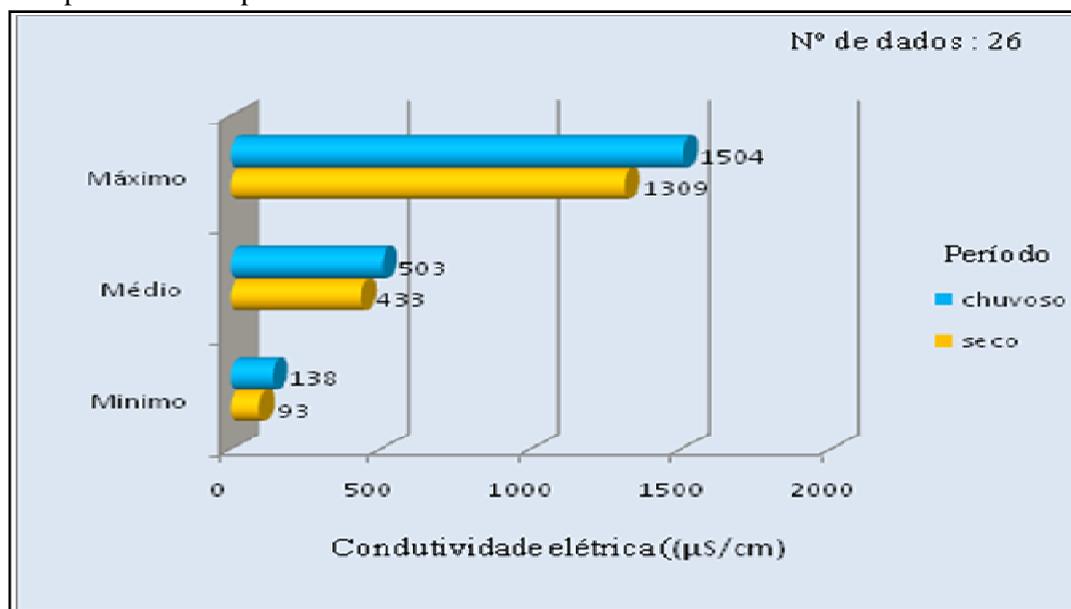
➤ Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica constitui um parâmetro hidroquímico investigativo que integra os componentes da qualidade da água e que se comporta de forma diretamente proporcional ao STD.

A determinação do citado parâmetro tem como suporte as 26 análises de água subterrânea coletadas na área e as medições de campo no monitoramento. Parte dos resultados referentes as análises mostram que os valores se encontram aumentada após o período chuvoso, tendo em vista provavelmente ao acréscimo de sais trazidos pelas chuvas, pois segundo Custódio e Llamas (1983), a condutividade elétrica aumenta com o crescimento do conteúdo em sais dissolvidos. Esse comportamento é observado nas análises de 73% dos pontos (poços) amostrados em relação ao período pós-chuva, comprovando que houve um aumento da condutividade elétrica em função do aumento de sais dissolvidos durante a fase chuvosa, fato graficamente representado na ilustração da Figura 21, a partir dos valores mínimo, médio e máximo.

O exemplo dessa variação da condutividade elétrica na área pode ser notado principalmente, através dos poços 158, 51 e 48, localizados na região da Prainha, sobre o Sistema Aquífero Dunas, considerado mais permeável em relação ao Sistema Barreiras.

Figura 21 – Variação dos dados da condutividade elétrica entre os períodos seco e pós-chuva nos pontos amostrados na área.



➤ Sólidos Totais Dissolvidos – STD

De acordo com Hiscock (2005) o grau de salinização das águas subterrâneas é expresso através dos Sólidos Totais Dissolvidos(STD), cuja determinação é feita a partir do peso dos resíduos sólidos inorgânicos e orgânicos que permanecem após a evaporação de

determinada amostra. O seu valor pode ajudar na caracterização hidroquímica dos aquífero de uma certa região. Nesse contexto, o STD é resultado da interação química e bioquímica que se dá entre a água subterrânea e o material geológico atravessado por essa água, gerando uma extensa variedade de constituintes químicos inorgânicos na água subterrânea, representados pelos íons principais (Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , Cl^- , HCO_3^- e SO_4^{-2}), que correspondem a mais de 90% do STD na água (FREEZE & CHERRY, 1979).

O valor do STD pode ser obtido a partir da condutividade elétrica da água, quando multiplicada por um fator (Kc) que varia entre 0,55 a 0,77 (SANTOS, 2007) ou entre 0,5 a 0,8 (HISCOCK *op.cit.*), resultando numa boa estimativa do STD.

Segundo os padrões de potabilidade da OMS e do Ministério da Saúde do Brasil, através da Portaria nº 2.914/2011, esse parâmetro pode atingir até 1000 mg/L em águas para consumo humano, valor este que não foi alcançado em nenhuma das amostras analisadas na área, conforme descrito nos dados das análises e nas medições de campo existentes nos Apêndices C e D, respectivamente. Os valores máximos encontrados foram de 676 e 650,8 mg/L (Tabelas 9 e 10) para os períodos secos e chuvosos, respectivamente. Esses dados mostram que os valores encontrados de STD nas análises estão dentro do limite potável que a referida portaria define.

É importante salientar que mesmo num regime de aumento pluviométrico, praticamente não houve muita diferença na concentração de STD, a exceção dos poços 138 e 51 (cadastro de poços no Apêndice A), localizados na faixa costeira da Prainha, que pela influência marinha tiveram suas concentrações de sais aumentadas, observando-se que no caso do poço 51 o valor foi praticamente duplicado.

Assim, essa diferença de STD ocorreu de forma localizada em poucos pontos da faixa costeira, levando-se ao entendimento que ainda não existe risco de super exploração ou bombeamento intensivo nos poços do setor costeiro praiano da área, ao ponto de provocar indução da cunha salina ou salinização nessas partes dos aquíferos próximas ao mar.

➤ Dureza

De acordo com Custódio e Llamas (1983), a dureza na água está associada as presenças de carbonatos de cálcio ou magnésio ou outros elementos, a exemplo do Fe, Mn e Ba. Nesse sentido, a dureza é considerada como temporária (dureza de carbonatos), e a permanente, relacionada aos não carbonatos (cloretos e sulfatos). A soma das durezas

temporárias e permanentes resulta na dureza total, que é o tipo de dureza determinada nas análises dessa pesquisa.

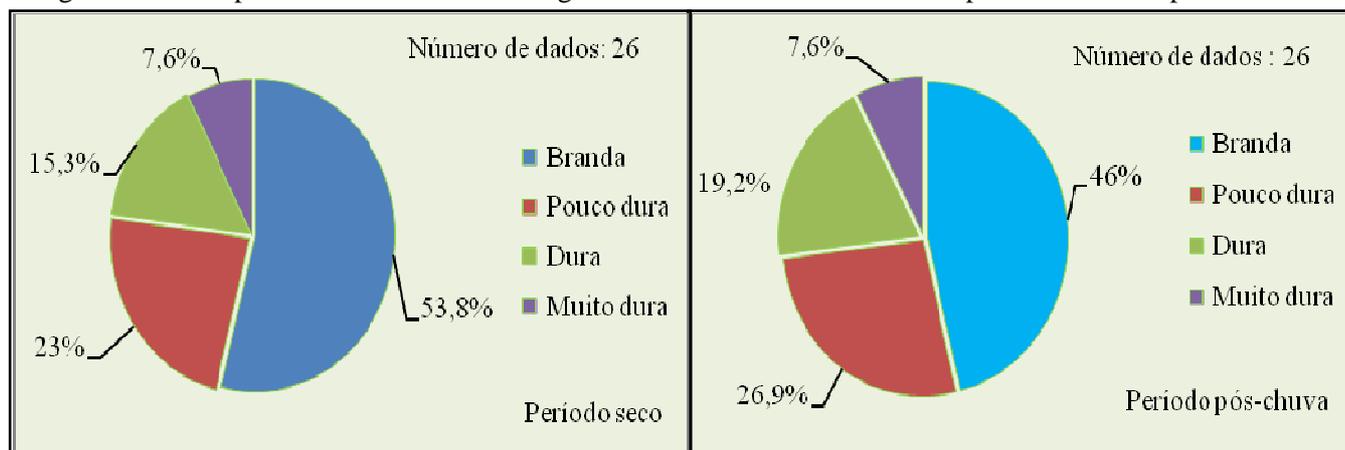
A classificação da água quanto a dureza ficou definida em função da presença do teor de CaCO_3 , cuja classificação mais usual é de Custódio e Llamas (*op.cit.*), conforme a Tabela 11 que considera a água com os limites extremos entre branda a muito dura.

Tabela 11 - Classificação mais usual para a dureza definida por Custódio e Llamas (1983).

Classificação da água quanto a dureza	Teor de CaCO_3 (mg/L)
Branda	< 50
Pouco dura	$> 50 \leq 100$
Dura	$>100 \leq 200$
Muito dura	> 200

Os dados considerados para esse estudo enfocam a dureza relacionadas às amostras dos períodos seco e pós-chuva. Nesse sentido, os valores existentes mostram a classificação das águas subterrâneas da área, conforme expressado na Figura 22, onde se observa uma certa variação entre os períodos citados, indicando ao mesmo tempo que o domínio geral corresponde as águas branda e pouco dura. Os valores máximos encontrados nas análises para as duas situações referem as águas dos poços 48 e 51, localizados na faixa costeira, com 230 e de 341 mg/L, respectivamente. Esses resultados se posicionam abaixo do limite padrão de potabilidade recomendado pela Portaria N° 2.914/2011-MS, que é de 500 mg/L.

Figura 22 – Comportamento da dureza nas águas subterrâneas da área entre os períodos seco e pós-chuva



De acordo com as análises (Apêndice D), 94 % das águas subterrâneas amostradas na área se apresentam em condições de uso para o consumo humano. É importante destacar que o leve aumento da dureza no período chuvoso, se deve, provavelmente, a maior dissolução de sais e elementos ionizados.

➤ Sódio (Na^+)

O sódio constitui um dos metais alcalinos mais abundantes nas águas subterrâneas e está presente em todas as águas, apresentando elevada solubilidade associada a difícil precipitação da maioria dos seus compostos químicos. Ocorre principalmente em forma de cloretos nas águas subterrâneas e é o principal responsável da salinidade das águas naturais (SANTOS, 1997). Segundo o referido autor a concentração desse parâmetro varia entre 0,1 e 100 mg/L nas águas subterrâneas e valores elevados podem afetar a permeabilidade do solo, prejudicando o desenvolvimento das plantas. Na área de estudo, o valor médio desse elemento é de 57mg/L e seus valores máximos se concentram no período pós-chuva, chegando a atingir entre 141 a 155 mg/L, referentes aos poços 51 e 138, localizados na região da Prainha, indicando a relação com a influência marinha.

No que diz respeito ao uso para o consumo humano, os valores encontrados na área estão abaixo do limite previsto pela Portaria N° 2914/2011-MS, que determina o máximo de 200 mg/L para seu enquadramento em relação a potabilidade.

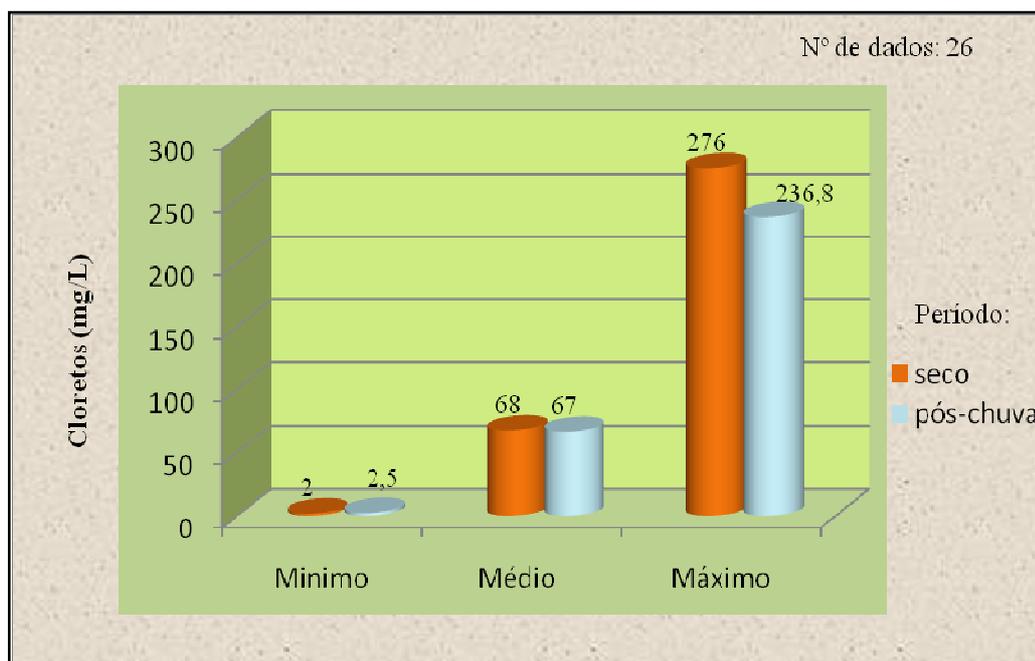
➤ **Cloretos (Cl⁻)**

De acordo com Santos (1997), o cloreto está presente em todas as águas naturais com valores situados entre 10 e 250 mg/L nas águas doces. Constitui um eparâmetro de alta solubilidade e sua lenta percolação no aquífero contribui para que haja aumento de concentração de cloreto na água. Esse parâmetro, nas águas subterrâneas, se apresenta com teores inferiores a 100 mg/L. São normalmente abundantes na água do mar e a água de chuva contém menos de 1mg/L. Em geral, este íon está associado ao sódio, que é muito solúvel e muito estável em solução.

É considerado um parâmetro de grande importância em relação ao padrão de potabilidade e em outras formas de uso, uma vez que provoca sabor nas águas, corrosão em estrutura de metal, incrustações em tubos de revestimento, aumento da dureza da água e ações negativas no metabolismos de certos organismos (MATTA, 2002)

Na área de estudo, o valor mais alto encontrado foi de 276 mg/L, no período seco (Nov/2011), e média de 67 mg/L. Esse valor máximo se refere a água do poço 160 pertencente ao Sistema Aquífero Barreiras, nas proximidades da Prainha, sendo que os demais valores se encontram abaixo de 250 mg/L (Apêndice C), limite máximo definido como padrão de potabilidade pela Portaria Nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. De uma forma geral, observa-se que o cloreto existente nos dois sistemas aquíferos da área se apresenta com baixa concentração na quase totalidade das amostras, envolvendo os dois períodos de coletas. A configuração gráfica da Figura 23 mostra, estatisticamente, a disposição quantitativa deste parâmetro em relação aos períodos seco e chuvoso na área entre Nov/2011 e jun/2012.

Figura 23 – Concentração de cloretos nas águas subterrâneas da área de estudo.



➤ Nitrato (NO_3^-)

A variação do nitrato presente em diversas águas é grande. O nitrato existente no solo tem várias origens, a partir do nitrogênio dos detritos vegetais, dos fertilizantes nitrogenados e de quantidades adicionais provenientes de água de esgoto. Altas concentrações podem resultar das penetrações diretas de água de superfície ou de água poluída de camada sobrejacente (JOHNSON DIVISION, 1978). Nesse sentido, Bower, 1978 apud Santos (1997) afirma que o nitrato é muito móvel e pode ser removido das camadas superiores do solo para atingir as águas dos aquífero.

De acordo com Chowdhury (2003), o nitrato é altamente móvel em água subterrânea e suas altas concentrações podem ser devidas as elevadas quantidades de oxigênio dissolvido e ao acentuado poder de diluição que ocorre nos aquíferos, principalmente em pontos rasos, onde o nível estático se encontra mais próximo da superfície do terreno.

O nitrato representa o estágio final de oxidação da matéria orgânica e as águas subterrâneas apresentam teores que variam entre 0,1 a 10 mg/L, sendo que valores acima de 5 mg/L podem se indicativos de contaminação das águas por atividade humana. Altas

concentrações de nitrato podem ser prejudicial a saúde de crianças ou até levá-las a morte por metahemoglobinemia (cianose) em casos extremos.

O controle de uso da água em relação ao limite padrão de potabilidade está associado ao íon nitrato (NO_3^-) ou ao nitrogênio (N). No primeiro caso, o limite desejável é de 45mg/L (LOGAN, 1965), enquanto que no segundo (N-NO_3^-) o padrão considerado é de 10mg/L limites estes utilizados pela Portaria N° 2.914/2011/MS. No contexto das amostras analisadas para esse estudo, o N-NO_3^- representa o parâmetro referencial para as análises do nitrato, considerando-se, portanto, o limite de 10mg/L, conforme já mencionado na portaria citada.

Em relação a área de pesquisa, salienta-se que no período seco (Nov/2011), somente em 16 análises foram detectados valores numéricos de concentração, ou seja, foi encontrado uma quantidade mínima de 0,8 mg/L (Apêndice C), diferente das análises do período pós-chuva que se detectou valores de concentração em todas as amostras. Tal fato deve-se provavelmente, ao efeito da influência das chuvas que contribuiu com o surgimento de resíduos sólidos e matéria orgânica nas zonas de recargas dos aquíferos.

Nesse quadro é caracterizado, também, que das 26 amostras da área de estudo, 5 (19%) se mostraram com concentrações de N-NO_3^- acima do máximo permitido para o padrão de potabilidade (10 mg/L) nas duas estações semestrais. Trata-se dos poços de números 36, 144, 162, 51 e 58, sendo que os dois últimos foram acrescentados após o período chuvoso, além de se observar um aumento da concentração dos demais com o efeito das chuvas, comparado ao período seco. Desses 5 poços, 3(60%) estão distribuídos sobre os Sistemas Aquífero Barreiras e 2 (40%) no Dunas, todos localizados em regiões afastadas da sede municipal de Aquiraz, onde não existe instalação de esgoto

A presença anormal do nitrato pode estar associada a problemas de saneamento e a outros fatores, tipo, adubo nitrogenado, resíduos de animais e plantas. Dentro desse contexto, a amostra do poço 36 (chafariz na localidade Novo Aquiraz) foi o que apresentou maior valor de contaminação por nitrato, com 58,2 mg/L de N-NO_3^-

➤ Ferro total

O ferro é um elemento químico que está presente em todas as águas potáveis. Sua ocorrência está associada a diversas formas químicas e ocorre principalmente de Fe^{+2} (hidróxido ferroso) e Fe^{+3} (estado férrico), ou seja, o ferro no estado ferroso torna-se instável

quando em contato com o oxigênio do ar, mudando para o férrico. De acordo com Santos (1997), o alto teor de ferro nas águas subterrâneas pode estar ligado a ocorrência de ferrobactéria, corrosão do revestimento ou filtro do poço, além de ser adquirido também através da bomba e do encanamento. A condição do ferro total deve estar relacionada ao envolvimento dessas duas variedades iônicas do referido elemento (ferroso e férrico).

A Johnson Division (1978) destaca que o teor de ferro na água potável não deve exceder a 0,3 mg/L, mesmo que o corpo humano necessite de 5 a 6 mg/dia de ferro. Esse valor corresponde, também, ao mesmo limite estabelecido pela Portaria Nº 2.914/2011-MS que disciplina o valor máximo desse elemento na água como padrão para o consumo humano.

Na área de estudo, a presença do ferro nas águas dos sistemas aquíferos está basicamente relacionada as rochas sedimentares terciárias do aquífero Barreiras e dos depósitos dunares quaternários. Tal fato se justifica em função da presença do ferro nas rochas do Barreiras e da influência marinha em relação as dunas, onde pode existir a presença de minerais ferro-magnésiano. Cavalcante (1998) relata que as maiores concentrações do referido elemento estão vinculadas a áreas costeiras e que estão muitas vezes associadas a existência de mangues.

Os valores encontrados neste trabalho para os dois períodos climáticos, estão quase todos abaixo do limite de detecção, conforme Apêndice C. Apenas a amostra do poço 80 (escavado), próximo a lagoa do Catu, apresentou o valor significativo de 3,74mg/L, mostrando que as águas dos dois sistemas aquífero se encontram em condições de uso em relação ao limite potável definido na portaria Nº 2.914/2011-MS.

8.2.1.1 Classificação iônica

De acordo com Fetter (1994), a maior parte dos compostos iônicos existentes nas águas naturais é constituído dos íons Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , CO_3^{-2} , HCO_3^- e SO_4^{-2} . Esses compostos iônicos podem ser graficamente representados através de uma composição percentual no diagrama de Piper (1944), *apud* (FETTER, *op. cit.*), que mostra a classificação dos íons dominantes nas análises, a partir dos valores em meq/L, plotados nesse gráfico.

No contexto da área de estudo, a classificação iônica para as 26 amostras coletadas no período seco (nov/2011) mostrou que as águas subterrâneas dos dois sistemas aquíferos são predominantemente Cloretadas (65%) Sódicas (80%), vindo em seguida as Mistas

(34%) e Bicarbonatadas (19%) (Figura 24). Em relação ao período pós-chuva (Maio/Jun/2012), observa-se um domínio iônico desses dois compostos e mostra que as amostras analisadas são Cloretadas (50%), Sódicas (53%) e Mistas (38%) (Figura 25).

Tais resultados comprovam as características hidroquímicas desses compostos, pois segundo Santos (1997), esses dois elementos são muito estáveis em solução e de difícil precipitação, além de serem muito abundantes nas águas subterrâneas, mostrando a alta solubilidade do cloreto, associado ao lento movimento das águas subterrâneas e o gradativo aumento do sódio em direção as partes mais confinadas dos sistemas aquífero. Localmente, a presença constante do sódio e cloreto no Aquífero Barreiras, deve está associada a sua ampla distribuição na composição nos minerais fontes provenientes do continente, enquanto que no Aquífero Dunas, parte dos mesmos deve está relacionados a influência do mar.

Figura 24- Diagrama de Piper mostrando a classificação iônica referente ao período seco (nov/2011).

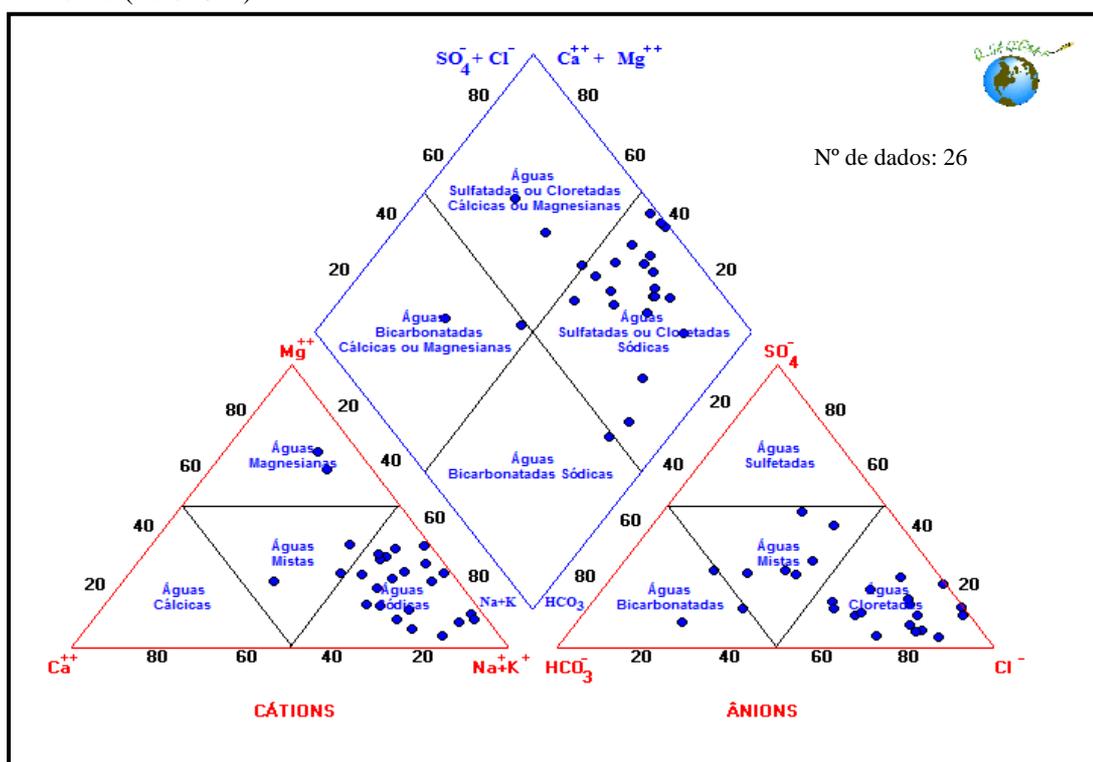
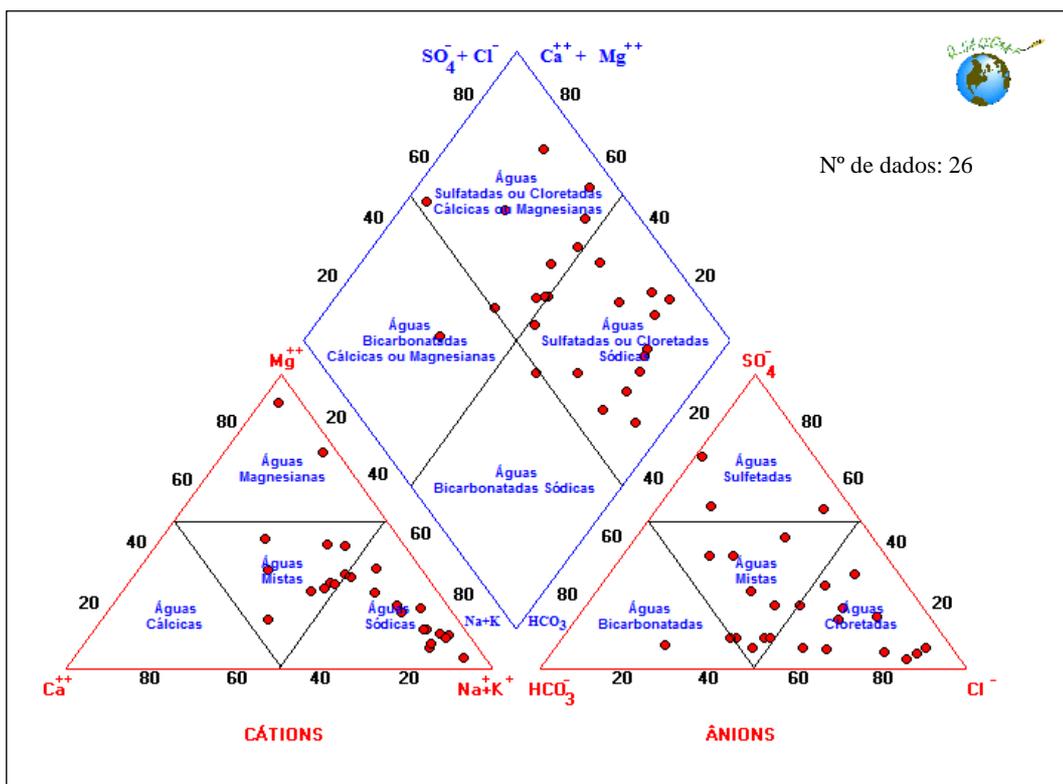


Figura 25 – Diagrama de Piper que mostra a classificação iônica referente ao período pós- chuva(jun/2012).



8.2.2 Monitoramento das águas subterrâneas

O monitoramento das águas subterrâneas na área de estudo está relacionado a obtenção sistemática e temporal de informações específicas, representados pelos aspectos físico-químicos, correspondentes a pH, temperatura, STD, condutividade elétrica e salinidade, cujo levantamento foi realizado a partir de medições diretas no campo, visando gerar informações mais abrangentes sobre os aspectos qualitativos das águas subterrâneas investigadas.

O levantamento dos valores paramétricos é obtido com base em medições feitas nos 27 poços selecionados. O mapa da Figura 26 mostra as posições dos referidos pontos distribuídos sobre os aquíferos, dentro de uma concepção representativa geoambiental que procura envolver toda área, considerando principalmente o uso da água subterrânea. Com esse propósito foram definidas também as condições para uma frequência temporária bimestral que correspondesse a uma variação climática, iniciando-se em novembro de 2011 e terminando em junho/2012.

De acordo com Mestrinho (2008), o monitoramento qualitativo é um procedimento contínuo para a obtenção de dados que permitam a avaliação das águas subterrâneas, fornecendo informações relacionadas a condição e característica química da água, possibilitando, principalmente, a formulação de diagnóstico e prognóstico sobre alguma evidência de contaminação ou anormalidade da água. No contexto dessa pesquisa, as condições de monitoramento estão voltadas para os aspectos da qualidade da água, podendo se considerar que tipo de anormalidade possa ocorrer a partir dos valores detectados nos parâmetros, principalmente em alguns poços situados, provavelmente em setores que possam apresentar situação de risco ambiental e comprometer a qualidade das águas subterrâneas, a exemplo de intrusão salina nos setores próximo ao mar.

Os dados pesquisados tiveram medição direta no campo sendo que, no contexto geral dos parâmetros, são considerados os referenciais estatísticos representados pelos valores mínimos, médios e máximos, mostrando os aspectos quantitativos medidos nas 4 fases do monitoramento. Além da caracterização dos dados do Apêndice D, os valores encontrados são avaliados, também, através de gráficos que podem revelar a variação desses elementos nas fases temporais consideradas.

Através do entendimento dos valores medidos, são mostradas considerações que tem como base as circunstâncias temporal e espacial no âmbito dos aquíferos da área, envolvendo as etapas previstas do monitoramento. Nesse sentido, os valores dos 3 principais parâmetros levantados (pH, CE e STD) podem ser considerados como elemento comparativo com as análises de laboratório antes realizadas, visando a caracterização da qualidade das águas.

Mapa em A3 PDF referente ao monitoramento – figura 26 (A3)

Os dados de resistividade e salinidade fazem parte também dos parâmetros medidos no monitoramento e possuem ao mesmo tempo uma relação direta com o STD.. Nesse contexto, são mostradas as informações de cada parâmetro medido no campo nas 4 etapas bimestrais, usando-se como base as considerações técnicas já apresentadas para as análises físico-químicas. Para esse fim os dados encontrados são estatisticamente em mínimo médio e máximo, representando os valores quantitativos medidos nas 4 etapas do monitoramento. Além das tabelas do Apêndice D, os valores medidos são representados através de gráficos que podem revelar a variação desses parâmetros nas fases temporais consideradas.

pH – Os dados de monitoramento encontrados para esse parâmetro, a partir do Apêndice D apresentam valor médio em torno de 6,1 assemelhando-se ao valor médio de 6,05 obtidos nas análises laboratoriais, caracterizando uma água de natureza levemente ácida e dentro do padrão da Portaria N° 2.914/2011-MS, que define um limite de potabilidade entre 6 a 9,5.

CE – A condutividade elétrica (CE) representa outro parâmetro relevante medido nesse monitoramento, cujos dados existentes no Apêndice D mostram-se compatíveis com os resultados gerais das análises laboratoriais. A primeira etapa de medição (Nov./2011) mostra um valor médio geral de 448 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e máximo de 1.369 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) para as águas do poço 160, seguido de 1.234 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) das águas do poço 158, sendo esse último localizado na faixa costeira na região da Prainha.

STD – Esse parâmetro apresentou uma variação média entre 228 a 260 mg/L no espaço das 4 medições bimestrais feitas em campo, com máximo de 685 mg/L, dados compatíveis com os valores encontrados nas análises laboratoriais antes realizadas. Contextualmente, os resultados mostram que as águas subterrâneas da área se apresentam dentro do limite de potabilidade determinado pela Portaria n° 2.914, que é de 1000 mg/L.

O referido parâmetro possui uma relação direta com STD, implicando que quanto mais ionizada for a água, maior será sua capacidade de transmitir corrente elétrica, pois de acordo com Johnson Division (1978) na maior parte das águas subterrâneas a condutância é proporcional a quantidade de minerais dissolvidos. O exemplo do poço n° 73 com um valor baixo de condutividade elétrica (1,28 $\mu\text{S}/\text{cm}$), deve ser atribuído localmente a baixa dissolução de sais e a provável influência da lagoa do Catu, que pode apresentar conexão com os Sistemas Barreiras e Dunas.

Uma ênfase geral do comportamento desses 3 parâmetros monitorados estão focalizados no contexto da Tabela 12, onde estão distribuídos estatisticamente, os valores mínimo, médio e máximo que envolvem também os dados dos outros dois parâmetros medidos (a resistividade e salinidade). Os dados condensados representam o primeiro período bimestral de medição (Nov/2011), que integra os 4 existente no Apêndice C.

Tabela 12 – Dados estatísticos das medições bimestrais dos parâmetros de monitoramento dos poços pesquisados na área, referentes ao primeiro período (Nov/2011).

PARÂMETRO ESTATÍSTICO	PARÂMETROS MEDIDOS NO MONITORAMENTO				
	pH	STD (mg/L)	CE(μ S/cm)	RES.(Ω .cm)	SAL
Mínimo	3,7	0,64	1,28	$1,02 \times 10^{-3}$	0,01
Médio	6,1	228	448	$3,3 \times 10^{-3}$	0,22
Máximo	7,27	685	1.369	$1,93 \times 10^{-3}$	0,68

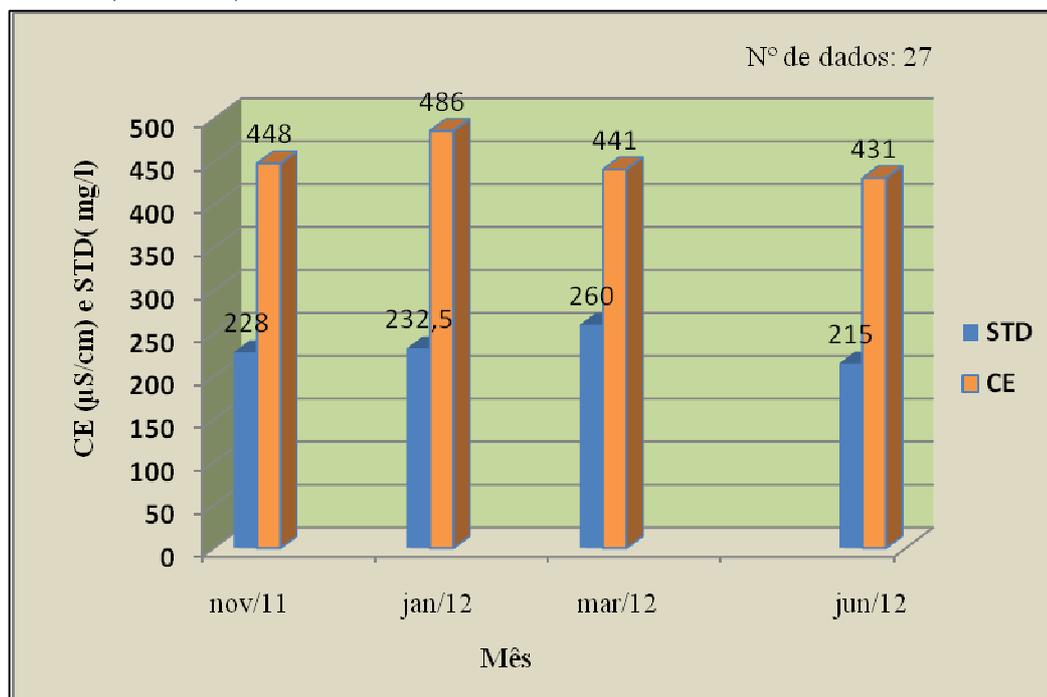
Legenda: STD = Sólidos Totais Dissolvidos; CE = Condutividade Elétrica; RES = Resistividade; SAL= Salinidade

A análise dos dados apresentados na Tabela 12 revela uma média de 448 μ S/cm para a condutividade elétrica, além de um extremo mínimo de 1,28, μ S/cm que deve ser atribuído a baixa dissolução de sais nas águas do poço 73 que fica próximo a lagoa do Catu, existente no Sistema Aquífero Barreiras (Apêndice B).

A condutividade elétrica e o STD preservam seus valores médios equilibrados na faixa de 440 a 480 μ S/cm e 228 a 260 mg/L, respectivamente, para os 27 poços monitorados (Apêndice D) na primeira fase (Novembro/2011), conforme visto no gráfico da Figura 27.

De acordo com as informações levantadas, presume-se que o comportamento dos dados esteja relacionado com as condições climáticas da estação seca, não havendo, portanto, interferência pluviométrica nos parâmetros representados dos Sistemas Aquíferos, seja Dunas ou Barreiras. Os valores médios representam o nível de salinidade que as águas subterrâneas da área possuem e que se enquadram dentro dos limites de potabilidade de até 1000mg/L previsto pela Portaria Nº 2.914 do Ministério da Saúde.

Figura 27 – Aspectos dos dados médios de monitoramento dos parâmetros Condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) referente a etapa inicial (Nov/2011).



Na continuidade da sequência paramétrica antes abordada, a resistividade representa o inverso da condutividade elétrica, diminuindo com o aumento desta e também com a diminuição do STD. Nesse mesmo contexto dos parâmetros se inclui a salinidade que possui uma relação entre os sais dissolvidos e condutividade, a partir do peso dos sais, através de um determinado volume de água.

Os demais parâmetros complementam as informações de monitoramento no contexto sequencial das etapas previstas de medições, evidenciando as prováveis diferenças de valores que venham ser apresentadas em função da variação temporal e climática. Nesse sentido, pode ser observado que de uma forma geral, os dados paramétricos medidos se mantêm aproximadamente dentro de um mesmo padrão nas quatro fases do monitoramento, somente com relação aos valores médios e máximos.

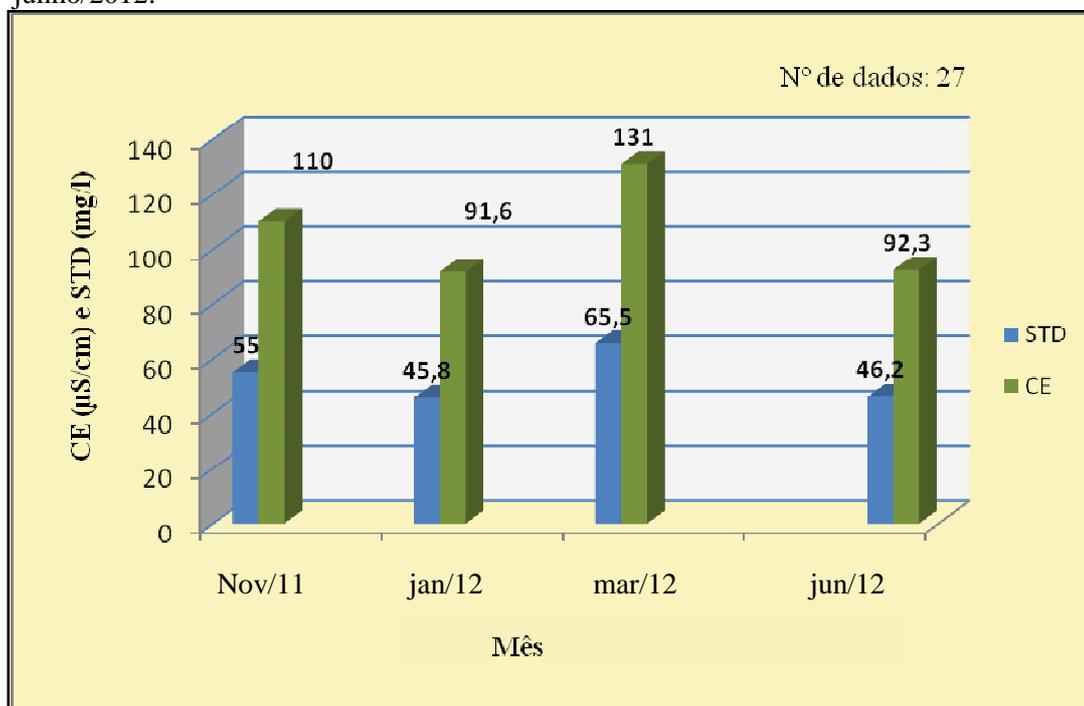
Diferente dos valores médios abordados da condutividade e STD, os dados mínimos encontrados apresentam uma variação mais diversificada nas 4 fases de medição, já se observa uma alternância dos dados de concentração na sequência dos meses monitorados, sendo notado uma aproximação de valores em relação aos meses de Janeiro e Jun/2012 (Figura 28). Esse quadro deve ter relação específica com a influência chuvosa dos referidos meses.

Destaca-se, entretanto, que a condição mínima dos dados monitorados tem como exemplo a situação particular da água do poço 73, cuja concentração de sais em todos os períodos, se mostra incipiente, sendo que tal fato pode estar relacionado a sua proximidade com a lagoa do Catu. É importante considerar que o aumento do mínimo desses parâmetros em Março/2012 se deve logicamente, a ocorrência da dissolução de alguns minerais em decorrência da estação chuvosa que ocorre nesta época do ano. Esse comportamento é numericamente demonstrado na Figura 28 no decorrer do monitoramento, quando se confirma o equilíbrio de concentração dos referidos componentes nos meses de Março e Junho/2012.

Considerando a fase conclusiva das etapas do monitoramento, observa-se que para todas, os dados máximos se mantiveram na mesma faixa de valores, principalmente em relação aos parâmetros de STD, condutividade elétrica e fatores correlacionados, já que pela dificuldade de acesso ao poço, não foi possível se efetuar a medição do pH do último período, conforme consta no Apêndice D.

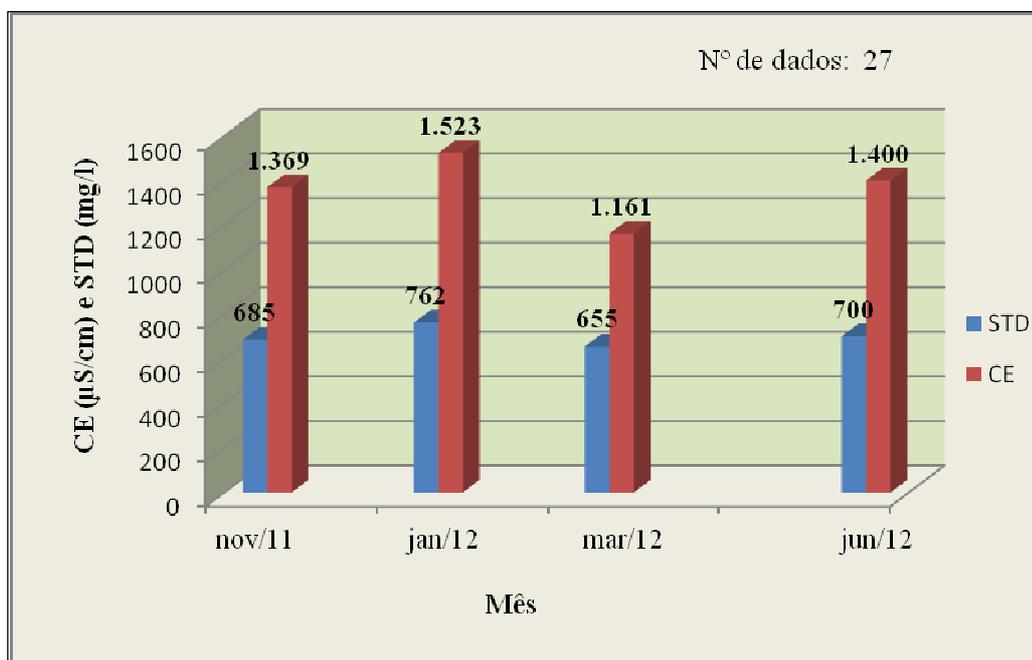
Nesse contexto, nota-se que a segunda fase de medição (Janeiro/2012, Apêndice D), foi a que registrou maiores valores para STD e CE devido, provavelmente maior dissolução de sais nos sistemas aquíferos com a presença das primeiras chuvas que ocorreram no referido mês. A caracterização dessa situação dos valores máximos no decorrer do monitoramento pode ser demonstrado no gráfico da Figura 29, quando se constata um certo equilíbrio do STD em todas as etapas do monitoramento, enquanto que a condutividade elétrica se mostrou mais oscilante, principalmente no mês de Março/2012.

Figura 28 - Comportamento gráfico dos valores mínimos de Condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) do monitoramento com base no Apêndice D, observando-se os valores equilibrados desses parâmetros nos meses de janeiro e junho/2012.



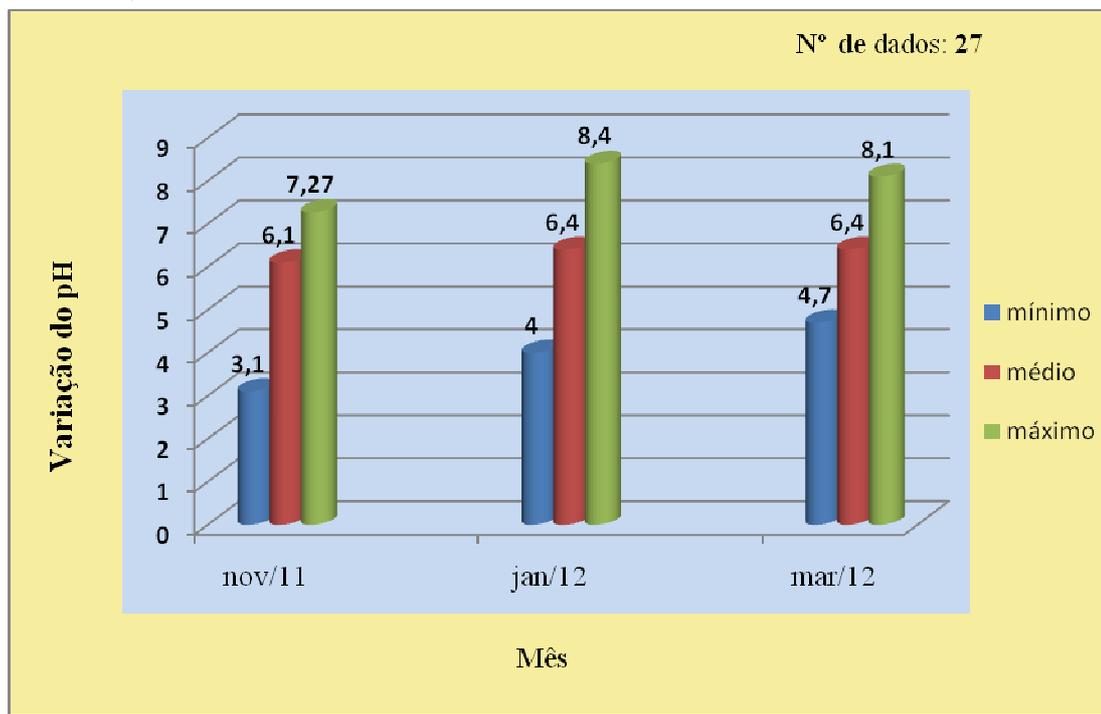
No cenário desses parâmetros monitorados e medidos em campo, o pH representa outro dado relevante na caracterização da qualidade das águas subterrâneas na área, onde é mostrada a sua variação e a definição nas diferentes etapas de medição, sendo registrado valores na faixa de 5 a 6, indicando de uma forma geral, o caráter ácido para maioria das águas subterrâneas pesquisadas.

Figura 29 – Aspectos dos valores máximos monitorados dos Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e da Condutividade Elétrica (CE) durante os 4 períodos de medições.



Considerando o contexto dos 27 poços monitorados (Apêndice D), os valores mais elevados de pH (8,43 e 8,32) estão posicionados nas adjacências da faixa praiana, mais precisamente nas localidades da Prainha e do Hotel-parque Itacaranha (poço 159), cujas águas se apresentam alcalinas. O gráfico da Figura 30 destaca a variação do pH nas etapas do monitoramento, observando-se que valores médios se mantêm em torno de 6, limite mínimo de potabilidade definido na Portaria N° 2.914/2011-MS, que estabelece um padrão potável para o pH entre 6 a 9,5.

Figura 30 - Comportamento do pH nas 3 etapas de monitoramento (Nov/2011, Jan e Mar/2012).



É importante considerar que no geral dos pontos monitorados, alguns poços possuem água com valor de pH entre 3,4 a 4,7, demonstrando a existência de águas ácidas, principalmente no Aquífero Barreiras. Exemplo disto tem-se nas águas do poço 58 (localizado na Tapera), responsável pelos valores ácidos elevados (3 e 4). Segundo Cavalcante (1998), essa situação pode estar relacionada a presença do ferro existente na composição mineralógica das rochas dessa formação sedimentar.

Finalmente, a Foto 12 mostra o aspecto prático de uma das medições no monitoramento no poço 86, referente a um chafariz público na localidade do Pau Pombo, nas adjacências do Distrito da Tapera em trecho do Sistema Aquífero Barreiras, observando-se o conjunto de instrumentos (condutivímetro e um medidor de pH) utilizados nas medições.

Foto 12 – Medição dos parâmetros (pH,STD, condutividade elétrica, resistividade e salinidade) no período de monitoramento no chafariz do Pau-Pombo (jan/2012).
Coord.:9561997/573021



Fonte: autor

8.1.3 Análises bacteriológicas

No estudo contextual da qualidade das águas subterrâneas inclui-se, também, 16 análises bacteriológicas em águas dos 30 poços visitados, considerando-se basicamente as condições geoambientais, sociais e urbanas, envolvendo os períodos seco e chuvoso (Nov/2011 e Jun/2012). Essa variação temporária está associada ao fato de que a qualidade da água subterrânea pode mudar ao longo do ano em função de condições meteorológicas e de lançamento de poluentes.

A poluição do meio ambiente e a contaminação das águas de abastecimento têm causado muita preocupação aos setores que exercem o controle sobre a qualidade no sentido de evitar o surgimento de doenças de veiculação hídrica, derivadas da presença de germes patogênicos provenientes de várias fontes, tipo esgotos domésticos, fossas sépticas e águas superficiais poluídas que infiltram para o sistema aquífero.

No campo das considerações microbiológicas, Silva e Salgueiro (2001) *apud* Mota Silva *et al.* (2005) abordam que a água é um recurso natural imprescindível às diversas atividades humanas e necessária para suprir as exigências do mundo moderno, seja a sua origem proveniente de fontes superficiais ou subterrâneas. De outra forma, a determinação da qualidade sanitária da água requer uma apreciação segura, pois mesmo apresentando uma condição física livre de sabores e odores, pode se encontrar bacteriologicamente contaminada (PELCZAR *et al.*, 1981).

As condições em relação aos limites de potabilidade da água associados a qualidade bacteriológica, são regidas pela Portaria N° 2.914/2011 do Ministério da Saúde do Brasil, que dispõe sobre o controle da qualidade dessa água para o consumo humano, informando que a mesma deve estar em conformidade com o padrão microbiológico existente.

As 26 amostras do Apêndice C, coletadas para os dois sistemas aquíferos, em dois períodos climáticos, foram extraídas do Apêndice F (30 poços visitados), onde 81% dos valores são menores que o limite de detecção (LD) de 1,8 NMP/100mL, ou seja, somente 19% (3 amostras) apresentaram valores anormais de coliformes totais (C.T.), que vieram a ser especificamente alterados no período chuvoso, sendo as amostras coletadas nos poços 31, 76 e 79, localizados na sede municipal e nas proximidades da lagoa do Catu com valores de 79; 79 e 23 NMP/100mL, respectivamente.

Para o período chuvoso foram levantados e considerados os dados referentes apenas aos coliformes fecais, resultando em valores diferenciados, indicadores das presenças de bactérias e, especificamente, da *Escherichia coli* com valor de 780 NMP/100mL na água do poço 31 (sede municipal de Aquiraz), seguido da amostra do poço 79 com 4,00 NMP/100mL de coliforme fecal, mas que classifica a água como não potável do ponto de vista da Portaria 2.914/MS. A Tabela 13 mostra um quadro resumido dos principais resultados das análises bacteriológicas, extraídos do Apêndice F, cujos valores em NMP/100mL caracterizam a situação entre os períodos seco e chuvoso, enfocando os aspectos bacteriológicos nas duas fases do ano.

Tabela 13 – Amostras de águas subterrâneas com variações bacteriológicas em mudança climática nos períodos seco e pós-chuva (Nov/2011 e Jun/2012).

PERÍODO SECO			PÓS-CHUVA
AMOSTRAS	CT(NMP/mL)	CF(NMP/mL)	CF(NMP/mL)
31	79	< 1,8	780(E.Coli)(*)
76	79	< 1,8	< 1,8
79	23	< 1,8	4,00(*)

Legenda: CT = Coliforme Total; CF = Coliforme Fecal (termotolerante)
NMP = Número Mais Provável; 1,8 = Limite de detecção

Esses resultados revelam que 19% das amostras analisadas apresentam contaminação por coliformes totais e fecais e que somente no período chuvoso veio se caracterizar a presença da *Escherichia coli* na água do poço 31, localizado na sede municipal. Tal fato deve estar associado a existência de fossa séptica nas proximidades do poço afetado, já que sua localização se dá em um setor urbanamente adensado da referida sede. Além disso, a influência do período chuvoso pode ter contribuído para carreamento de efluente contaminado em direção ao poço. Entendimento semelhante pode ser considerado em relação a água do poço 79, localizado em um sítio à margem da lagoa do Catu onde existe a criação de animais na proximidade do poço, cujos excrementos podem ser transportados pela água de chuva nesse trecho do aquífero.

As possibilidades de contaminação bacteriológica estão associadas as várias situações que envolvem tipo de aquífero, profundidade do poço, distância poço/fossa, densidade urbana e falta de saneamento, dentre outros. Tais fatos levariam a adoção de medidas fundamentais que partiriam do projeto de construção do poço, considerando principalmente a profundidade e a constituição litológica do aquífero. Para esse fim, Lewis et al (1988) advertem com algumas considerações que impediriam a contaminação das águas subterrâneas a partir do poço, tais como: confinamento do aquífero, espessura da zona não saturada e sua composição litológica. Nesses aspectos, 70% dos poços utilizados para essa amostragem se encontram com profundidade entre 50 a 70 metros, o que justificaria a presença incipiente de contaminação por coliformes fecais na maioria desses poços coletados, onde a seção filtrante dos poços tubulares está posicionada em média, nos intervalos entre 15 a 45 metros, ao longo da profundidade desses poços no aquífero.

8.2.4 Uso das águas subterrâneas

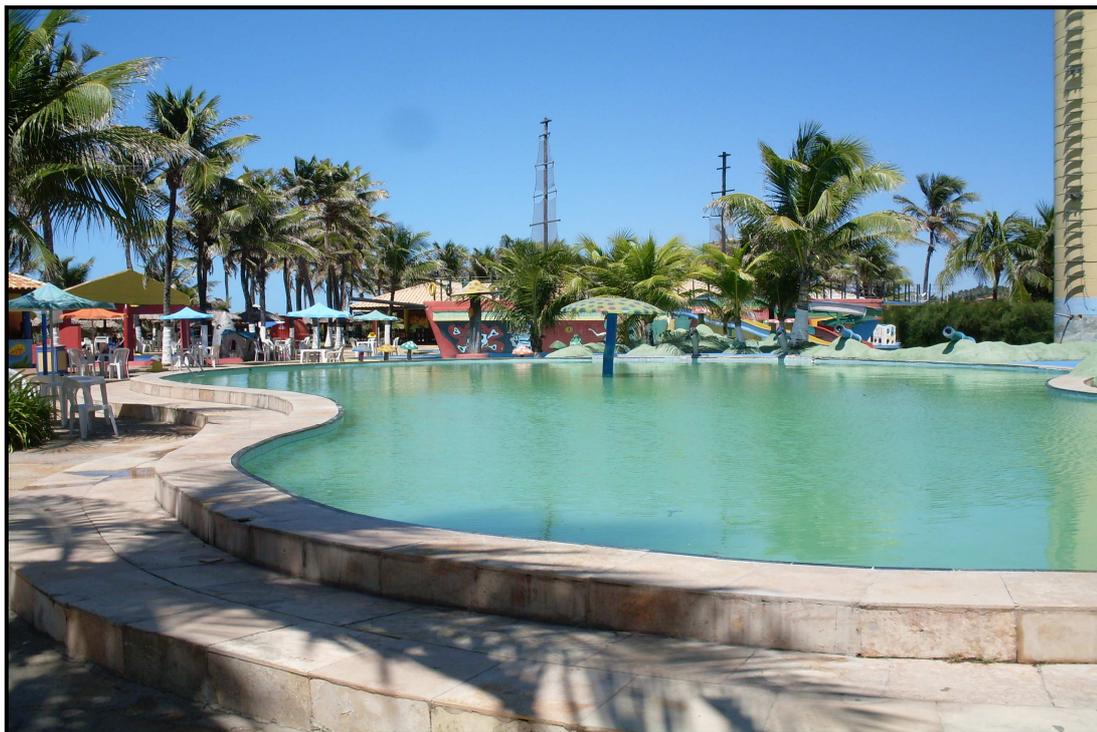
O uso da água de uma forma geral está associado às características qualitativas da água, visando sua utilização e aproveitamento. Segundo Custódio e Llamas (1983), a qualidade da água está relacionada à sua constituição físico-química e bacteriológica, permitindo estabelecer as possibilidades de sua utilização de acordo com os limites composicionais detectados nas análises, os quais direcionam o seu uso básico para potabilidade, agricultura e indústria. Nesse sentido, a classificação de uso da água subterrânea fica condicionada a sua composição e aos dados analisados que possibilitam os limites padrões para as três modalidades já descritas, usando-se como base a Portaria Nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde do Brasil e a Resolução 396/2008 do CONAMA.

Vale ressaltar que no contexto da classificação composicional, a água para consumo humano é aquela em que normalmente se considera as composições físico-químicas e bacteriológicas para as condições limites dos padrões de potabilidade, sendo que a indústria e a agricultura estão fundamentadas nos valores das concentrações químicas.

De acordo com Costa (2008), os recursos hídricos têm se intensificado com o desenvolvimento econômico, tanto no que diz respeito a quantidade demandada, quanto a variedade de utilizações. A evolução desses fatos contribuiu para que outros tipos de uso fossem surgindo, o que deu motivo a classificação de uso da água em consuntivo e não consuntivo, sendo o primeiro relacionado ao consumo para os usos doméstico, irrigação e indústria, enquanto que o segundo se refere a navegação, geração de energia elétrica e recreação observando, entretanto que a grande maioria desse tipo de uso está voltada para parte consuntiva.

No caso específico das águas subterrâneas, as demandas são predominantemente relacionadas ao uso consuntivo, tendo alguns casos particulares de uso dessas águas envolvidas na classe não consuntiva, quando são utilizados água de poço para abastecimento de piscinas, a exemplo do Itacaranha Parque (Foto 13), localizado na região da Prainha.

Foto 13 – Piscina do Itacaranha Park, na localidade da Prainha (faixa costeira), totalmente abastecida por água subterrânea (maio/2012). Coordenadas: 9570092/571318



Fonte: Autor (2012)

8.2.4.1 – Consumo Humano

As considerações abordadas, associadas aos aspectos químicos e bacteriológicos das amostras analisadas, revelam que as águas subterrâneas da área de estudo se apresentam em condições normais de potabilidade em várias formas de uso dentro dos padrões definidos pela Portaria Nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. As características das 26 amostras coletadas mostram não existir muita diferença hidrogeológica e ambiental nos Sistemas Aquífero Dunas e Barreiras, a exceção de concentrações mais elevada de STD em apenas duas amostras pertencentes aos poços 158 e 51, localizados na região da Prainha (Aquífero Dunas), sendo que os valores encontrados estão abaixo do padrão limite definidos.

Outras considerações no contexto da potabilidade podem ser observadas também em relação ao ferro e ao nitrato, cujas concentrações estão ocasionalmente acima dos limites padrão previstos na referida Portaria. Nesse sentido, conforme as tabelas de dados físico-químicos no Apêndice D, apenas a amostra do poço 80 mostrou o valor anormal de ferro total, enquanto que as amostras dos poços 36, 51, 144, 58 e 162 apresentaram valores anormais, ultrapassando os limites (0,3 de ferro e 10mg/L de $N-NO_3^-$ para nitrato). De acordo com o posicionamento desses poços, a presença anormal do nitrato pode está associado a

problemas ambientais, envolvendo relação do poço com a fossa e também a presença de mangue soterrado na faixa costeira.

De outra forma, os aspectos bacteriológicos estão relacionados as amostras 31, 76 e 79 com variações microbiológicas com presença de *Echeríschia Coli* no poço 31(chafariz público da rua Francisco Faustino), correspondendo apenas a 18% dos pontos selecionados. Tal situação revela que no contexto do uso da água para consumo humano, não se pode garantir na área nenhuma estrutura geológica ou condição que impeça a contaminação dos aquíferos, nem tampouco um controle na qualidade que demonstre um aperfeiçoamento dos aspectos organolépticos, já que as características de cor odor e sabor não tem demonstrado nem um aspecto indesejável no uso da água subterrânea desses poços.

8.2.4.2 Irrigação

O uso da água subterrânea no aspecto da irrigação representa mais uma forma potencial de como essa água pode ser utilizada em áreas que possibilitem o desenvolvimento agro-industrial. Para esse fim, torna-se necessário o conhecimento dos efeitos da composição química da água, associando-a ao tipo de cultura que vai ser irrigada e o tipo de solo.

Essas considerações já foram apresentadas no quadro metodológico, cuja aplicação está caracterizada através da Equação 01, utilizada para cálculo do SAR, sendo que sua relação com a condutividade elétrica (CE) está relacionada na Tabela 13.

Santos (1997) aponta que um dos critérios mais indicados para a classificação do uso da água na agricultura está relacionado ao conteúdo de STD, expresso pela condutividade elétrica da água a 25°C e pela Razão de Adsorção do Sódio (SAR). Esse índice revela as condições de utilidade da água para a irrigação e mostra ao mesmo tempo a sua relação iônica com o cálcio e o magnésio que podem influir na composição química do solo irrigado. Segundo a Johson Division (1978), quando o valor desse índice é superior a 10 é considerado perigoso para o solo no que diz respeito ao seu aproveitamento para a agricultura. Paralelamente, Santos (*op.cit.*) destaca também que para a condutividade elétrica na água, é estabelecido um limite inferior a 2.000 µMho/cm, valor esse considerado adequado para o desenvolvimento dos vegetais.

Dentro do contexto abordado, a classificação geral da água para agricultura se baseia essencialmente na relação dos valores limites do SAR e da salinidade, através da

condutividade elétrica, situação essa demonstrada nos diagramas das Figuras 31 e 32, onde se presencia a classificação do tipo de água utilizada na irrigação em função desses parâmetros. Nesse sentido, é considerado o posicionamento das amostras nos citados diagramas levando-se em conta os dados das análises nos períodos seco e pós-chuva.

Os dados apresentados na Tabela 14 mostram que as águas subterrâneas analisadas se apresentam em condições gerais de aproveitamento favorável à irrigação, não evidenciando riscos de alcalinização ou salinização nos limites da área de pesquisa. Observa-se que apenas as águas dos poços 29 e 161 apresentaram SAR elevado em relação ao limite 10, antes observado e que ocorreu em períodos climáticos diferentes. Os referidos poços são localizados em pontos diferenciados e não recebem influência marinha, atribuindo-se que o teor elevado pode estar associado a alguma rocha específica existente na zona de recarga que constitui o entorno desses poços.

Destaca-se, entretanto, que esse fato representa um caso isolado, não existindo portanto, razão ambiental ou geológica que justifique tal fato, já que os referidos poços se localizam em diferentes pontos do Sistema Aquífero Barreiras, não possuindo nenhuma relação com a influência marinha. De outra forma, observa-se na Tabela 14, que a condutividade elétrica (CE), para os dois períodos climáticos, se manteve com valores abaixo de 2.000 $\mu\text{Mho/cm}$, surgindo algumas elevações nas amostras 51 e 158, localizados na região da Prainha, em pontos que podem estar acessíveis à influência da cunha salina.

A relação entre a condutividade elétrica (CE) e o SAR é caracterizada, também, através do diagrama do *U.S. Salinity Laboratory*. As diferenças de concentrações dos componentes do diagrama são demonstradas pelos sub-índices numéricos, cujos valores variam de 1 a 4. Estes dados permitem que a água seja classificada com as anotações C_1-S_1 , em que os sub-índices maiores que 2 representem a má qualidade da água.

A classificação das águas da Figura 31 (período seco), revela que 65% das amostras se enquadram na classificação C_2-S_1 , caracterizando águas de média salinidade (condutividade elétrica compreendida entre 250 e 750 $\mu\text{Mho/cm}$) e fraco teor em sódio, podendo ser usada com precaução em solos siltosos e silto-arenosos, direcionadas ao cultivo de quase todos os vegetais.

Tabela 14 - Relação entre o SAR (Razão de Adsorção do Sódio) e a CE (condutividade elétrica) das águas subterrâneas da área, envolvendo os períodos secos e pós-chuva.

Período Seco			Período Pós-chuva		
Nº do ponto	SAR	Condutividade. Elétrica (µS/cm)	Nº do ponto	SAR	Condutividade Elétrica (µS/cm)
20	1,66	335	20	1,84	497
26	2,26	352	26	1,51	367
29	12,26	482	29	6,78	687
31	2,59	250	31	1,87	266
36	3,06	798	36	1,69	560
163	3,2	344	163	5,17	317
48	1,11	619	48	1,31	815
51	2,88	706	51	1,84	1.504
161	7,44	488	161	12,51	825
54	0,49	361	54	6,16	606
83	2,03	198	83	1,23	177
158	4,8	1.150	158	1,27	1.157
144	1,81	442	144	1,06	547
159	1,04	328	159	1,07	296
160	3,97	1.309	160	2,02	283
4	7,65	446	4	7,94	804
18	0,37	103,8	18	0,45	255
41	2,36	428	41	6,37	531
58	1,87	251	58	4,36	375
73	1,00	93	73	2,01	138
76	2,60	197	76	1,57	306
79	2,67	252	79	3,65	334
80	1,50	111	80	0,37	192
85	3,35	587	85	4,39	657
86	2,77	173	86	2,94	177
162	2,71	460	162	1,68	426

Na Figura 32 (período pós-chuva), observa-se ter ocorrido certa semelhança em concentração e distribuição da maioria das amostras (58%) nos domínios do campo $C_2 - S_1$, conforme visto na Figura, preservando as mesmas características para o baixo teor de sódio e média salinidade. Nesse contexto, houve apenas uma pequena diminuição da concentração dos pontos, implicando em uma distribuição mais espalhada para os campos $C_1 - S_1$ e $C_3 - S_1$, fato que mostra um pequeno aumento da salinidade nesse período, associado a uma provável lixiviação em função das chuvas. Esse quadro reflete também características de uma água que deve ser usada preferencialmente em solo silto-arenosos e no cultivo de quase todos os vegetais.

De uma forma geral, observa-se que as águas subterrâneas da área apresentam uma composição hidroquímica compatível com as condições arenosas dos depósitos dunares e dos sedimentos areno-argiloso do Barreiras.

Figura 31 – Diagrama de classificação das águas subterrâneas para irrigação, conforme o U. S. Salinity Laboratory, referente ao período seco (nov/2011).

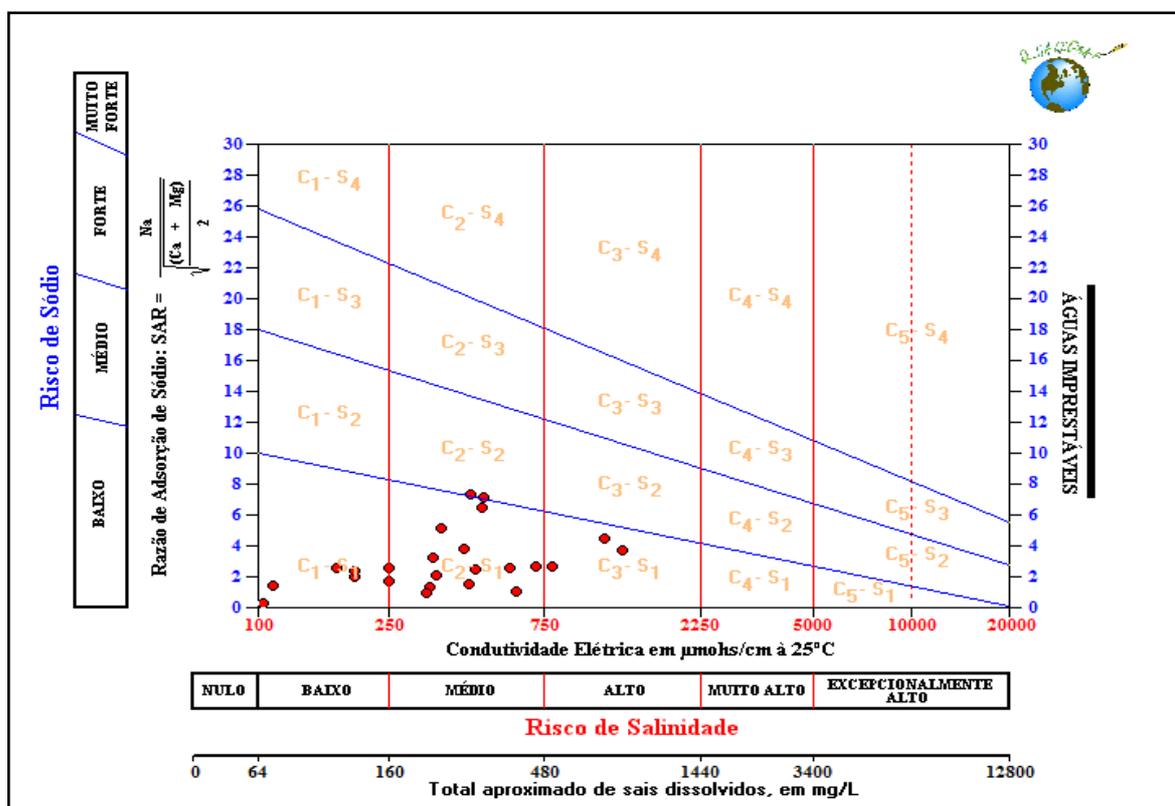
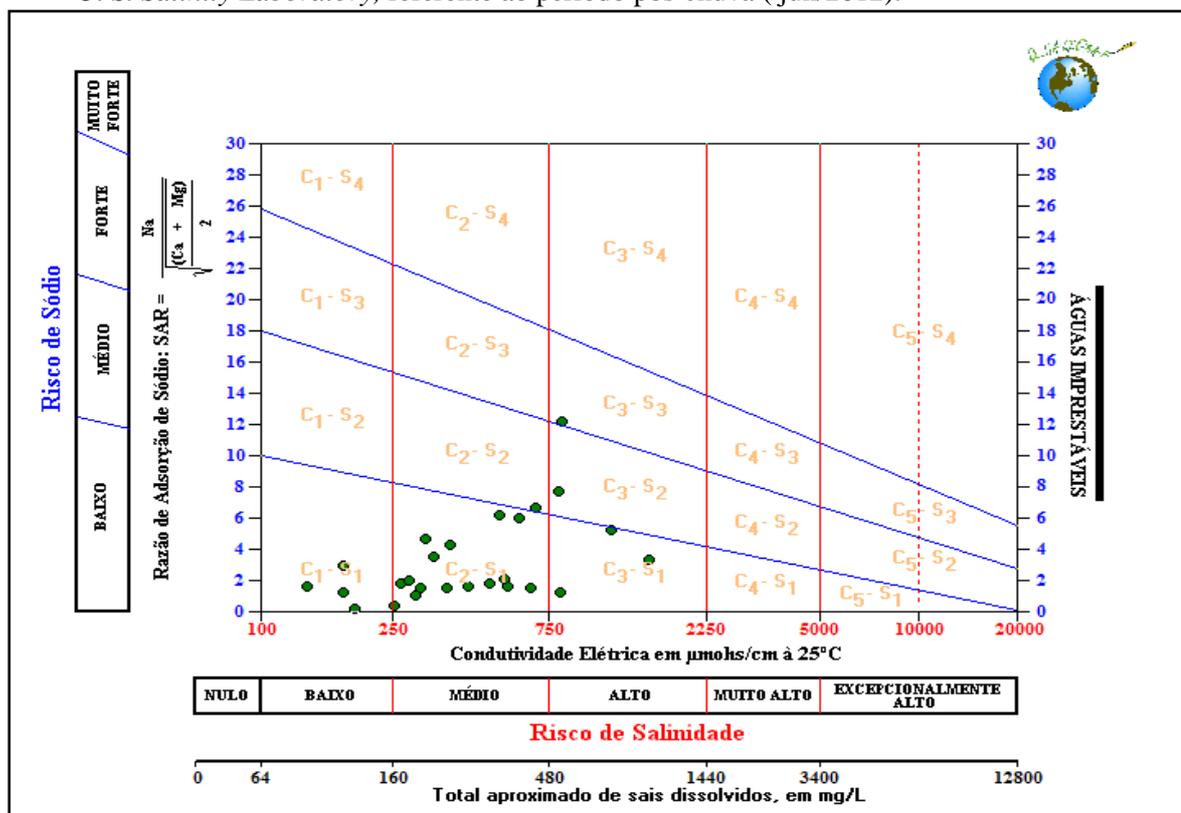


Figura 32 – Diagrama de classificação das águas subterrâneas para irrigação, conforme o *U. S. Salinity Laboratory*, referente ao período pós-chuva (jun/2012).



8.2.4.3 Indústria

Diferente da modalidade de uso humano e na irrigação, a água para indústria requer uma diversidade de padrões de uso em função das diferentes aplicações em que ela pode ser utilizada e da sua composição físico-química relacionada a cada aplicação.

De acordo com Ribeiro (2001), as impurezas presentes nas águas podem encontrar-se dissolvidas ou em suspensão, sendo que as primeiras devem ser provenientes de gases, líquidos ou sólidos solúveis e as segundas serem originadas de sólidos particulados ou colóides. As técnicas industriais, entretanto, contribuem para que as águas de composições diferentes possam ser utilizadas para qualquer uso industrial, se adequando a determinada situação específica.

Dentre os vários parâmetros analisados nas águas para fins industriais, o que mais afeta a maioria das indústrias é a capacidade de ataque químico que revela o caráter de agressividade hídrica, neutralidade ou incrustabilidade, podendo afetar caldeiras das indústrias, provocando incrustação ou corrosão. Visando direcionar a utilização das águas a

essas diversidades industriais, com base em Santos (2008) *apud* (Mathess, 1982; Szikszay, 1993; Driscoll, 1986), a Tabela 15 mostra alguns padrões de uso da água na indústria, relacionados aos parâmetros físico-químicos específicos e que podem ser comparados às análises da área de pesquisa.

Através dos dados físico-químicos das análises (Apêndice D) para os dois períodos de amostragem, comparados aos padrões de qualidade da (Tabela 15), pode se constatar que 90% das amostras se encontram em condições compatíveis de uso para indústrias, apresentando algumas restrições apenas para os parâmetros dureza e pH. Destaques nesse sentido referem-se as atividade de Cervejaria (3), Águas de Refrigeração (1) e Indústria de Laticínio (2), em que o parâmetro dureza foi o que se apresentou entre 40 a 50% com valores acima dos padrões previstos para esse tipo de atividade, principalmente na cervejaria. Acrescenta-se, entretanto, que dentro dos limites da área de pesquisa, existe a USIBRAS (usina de castanha de caju), considerada como a principal indústria de laticínio e que reconhecidamente consome água subterrânea em várias formas de aproveitamento.

É importante destacar que o pH teve seu aumento caracterizado na segunda fase de coleta, nas análises pertinentes ao período pós-chuva (Jun/2012). Nesta etapa, 34% das análises apresentaram valores entre 7,7 a 7,9, dados superiores ao limite previsto somente para a indústria de Cervejaria (3). As mudanças e/ou aumento do pH após a estação chuvosa deve-se provavelmente a migração de substâncias orgânicas, decorrentes da decomposição de raízes e resíduos de vegetais existente no solo e que são infiltrado no transcorrer das chuvas, conforme mencionado anteriormente.

Tabela 15 - Padrões de qualidade da água utilizada para indústria.

Parâmetro	Unidade	1	2	3	4	5	6
pH	-	-	-	6,5-7,0	-	-	8
Dureza	mg/L CaCO ₃	50	180	50-75	25	50	50
Alcalinidade	mg/L CaCO ₃	-	-	-	128	-	135
Cálcio	mg/L	-	-	200	-	10	-
Magnésio	mg/L	-	-	30	-	-	-
Cloreto	mg/L	-	30	100	250	100	-
Sulfato	mg/L	-	60	-	250	100	-
Nitrato	mg/L	-	30	10	-	-	-
Ferro	mg/L	0,5	0,3	0,1	0,2	0,25	0,2
Manganês	mg/L	0,5	0,1	0,1	0,2	0,25	0,2
Amônia	mg/L	-	Traços	-	-	-	-
STD	mg/L	-	500	1000	850	-	-

Fonte: Adaptado de Santos apud (Mathess, 1982; Szikszay, 1993; Driscoll, 1986)

Legenda:

1 – Águas de refrigeração 2 – Ind. Laticínios 3 – Cervejaria
4 – Ind. de bebidas e sucos de frutas 5 – Ind. têxtil 6 – Curtumes

8.3 Aspectos qualitativos das águas superficiais da lagoa do Catu

A lagoa do Catu, com 2,42 km², fica situada na parte central da área, sendo que no contexto da qualidade e uso pode ser considerada como um corpo de água que se enquadra dentro da classificação legal do CONAMA nos limites padronizados das Resoluções Nº 357/2005 e Nº 274/2000. Nesse sentido, a primeira resolução se posiciona como a mais abrangente e define as águas desse tipo de reservatório como sendo da Classe I, onde o seu uso pode ser destinado ao abastecimento humano, desde que sejam submetidas a tratamento simplificado. De outra forma, podem ser enquadradas também na segunda resolução, classificando-as na Classe 2, quando se tratar de água para uso de contato primário de recreação, tais como natação e mergulho.

No propósito do entendimento técnico caracterizado para esses documentos ambientais são considerados a situação natural da lagoa e o levantamento de dados hídricos que possam evidenciar informações necessárias ao enquadramento de suas águas e o tipo de aproveitamento. Para tal fim é levada em conta a classificação dos limites para o uso da água

desse corpo hídrico superficial, associados aos aspectos da qualidade. Nesse contexto, são consideradas conseqüentemente, as análises de água coletadas em 4 pontos representativos da lagoa, através das quais as águas possam ser caracterizadas para o devido uso e classificadas nas citadas Resoluções.

8.3.1 – Características hidroquímicas e bacteriológicas

De acordo com Von Sperling (1996), a qualidade da água está relacionada à sua composição química, física, bacteriológica e ao seu tipo de uso previsto, associados aos principais requisitos de qualidade e os correspondentes usos dessa água. Nesse sentido, é importante destacar que a composição natural das águas superficiais está associada à participação de vários processos naturais, tais como geológico, pedológico, climático, químico, biológico e antrópico.

Nesse contexto, a composição natural das águas superficiais da lagoa do Catu é controlada pelos processos acima descritos, sendo a sua qualidade resultante da composição e da forma de uso. Dentro dessa visão, procura-se verificar a qualidade físico-química e bacteriológica dessa água a partir das análises processadas nos 4 pontos amostrados em setores diferenciados da lagoa.

No Apêndice C as amostras analisadas para a lagoa estão relacionadas a todos os parâmetros hidroquímicos contemplados para os poços amostrados da área, sendo selecionado porém, os elementos referenciais básicos que caracterizam as águas dentro do contexto físico-químico. Os referidos parâmetros são a condutividade elétrica (CE), Sólido Totais Dissolvidos (STD), cloretos, ferro e pH. A Tabela 16 reúne as colocações desses dados e mostra a diferença dos seus valores em relação aos períodos secos e pós-chuva como já relatados anteriormente nas situações dos poços.

Tabela 16 – Valores dos parâmetros físico-químicos básicos referentes as análises da lagoa do Catu em períodos seco e pós-chuva.

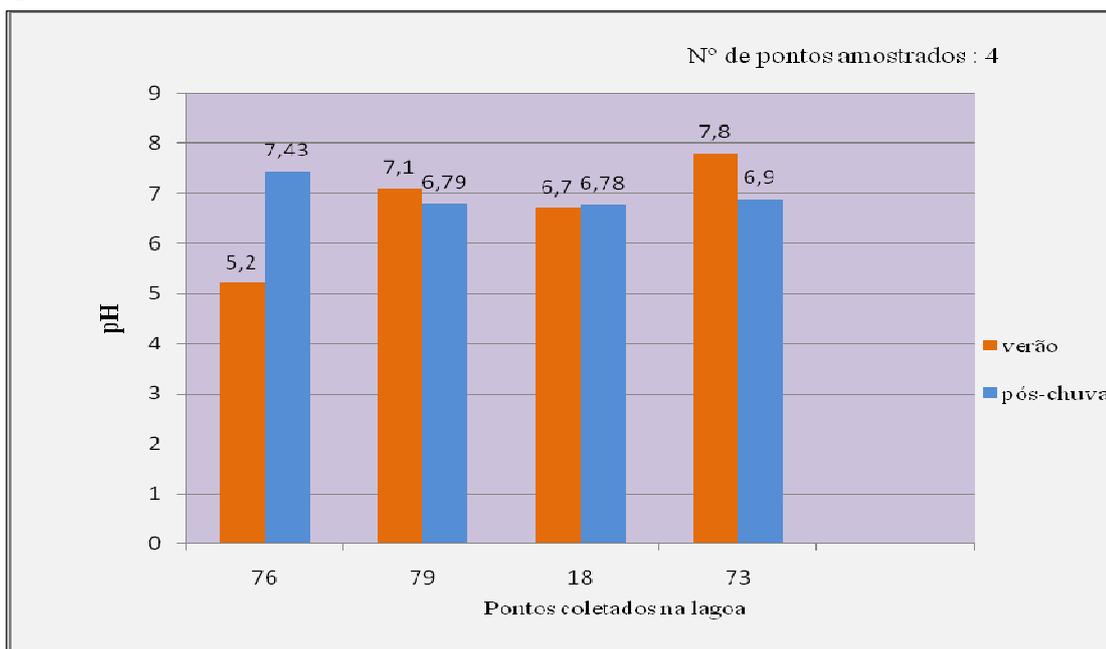
Amostra	Período seco (Nov/2011)					Período pós-chuva (Jun/2012)				
	pH	D. total	NO ₃ ⁻	Fe total	STD	pH	D. total	NO ₃ ⁻	Fe total	STD
		mg/L					mg/L			
76	5,26	40	<LD	0,16	124n	7,43	38,2	≤ 0,05	≤ 0,05	202,1
79	7,1	42	<LD	0,23	124	6,79	36,2	0,21	≤ 0,05	173,1
18	6,75	40	<LD	0,19	121	6,78	35,2	0,27	≤ 0,05	178,4
73	7,86	36	<LD	0,28	123	6,92	39,2	0,24	≤ 0,05	180

Legenda: D = Dureza; Fe = ferro; LD = Limite de Detecção

Através dos dados da Tabela 16 percebe-se, também, que o parâmetro pH se apresenta com valores compatíveis em relação aos dois períodos climáticos, ou seja, não ocorreram grandes variações nos dados analisados, caracterizando uma situação de água levemente ácida a neutra, com exceção do ponto 76 que, se mostrou ácido no período seco e alcalino após o período chuvoso. O aumento do pH no período pós-chuva deve-se provavelmente a diluição da matéria orgânica em um trecho da lagoa que possui muita vegetação aquática (água-pé), gerando valores entre 5,2 a 7,4.

O gráfico da Figura 33 mostra que os dados de pH da fase pós-chuva se apresentam numa posição de equilíbrio em quase todos os pontos da lagoa, refletindo uma certa homogeneidade físico-química no seu corpo hídrico. É importante observar que no contexto comparativo das águas da lagoa com as águas subterrâneas, estas apresentam maiores variações nos dados do pH e um grande domínio de valores ácidos, caracterizando então a diferença de ocorrência e a interação das águas subterrâneas com os litótipos aquíferos.

Figura 33 – Comparação dos dados de pH da lagoa do Catu entre os períodos seco e pós-chuva, referentes aos 4 pontos amostrados que estão na mesma correspondência local dos poços 76;79;18;73.



Os resultados apresentados na Tabela 16 constituem um referencial para as análises hidroquímicas das amostras coletadas na lagoa nos dois períodos, mostrando ao mesmo tempo que os referidos valores estão em consonância com os limites existentes na Resolução CONAMA 357/2005, principalmente no seu enquadramento nas classes 1 e 2. São também pertinentes ao limites da Resolução 274/2000, sendo enquadradas, portanto, para o uso de contato primário e direto na recreação.

É importante considerar que pelos dados hidroquímicos levantados, essa água no estado natural se encontraria em condições potáveis de aproveitamento em relação a Portaria Nº 2.914/2011, fato que só é consumado quando é submetida ao devido tratamento e distribuição pela CAGECE a população. Tal fato é generalizado ao mesmo tempo para os dois períodos climáticos diferentes (seco e pós-chuva), quando os valores dos parâmetros analisadas se mostram equilibrados nos diferentes pontos amostrados da lagoa.

Em termos gerais, não se verificou mudanças significativas nos valores dos parâmetros analisados, mesmo em períodos climáticos diferentes. Os valores para as duas fases mostram-se equilibrados, refletindo homogeneização da água superficial nos diferentes pontos amostrados da lagoa do Catu.

No conjunto das amostras analisadas, o pH é o parâmetro que se mostrou com alguma variação nos períodos seco e pós-chuva, apresentando as características levemente ácida e alcalina, havendo um domínio, mais para a parte ácida. As variações de uma forma geral, muito se assemelham aos valores das águas subterrâneas, indicando que as condições de pH da área estão relacionadas às características geoambientais existentes no espaço pesquisado.

Já o quadro dos dados bacteriológicos para efeito da qualidade da água da lagoa do Catu está caracterizado pelos elementos existentes nos pontos espaciais onde foram feitas também as coletas para as análises hidroquímicas. Nesse sentido, são considerados os resultados das análises bacteriológicas relacionados do Apêndice E, que compreende os valores das análises referentes aos tempos de estiagem e pós-chuva.

A diferença climática pode exercer influência bacteriológica na qualidade dessa água, a partir do surgimento de efluentes contaminantes transportados pelo escoamento das águas pluviais, que dependendo da situação ambiental venha contribuir para alteração na qualidade de determinados corpos hídricos. Estudos realizados por Gonzalez *et al* (1982), *apud* Mota Silva (2005) mostraram que a presença de coliformes em certos mananciais no México estavam associados a ocorrência de chuvas, devido ao arraste de excrementos humanos e de animais.

No caso específico da lagoa do Catu, as análises realizadas no período pós-chuva revelam a alteração da qualidade bacteriológica da água em 3 dos 4 pontos coletados (Tabela 17), onde a amostra 76 se apresenta com um valor elevado de 780 NMP/100mL de *Escherichia coli*, além de outros valores menores nos pontos 18 e 73, dados que apontam serem águas consideradas impróprias para o consumo humano. Apesar de elevado, 780 NMP está abaixo do limite satisfatório previsto pela Resolução CONAMA 274/2000, em que a água é destinada a recreação de uso direto contato primário.

Tabela 17 - Resultados das análises bacteriológicas da lagoa do Catu referentes aos períodos secos e pós-chuva.

PERÍODO SECO (Nov/2011)			PERÍODO PÓS-CHUVA (Jun/2012)
PONTOS DE COLETA	COLIFORMES TOTAIS(NMP/100mL/L)	CT (NMP/100mL)	CT (NMP/100mL)
18	<1,8	<1,8	2,00 (*)
76	79	2 (*)	780,00 (E.coli)(*)
73	<1,8	<1,8	4,00 (*)
79	23	<1,8	< 1,8

Legenda: CT= Coliforme Termotolerante;

(*) = Imprópria p/cons. humano(Port. MS/ 2.914/2011)

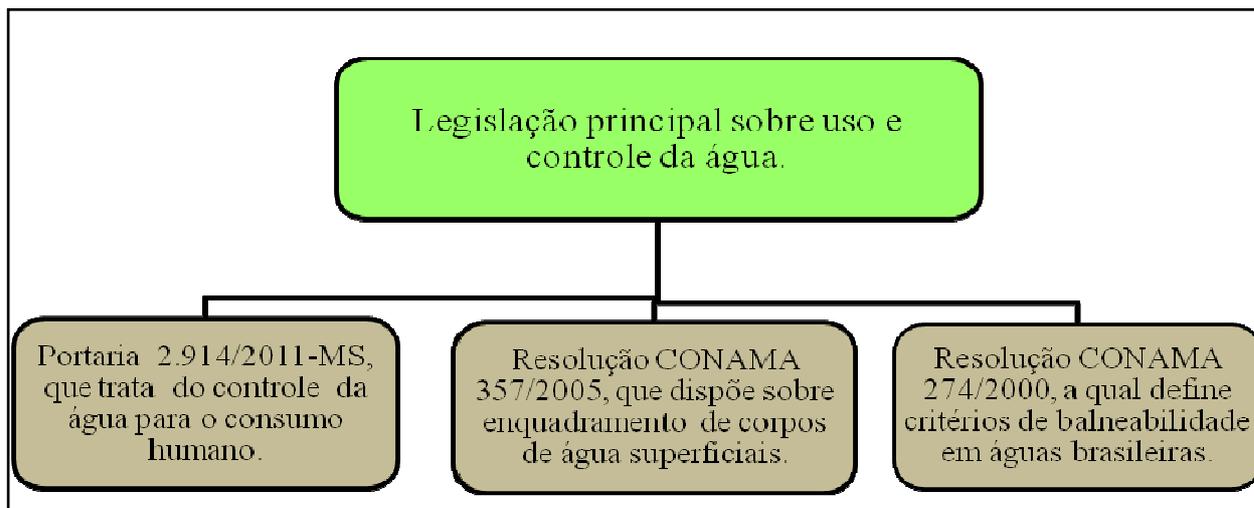
E. coli = *Escheríchia coli*

Dados oficiais emitidos pela CAGECE (2011) mostram que as análises feitas em alguns pontos da lagoa no período seco (setembro e novembro/2011) apresentaram valores mínimos variando de ausente a menor que 1 de *E.coli* e outros coliformes termotolerantes, caracterizando a influência chuvosa na qualidade da água da lagoa.

As localizações dos pontos 18, 76, 73, e 79 representam sítios com criatórios de animais, além de fossas sépticas rasas próximas a lagoa, o que caracteriza maior exposição e facilidade ao efeito das águas de chuva em direção ao referido corpo hídrico. De uma forma geral, por se tratar de um reservatório de água superficial, as águas da lagoa do Catu são passíveis de enquadramento classificatório em relação as citadas resoluções do CONAMA e também a Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde, após tratamento para ser distribuída para a população.

Nesse contexto, é caracterizada uma ilustração gráfica (Figura 34) onde se mostra a reunião dos principais documentos hidroambientais que emitem critérios relacionados ao uso e classificação da água no domínio do território brasileiro, levando-se em conta os limites dos parâmetros em cada forma de uso das águas, seja de origem subterrânea ou superficial.

Figura 34 – Representação gráfica dos documentos básicos que regem o uso e qualidade da água.



8.4 - Potenciais fontes de poluição das águas subterrâneas

A situação da qualidade da água subterrânea está relacionada às condições ambientais do setor pesquisado, envolvendo também as águas superficiais, as quais possam ser atingidas pela influência antrópica, responsável pelo surgimento de mudança no meio físico e de fontes potenciais e/ou efetivas de poluição da água. De acordo com Santos (1997), uma água é considerada poluída quando a mesma tem sua qualidade alterada em relação a determinado fim, sendo submetida, portanto, a um limite de uso, ou seja, pode estar poluída para certa atividade, e não estar para outra.

A forma de ocorrência da poluição nas águas subterrâneas tem origem variada e se apresenta numa condição física diferenciada, no que diz respeito a sua abrangência de contato nos sistemas aquíferos, conduzindo a poluição a uma forma geral de classificação conhecida como, pontual, linear e difusa.

A pontual se refere a uma poluição que atinge o aquífero através de um ponto, a exemplo de esgotos domésticos, aterro sanitário, tanque de combustível, vazamento dutos e outros. A poluição linear é aquela que se processa através de canais ou rios contaminados e vai depender do sentido do fluxo hidráulico entre o aquífero e o curso de água. Finalmente, a forma difusa diz respeito aquele tipo de poluição que contamina áreas extensas e está relacionada aos poluentes transportados por correntes aéreas, chuvas e atividades agrícolas.

Os aspectos ambientais hídricos e urbanos da área de pesquisa apresentam características que estão diretamente associadas as formas pontuais de poluição, não

existindo, portanto, nenhum elemento que se enquadrem nos padrões linear e difuso que atinjam os sistemas aquíferos. Nesse sentido, são definidos os tipos potenciais de poluição que podem afetar a qualidade das águas subterrâneas de setores diversificados da área.

8.4.1 Esgotamento sanitário e fossas sépticas

O efeito da ocupação urbana e um saneamento básico incipiente constituem um dos principais motivos de poluição potencial dos sistemas aquíferos da área, além da contaminação em pontos específicos, onde não existe instalação de esgoto doméstico. Destaca-se, entretanto, que na presente situação não são observadas feições ambientais que caracterizem poluição dos sistemas hídricos da área, fato que não anula o risco potencial em função da ocupação urbana.

De acordo com a CAGECE (2011), apenas 46,17% da sede municipal possuem ligações de esgoto, ficando a maior parte da sede e das outras localidades da área sem condições adequadas de saneamento público, aumentando o risco potencial de poluição por esgotos doméstico. Segundo Cavalcante (2008), a ausência de saneamento básico leva a população a utilizar-se de fossas sépticas, que devido a oscilação sazonal do nível freático podem transformar-se em fossas negras, fazendo com que a função depuradora do sistema passe a ser mínima possível.

Os sistemas aquíferos da área, todos de natureza sedimentar clástica, apresentam-se de forma favorável a relação poço/fossa que, dependendo da profundidade do nível estático e da situação sazonal, muitos poços podem ser enquadrados em uma condição potencial de poluição. A região da Prainha, onde ocorre o Sistema Aquífero Dunas, corresponde a um dos locais mais propícios a poluição das águas subterrâneas, haja vista a sua constituição arenosa e condição mais permeável, em comparação aos outros setores da área espacialmente representados pelo Sistema Aquífero Barreiras, de consistência areno-argilosa.

È importante salientar que o Barreiras ocupa 83% da área de estudo, representando o maior espaço como risco potencial de poluição em relação a todos os outros aquíferos da área.

No contexto geral, a área possui um baixo índice de saneamento básico, fato que pode contribuir na definição de fontes futuras que contribuam para o referido risco de poluição dos aquífero, sobretudo nos setores mais urbanizados, onde se concentram o maior número de fossas e efluentes de esgotos.

8.4.2 Poços mal construídos e sem proteção

De acordo com informações já apresentadas, existem na área de estudo vários tipos de poços (tubulares e escavados) , sendo que alguns possuem melhores condições de proteção sanitária, quando são tecnicamente projetados e construídos.

De uma forma geral, pode se afirmar que, dos poços cadastrados e visitados, vários se apresentam com aspectos precários de proteção sanitária, contribuindo para condições efetivas e potenciais de poluição dos aquíferos, influenciando ao mesmo tempo na possibilidade de transmissão dessas cargas poluentes, dependendo do meio geológico atravessado. Custódio e Llamas (1983) e Cavalcante (1998) advertem que a adequada proteção sanitária de um poço inclui todas as fases que vai do projeto até a construção, tendo o cuidado inicial de locação, para que sua construção não ocorra próximo a fossas sépticas, setores alagados, currais ou outros pontos que apresentem riscos de poluição.

Na área de estudo, os poços tubulares são os que possuem características mais evidentes de riscos de poluição, pelo fato dos mesmos se apresentarem sem a devida proteção sanitária, principalmente nos aspectos de construção e manutenção, haja vista a presença de feições negativas que comprometem a situação sanitária de alguns poços. Tais aspectos podem ser comprovados através de alguns exemplos, tais como: poços sem cimentação anular que possa impedir a infiltração de águas superficiais contaminadas; poços não tamponados, com deficiência na vedação superior do revestimento; poços tamponados, mas com acúmulo de sujeiras no ambiente interior da casa de proteção da bomba. Esses casos revelam a realidade sobre os riscos de proteção dos poços da área.

A situação de riscos de poluição apresentados são exemplificados, com os poços públicos de números 159 e 40 referentes aos chafarizes das localidades da Prainha e Tapera, (Fotos 14 e 15). Esses poços, apesar de terem sido construídos por empresas técnicas de perfuração, exibem a parte superficial do revestimento (boca do poço), feita de forma grosseira, sem nenhum acabamento seguro, que caracterize a proteção sanitária superficial do poço, facilitando, conseqüentemente a penetração de águas poluídas ou elementos contaminantes em direção ao aquífero.

Fotos 14 e 15 - Poços 159 (Prainha) e 40 (Tapera), onde se observa a falta de proteção sanitária superficial.
Coordenadas: 9568744/572112 (P.159) e 9563658/572172 (P.40)



Fonte: Autor (Agosto/ 2011)

Segundo a Johnson Division (1978), a proteção sanitária ou proteção do revestimento de um poço deve ir desde a superfície do solo até uma profundidade conveniente, pois a falta de vedação é largamente responsável pelas presenças da bactérias coliformes nas amostras de água de poços.

Além desses problemas de revestimento, outras situações paralela podem comprometer a proteção sanitária de certos poços, em função de sujeiras que se acumulam no espaço interno das casas de bombas de muitos poços que se apresentam num quadro de explicita desorganização em todo o ambiente físico que fica em torno da bomba e do revestimento do poço. É um cenário que caracteriza um visível exemplo de poluição potencial para o aquífero, através de acúmulo de lixo misturado com resíduo de óleo combustível e outros apetrechos armazenados no referido ambiente, conforme enfocado nas Fotos 16 e 17 dos poços tubulares ativos 79 e 18, ambos existentes nas proximidades da margem da lagoa do Catu.

É importante destacar que esses poços caracterizam, ou representam a realidade em relação a vários outros poços ativos da área, os quais se encontram em condições semelhantes, sem manutenção e sem os cuidados devido no sentido de evitar a poluição da água do poço e do aquífero.

Fotos 16 e 17 – Aspectos do interior das casas de bomba dos poços tubulares 79 (Sítio Laidinha) e 18 (rest. Átila). Observa-se no detalhe, o acúmulo de sujeira e resíduos diversos presentes nos dois ambientes. Coord.: 9566582/571183 (P.79) e 9565122/570434 (P.18).



Fonte: Autor (jan/2012)

8.4.3 Intrusão salina

A obtenção de informações sobre aquífero costeiros, envolvendo águas doces e salgadas, está condicionada a presença de ocupação urbana na parte da costa onde se utiliza o aquífero que tem contato com a intrusão salina, a qual é detectada através de poços existentes nessa zona.

A relação entre estes sistemas é manifestada a partir da verificação da dinâmica hídrica entre as águas subterrâneas e a cunha salina que pode adentrar sob os aquífero costeiro, alterando a qualidade da água doce subterrânea, em função da salinização. Essa interação suscita a necessidade de informações sobre a situação comportamental desse sistema, visando as condições de uso e a observação da capacidade potencial de salinização das águas subterrâneas da área de estudo. Para esse fim, torna-se necessário a prática de um trabalho de gerenciamento que revele algum tipo de poluição e até a obtenção de dados relacionados as condições de exploração de aquíferos costeiros.

No caso específico desse trabalho, a localidade da Prainha, situada na região nordeste da área, representa o setor costeiro caracterizado pelo Sistema Aquífero Dunas, e se configura na área que está relacionada a poluição potencial das águas subterrâneas a partir da interferência marinha. Além desses aspectos, a situação geoambiental desse setor é constituída

por feições morfológicas que podem influenciar no tipo de contato entre o mar e o continente, as quais são caracterizadas pelas zonas de praia e o estuário do rio Catu.

Diferente do relevo praiano comum, o estuário corresponde a foz do rio Catu, e que por ser topograficamente mais baixo, a maré alta avança rio, atingindo o aquífero costeiro de forma mais direta. Neste tema, Heath (1983) afirma que as marés levam as águas salinas a invadirem a zona de água doce, fazendo com que a água salgada seja difundida em vários pontos do aquífero que está em contato com o mar.

Os aspectos hidrodinâmico da maré na área pode ser ilustrado nas Fotos 18 e 19 que mostram o estuário nas fases seca e com maré cheia, trazendo como resultado a injeção de água salgada no leito do rio para o aquífero adjacente, afetando as áreas que estão mais a montante do estuário, em pontos mais interligados à foz, no continente

Fotos 18 e 19 –Aspecto da oscilação de maré no estuário do rio Catu, que pode contribuir para salinização do sistema aquífero dunas, ou constituir uma fonte potencial de poluição. Coord.: 9568148/572639.



Fonte: Autor (Nov/2011)



Fonte: Autor (Fev/2013)

Por se tratar de um setor praiano, marcado pela ocupação urbana, o risco potencial de poluição dos aquíferos por intrusão salina pode ocorrer de forma induzida, desde que haja uma grande demanda no consumo das águas subterrânea, através da ampliação da quantidade de poços construídos ou aumento da taxa de bombeamento.

As análises hidroquímicas realizadas nos poços da Prainha mostram que ainda não se pode caracterizar uma poluição efetiva por intrusão salina, já que não foi detectado nenhuma situação de poço que se apresentasse com excesso de cloretos ou STD. As

evidências de salinidade se manifestam apenas no poço 158, localizado nas proximidades do estuário.

8.4.4 Postos de serviços (combustíveis e lavatórios)

No contexto da área de estudo essa forma de atividade ou empreendimento pode ser considerada como uma das fontes potenciais ou efetivamente poluidora dos sistemas aquíferos existentes na área, nos pontos que possam apresentar risco de poluição, dependendo das condições gerais de cada posto e da vulnerabilidade do meio físico. Estes serviços são caracterizados em postos de combustíveis e lavatórios de carros, distribuídos em vários setores, especificamente nas partes mais urbanizadas da área.

De acordo com Cavalcante (1998), existe na RMF uma distribuição dominante de postos de combustíveis que são instalados sobre as áreas que compreendem os Sistemas Aquíferos Sedimentares Dunas e Barreiras, os quais podem apresentar em alguns pontos uma situação de nível estático sub-aflorante, proporcionando a condição potencial de risco de poluição aos aquíferos.

Nos limites da área de pesquisa existem 4 postos de combustíveis, além de alguns lavajatos que se encontram localizados na sede municipal, todos considerados como fontes potenciais de poluição das águas subterrâneas, sobretudo quando se trata de aquífero com nível estático freático, com profundidade próxima aos tanques subterrâneos que armazenam o produto.

Dentro desse contexto, as condições potenciais de risco estão também associadas ao estado de conservação e manutenção por que passam as estruturas físicas dos tanques de combustíveis, haja vista que nos limites da área esses estabelecimentos não apresentam feições que caracterizem proteção contra infiltrações, decorrentes de algum vazamentos de combustível.

De uma forma geral, os poços existentes na área de estudo estão normalmente construídos sobre as rochas sedimentares da Formação Barreiras, cuja constituição argilosa dificulta a infiltração de substâncias líquidas poluentes que possam advir da superfície ou de vazamento dos tanques existentes no subsolo dos referidos postos.

Silva *et al* (2010) afirmam que os postos de gasolina são considerados como potenciais focos de contaminação do solo e das águas subterrâneas, principalmente quando os sistemas aquíferos são utilizados para abastecimento humano.

A legislação ambiental direcionada para postos de combustíveis, envolve medidas de controle relacionadas as estruturas e operacionalidade nesses postos, objetivando a aplicação das mesmas no sentido de contribuir com a segurança contra provável poluição do subsolo, bem como prevenir riscos potenciais de contaminação das águas subterrâneas nos setores de influência da área desses postos. Essas medidas têm como base a Resolução CONAMA 273/2000 e a NBR1378/97 que emitem normas que disciplinam a situação geral desses estabelecimentos de combustíveis contra poluição potencial e efetiva.

No contexto da legislação, a lei determina que todos os estabelecimentos promovam a substituição dos tanques de aço por tanques jaquetados de aço e fibra, que não sofrem processos de corrosão, evitando dessa forma, qualquer tipo de vazamento. No mesmo entendimento, o piso da área do posto precisa ser feito de concreto especial polido, sem rachaduras, visando uma plena impermeabilidade dessa área.

Com o mesmo entendimento, Matta (2002) afirma que as lavagens e lubrificação de veículos sem o adequado sistema de esgoto pode provocar escoamento de derivados de petróleo, envolvendo substâncias tóxicas, tais como resíduos sólidos e detergentes, produzidos nesses postos de serviços.

Uma abordagem mais real sobre a poluição potencial desses produtos nas águas subterrâneas da área poderia ser realizada, a partir de análises laboratoriais específicas de hidrocarbonetos, já que a falta de visualização ou a não detecção de dados físicos, inviabilizam a definição de informações mais precisas relacionadas a essa forma de risco, seja ela potencial ou efetiva.

8.5 Relação entre as águas subterrâneas e superficiais na área

As águas subterrâneas e superficiais fazem parte da dinâmica climática que ocorre no ciclo hidrológico, principalmente na fase de precipitação pluviométrica, quando as águas desse processo se acumulam na superfície, formando corpos hídricos superficiais, ou se infiltram em direção aos aquíferos. A dinâmica geral dessa situação contribui para que se caracterize um quadro de efluência e influência na alimentação dos seus reservatórios, a partir dos aspectos climáticos, físicos e hidrogeológicos de uma determinada área. A conjugação

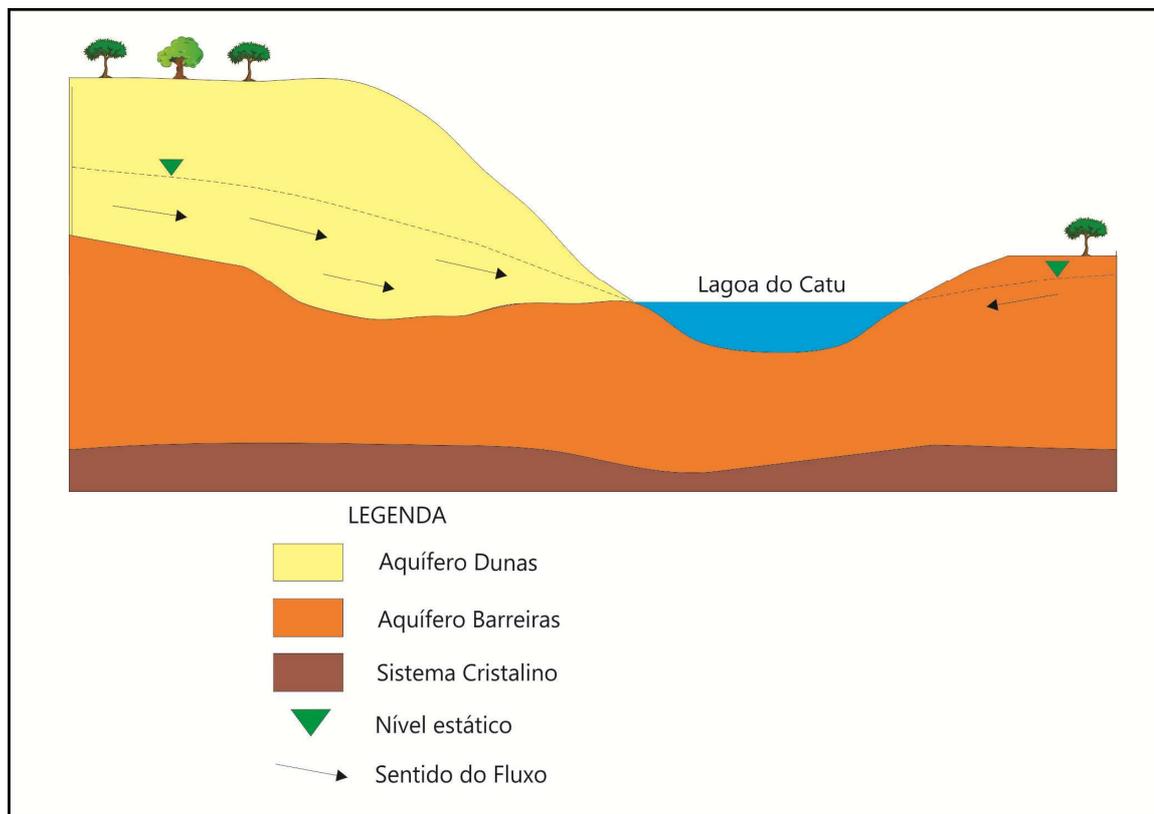
desses aspectos reforça a compreensão de relação entre esses reservatórios hídricos, além de se reconhecer que a interação entre água superficial e subterrânea é um dos aspectos mais importante da hidrologia dos corpos hídricos superficiais (Fetter, 2001 apud Melo, 2009).

No contexto da relação entre águas superficiais e subterrâneas, Rebouças (1999) aponta para a efetiva necessidade de gestão integrada entre esses recursos hídricos, considerando que os aquíferos podem desempenhar variadas funções (produção, estratégica e filtro) no comportamento das águas subterrâneas, sendo a função estratégica, uma das que representa o gerenciamento integrado entre estas e as águas superficiais. Nessa perspectiva, esta função se apresenta como uma alternativa potencial em que a água subterrânea, de forma influente, possa atender as necessidades futuras de uma região que se encontre carente de águas superficiais, principalmente em situações climáticas grave com pouca precipitação pluviométrica.

Uma situação exemplar dessa abordagem contextual pode ser aplicada em relação a interação do Sistema Aquífero Dunas e as águas superficiais da lagoa do Catu em período de estiagem, estando o nível de saturação desse sistema acima do nível da água da lagoa, caracterizando uma situação influente de fluxo subterrâneo. Exemplo nesse sentido pode ser mostrado através de Silva (2000), que configura uma ilustração gráfica desse tipo de influência, conforme abordado na Figura 35, onde é caracterizado um exemplo ilustrativo de relação entre as águas subterrâneas e superficiais através do fluxo que ocorre em direção a lagoa. Além de se caracterizar a importância da recarga do Aquífero Dunas ao corpo superficial, enfatiza-se também que, apesar da estiagem intensa, a lagoa se manteve com o corpo de água principal, sem correr o risco de secar.

A experiência referenciada pelo autor desta pesquisa está relacionada a uma época em que, além da seca, não existia uma demanda de água semelhante a que existe no presente, de maneira que o volume hídrico principal da lagoa não foi alterado, graças à recarga proveniente do Sistema Dunas que não permitiu que a lagoa secasse e viesse a prejudicar os setores que utilizam da mesma.

Figura 35 – Ilustração hipotética da influência do Sistema Aquífero Dunas em relação a água superficial da lagoa do Catu.



Fonte: Modificado de Silva, 2000

É importante destacar que o desenvolvimento desse processo tem os sistemas aquífero como um dos elementos fundamentais para a relação entre águas superficiais e subterrâneas, pois o fluxo e a direção da água infiltrada são governados pelas características hidrodinâmicas dos reservatórios. A composição litológica dos Sistemas Aquíferos Barreiras e Dunas se apresenta com certo diferencial, resultando em condições de permeabilidade e porosidades diversificados, o que dificulta a relação da água subterrânea nas adjacências da lagoa do Catu, principalmente com os sedimentos areno-argilosos do Aquífero Barreiras que não possui as mesmas condições de porosidade e permeabilidade quando comparado com o Dunas.

Quase toda a área ocupada pela lagoa do Catu está assentada nos sedimentos Barreiras, sendo esse o sistema aquífero que apresenta maior espaço de contato com a lagoa em toda a sua extensão NE-SW no contexto da área de pesquisa, ficando as Dunas posicionadas na faixa de costa correspondente ao extremo nordeste da área, conforme o mapa geológico e de pontos de água (Apêndice B). Os poços existentes no entorno da lagoa se

apresentam com pequenas vazões (0,8 a 1 m³/h) e com pouca capacidade de recarga, segundo relatos de moradores e proprietários dos sítios onde ficam esses poços. Exemplo nesse sentido pode ser ilustrado através dos poços 18 e 79, construídos próximos a lagoa, com vazões respectivas de 1,5 e 0,65 m³/h devido, provavelmente, a baixa permeabilidade do Sistema Aquífero Barreiras.

Segundo Driscoll (1986), a ausência de conexão hidráulica entre um aquífero e corpos hídricos superficiais pode estar relacionada a formação de sedimentos nos fundos da maior parte dos lagos e lagoas, sendo os sedimentos representado por argila ou lama orgânica, contribuindo efetivamente para que o fundo desses reservatórios sejam selados e impermeabilizados. Essa afirmação é muito genérica, mas pode ter alguma interferência na interação dos sistemas hídricos da área dessa pesquisa, afetando a situação de recarga entre lagoas e aquífero. No que diz respeito a área de estudo, as características litológicas da Formação Barreiras apresentam aspectos impermeabilizante que podem estar associados, de forma mais real às baixas vazões de alguns poços adjacentes já mencionados (18 e 79).

É necessário também se reconhecer o papel supridor das águas subterrâneas da área diante de uma época de intensa estiagem e o consequente efeito da evaporação sobre a lagoa do Catu, cuja diminuição de volume de água tende a se agravar com o aumento da demanda hídrica decorrente do consumo relacionado a vários empreendimentos turísticos e o crescimento demandado para o abastecimento público. De acordo com a COGERH (2012), o consumo desses órgãos somados ao bombeamento constante realizado pela CAGECE, totaliza um volume hídrico de 3.038.229,6 m³/ano, correspondendo a pouco mais de 1/3 do volume total da lagoa, que é de 8.954.000 m³, segundo dados apresentados por Gomes (2003). Essa situação se apresenta de uma forma bem diferente em relação à década passada, quando só a CAGECE captava água da lagoa para abastecer apenas a Sede Municipal de Aquiraz.

Considerando-se a importância dos recursos hídricos no abastecimento da área, tecnicamente, o agravamento da diminuição do volume da referida lagoa pode caracterizar a necessidade complementar do uso das águas subterrâneas, nos aquíferos adjacentes, através da construção de poços em pontos estratégicos dos referidos reservatórios subterrâneos da área, visando atender principalmente a carência d'água da população.

Observa-se, de uma forma geral, a importância da ligação entre água subterrânea e superficial, no sentido de serem utilizados em planejamento e na gestão dos recursos hídricos da região, focalizando-se basicamente os aspectos quali-quantitativos em várias situações de

uso, já que existe a tendência do aumento de consumo e o surgimento simultâneo de secas. Nesse entendimento, são consideradas as águas subterrâneas e superficiais da área, procurando se mostrar a relevância da utilização da água subterrânea como elemento complementar no contexto dos recursos hídricos dessa parte do município, principalmente.

9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O contexto geral deste trabalho requer conclusões que venham caracterizar sinteticamente a importância da pesquisa através dos seguintes aspectos:

Os dados qualitativos analisados revelam as condições de aproveitamento que caracterizam a qualidade dessas águas para as principais formas de uso, tais como abastecimento humano, irrigação, indústria e recreação.

O resultado geral da dinâmica do balanço hídrico para a área mostra a importância das águas subterrâneas no contexto dos recursos hídricos, a partir da determinação da infiltração eficaz (I_e) de 488 mm, que influencia no volume das reservas reguladoras dos sistemas aquíferos, durante o período hidrológico considerado.

Hidrogeologicamente, a área está representada pelos Sistemas Aquíferos Barreiras e Dunas, onde o primeiro ocupa 83% e o segundo 14% da área, sendo que ambos possuem uma situação diferenciada nas suas características geológicas e hidrogeológicas. A natureza arenosa-argilosa dos sedimentos terciários do Aquífero Barreiras caracteriza uma unidade hidrogeológica de baixa condutividade hidráulica (K), com valor adotado de $1,85 \times 10^{-6}$ m/s. De outra forma, o Sistema Aquífero Dunas, constituído por areias quartzosas, apresenta uma permeabilidade mais elevada, com condutividade hidráulica de $1,8 \times 10^{-4}$ m/s, o que possibilita a esse sistema a condição de um maior capacidade de circulação hídrica subterrânea.

No mesmo contexto hidrogeológico observa-se que, os 177 poços distribuídos na área se apresentam com valores de vazões associados aos aquíferos, onde o Sistema Barreiras, possui um valor médio de $2,7 \text{ m}^3/\text{h}$, enquanto que o Aquífero Dunas mostra vazão média de $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$. São poços de grande importância para o abastecimento principal e complementar no espaço da área de pesquisa.

As reservas aquíferas da área constituem um importante referencial hídrico que podem ser armazenadas nas rochas sedimentares representando as disponibilidades e potencialidades das águas subterrâneas, através das reservas reguladoras e permanentes existentes nos sistemas Aquífero Dunas e Barreiras. A soma desses dois tipos de reservas resulta em 7,8 milhões de m^3 para o Sistema Dunas e 32,34 milhões de m^3 para o Sistema Barreiras.

Nos aspectos do aproveitamento das águas subterrâneas da área, observa-se que a disponibilidade efetiva representa um dado relevante no abastecimento hídrico complementar, apresentando um valor de 1.480.440 m³/ano, o qual corresponde a aproximadamente 49% do total das reservas reguladoras existente (3 milhões de m³/ano), indicando a possibilidade de ampliação de uso, caso seja necessário.

Em uma situação comparativa, os recursos disponíveis de água subterrânea 16.400.000 m³, enquanto que o volume hídrico da lagoa do Catu é de 8.954.000 m³ revelando, portanto, que as águas subterrâneas da área possuem um potencial suficiente para complementar a demanda exigida.

Em termos qualitativos, os resultados obtidos revelam que as águas dos sistemas aquífero da área se mostram em condições próprias de uso e abastecimento em quase todos os parâmetros nos dois períodos de coletas. Em termo físico-químicos, as águas são de boa qualidade, predominando as Cloretadas Sódicas, com 80% no período seco e de 60% no período pós-chuva.

Os dados do pH mostram uma água de caráter predominantemente ácido nos dois sistemas aquíferos, envolvendo os períodos seco e pós-chuva, com valores variando entre 6 a 6,4, dados estes considerados tolerantes para a Portaria N°2.914/2011-MS, com VMP entre 6 a 9,5.

No contexto dos aspectos composicionais entre as águas superficiais e subterrâneas, é possível se constatar que das amostras coletadas, 75% se mostram mais alcalinas que as águas dos poços, principalmente no período chuvoso quando deve haver maior carreamento de matéria orgânica em direção ao corpo da lagoa. A composição bacteriológica revela que as águas da lagoa se apresentam com teor mais elevado de Coliforme Termotolerantes, indicando que as águas da lagoa necessitariam passar por processo de tratamento prévio, conforme a Resolução CONAMA N° 357/2005

A diminuição da acidez com o período chuvoso revela um aumento de diluição da água com o aumento do volume de água infiltrado nos aquífero na época maior precipitação.

Os resultados levantados no monitoramento bimestral para as quatro medidas feitas em campo confirmam as condições dominantes de acidez nas águas dos aquífero, sendo que a média de 72% das amostras coletadas se enquadram na faixa de potabilidade da Portaria 2.914/2011-MS, que estabelece limite entre 6 e 9,5

O nitrato constitui o segundo parâmetro que apresenta valores diferenciados nos dois períodos, ou seja, 15,4% mostraram valores acima do limite potável (10 mg/l de N-NO₃⁻) em relação a época de estiagem, enquanto que no período chuvoso o referido percentual subiu para 27%, revelando a influência da fase chuvosa na recarga dos sistemas aquíferos, através do aumento do nitrato em alguns poços coletados.

Para o uso da água subterrânea na irrigação, observa-se que a classificação no período seco apresenta características dominantes (61%) dentro da faixa C₂-S₁, mostrando águas de média salinidade e baixo teor de sódio, podendo ser utilizadas em solos silto-arenosos e prestando-se ao cultivo de quase todos os vegetais. Para a fase pós-chuva estão classificados (C₂-S₁) (66%), podendo se ter a mesma precaução com solos siltosos e silto-arenosos e usada em cultivo de quase todos os vegetais.

Em relação ao uso dessa água na indústria, é necessário que haja considerações sobre o pH, apenas para as análises do período pós-chuva, onde 42% estão acima de 7,7 caracterizados como incompatíveis para a indústria de cervejaria. No contexto que rege a utilização da água para a indústria, conclui-se que a composição química das águas subterrâneas analisadas da área se apresenta em condições dominantes de uso, necessitando apenas passar por tratamento quando se tratam de casos específicos.

As análises bacteriológicas das águas subterrâneas para os dois períodos revelam que as águas coletadas se apresentam de boa qualidade em mais de 80% dos poços amostrados. Nesse sentido, as quantidades de coliformes totais ou termotolerantes inferiores a 1,8 (limite de detecção), mostram águas potáveis, enquanto os resultados acima desse limite são considerados como impróprios, como é o caso de 3 análises em relação ao período seco e 2 na fase pós-chuva. Observa-se, entretanto, que em relação a essa última fase climática, foram detectados a presença de coliformes termotolerantes e de *Escheríchia Coli*, caracterizando serem apenas as águas desses poços consideradas impróprias para o consumo humano, pelos padrões da Portaria 2914/2011-MS.

A extensão do uso desse corpo de água para o abastecimento humano está condicionada aos critérios de tratamento simplificado (classe I) orientados pela Resolução CONAMA N° 357/2005 e diretrizes da Portaria N° 2.914/2011/MS para potabilidade.

Nas amostras coletadas da lagoa do Catu verificou-se as presenças de baixos valores de coliformes totais e termotolerantes (NMP/100mL) nos pontos 76 e 79 no período seco. No pós-chuva foram encontrados também baixos valores (limite de 200 pela Portaria N°

357/2005) de coliformes termotolerantes nos pontos 18, 76 e 73, sendo que no ponto 76 foi revelado a presença da *Escherichia coli* com 780 NMP/mL, valor considerado anormal pela a Portaria acima, porém tolerável para Portaria N° 274/2000 do CONAMA.

A presença da *Escherichia coli* no pós-chuva deve-se provavelmente ao aumento de material residual, constituído de fezes de animais ou efluentes de esgotos transportados pelas águas pluviais no entorno da lagoa nesse ponto específico (correspondente ao poço 76).

Pelos baixos índices de coliformes em alguns pontos e os baixos teores de constituintes químicos as águas da lagoa do Catu podem ser utilizadas para diversos fins, desde que tratadas para os fins necessários e específicos.

O aumento da demanda da água da lagoa em função do surgimento de vários resorts, associado a estiagem intensa, gera uma expectativa negativa de alteração da quantidade e da qualidade da água, fato que induz à necessidade de estudos e prospecção da água subterrânea como opção complementar de abastecimento em vários pontos da área.

Do ponto de vista qualitativo as águas subterrâneas da área apresentam-se com condições favoráveis ao uso para o consumo humano, com algumas restrições físico-químicas e bacteriológicas, que possam ser detectadas nas análises gerais e nas observações dos aspectos ambientais em torno dos poços.

As abordagens dos dois últimos parágrafos conduzem ao entendimento de que as águas subterrâneas da área, no contexto dos recursos hídricos, podem ser consideradas como um elemento complementar alternativo em relação às condições gerais de suprimento d'água no espaço pesquisado.

Finalmente, pode-se concluir que os dados gerais pesquisados revelam que existe uma correspondência entre os objetivos pretendidos e as informações hídricas levantadas, a partir da relação qualidade e uso das águas subterrâneas e superficiais, associados ao consumo desse bem no âmbito da área de estudo.

De acordo com as conclusões levantadas torna-se relevante a recomendação sobre o desenvolvimento de futuras pesquisas e projetos institucionais, direcionados para prospecção hidrogeológicas nos sistemas aquíferos conectados à lagoa do Catu visando conseqüentemente, a determinação potencial dos recursos hídricos subterrâneos da área, considerados como suporte de abastecimento em relação as águas superficiais.

Dentro das pesquisas hidrogeológicas propõe-se também que seja definida a caracterização da qualidade das águas subterrâneas em relação a necessidade de uso pelas populações residentes na área, considerando-se principalmente o aspecto da potabilidade e o uso doméstico.

No cenário geral do município de Aquiraz leva-se em conta o fato de que a distribuição básica de abastecimento da CAGECE se concentra dentro da área de estudo, o que sugere a recomendação de estudos conjuntos entre a Prefeitura e este órgão no sentido que possam estabelecer as condições de uso das águas subterrânea.

Contextualmente às recomendações que se deseja fazer propõe-se também que sejam realizados estudos que contemplem a situação dos poços tubulares e escavados no sentido de definirem os parâmetros hidrogeológicos e a qualidade das águas subterrâneas da área, visando a determinação de elementos estratégicas que possam atender a necessidade hídrica da população da área.

Objetivando reconhecer a importância desses recursos hídricos, recomenda-se que sejam realizadas pesquisas que caracterizem as águas subterrâneas como um agente incentivador do desenvolvimento social e econômico da região estudada, principalmente, no período de intensa estiagem, que é quando se revela a relevância da presença e do uso da água, principalmente, nos setores mais carentes desse bem hídrico.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, P. F.; GOMES, D.F.; NOGUEIRA, S.R.P.; SÁ FREIRE, G.S.; PEREIRA, L.P. – 2006 - **Hidroquímica e qualidade ambiental das águas dos aquíferos costeiros do município de Beberibe, Ceará, Brasil**. Revista de Geologia. Fortaleza, v. 19, n 2, p.239 – 249.
- APHA, **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 1992. 18 ed., AWWW-WPCP, 722p.
- BELTRÃO, A. E. & MANOEL FILHO, J. **Abastecimento de Água da Área Metropolitana da Cidade de Fortaleza – CE**. Recife: SUDENE – Div. De Documentação, 1973. 296 p. (Brasil. SUDENE. Hidrogeologia, 44).
- BEZERRA, E. C., BEZERRA, J. E. G., MENDES, M. F. S. DE, **Precipitações Pluviométricas**. Fortaleza: Atlas do Ceará, 1997, p. 20-21.
- BIANCHI, L., MARQUES, J.C. de S. **Plano de Aproveitamento dos Recursos Hídricos na RMF, Fase I - Fatores Condicionantes**. 1984. Fortaleza – Ceará. AUMEF – SEPLAN/CE. 30 p.
- BRAGA, A. de P. G., PASSOS, C. A. B., SOUZA, E. M. de. **Geologia da Região Nordeste do Estado do Ceará - Projeto Fortaleza**. 1981. Recife – Pernambuco. DNPM/CPRM . 123 p.
- BRANCO, M.P.N.C. **Análises dos Sistemas Depositionais e Dinâmica Costeira do Município de Aquiraz, Estado do Ceará, com Auxílio de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília. Brasília 2003. 221p.
- BRANDÃO, R. de L., CAVALCANTE, I. N., SOUZA, M. N. **Diagnóstico e os Principais Problemas de Ocupações do Meio Físico da Região Metropolitana de Fortaleza, Fortaleza**. 1995. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). (Projeto SINFOR). Fortaleza – CE. CEPRM/REFO. 88 p.
- BRASIL. **Portaria nº 2.914, de dezembro de 2011**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e dá outras providências. Ministério da Saúde. Disponível em: <[www.casan.com.br/docs/Portaria MS2.914. 2914.pdf](http://www.casan.com.br/docs/Portaria_MS2.914_2914.pdf)> Acesso em 01 dez/2012.

BRASIL. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação de corpos de água e diretrizes ambientais para o enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes e dá outras providências.

BRASIL. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 396, de 2008.** Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

BRASIL. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 274, de 24 de novembro de 2000.** Define critérios sobre recreação de contato primário e balneabilidade em corpos de águas doce, salobra e salgada.

BRASIL. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 273, de 29 de novembro de 2000.** Dispõe sobre instalação e armazenamento de sistemas de derivados de petróleo.

BRASIL. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 274, de 29 DE NOVEMBRO de 2000.** Considerando a necessidade de serem criados instrumentos para avaliar a evolução da qualidade das águas, em relação aos níveis estabelecidos para a balneabilidade, de forma a assegurar as condições necessárias à recreação de contato primário.

CETESB. **Guia de Coleta e Preservação de Amostra de Água.** 1996. São Paulo. 137p

CETESB. **Técnicas de Análises Bacteriológicas da Água: Tubos Múltiplos.** 1996. São Paulo. 92p.

CASTANY, G. **Prospección y Explotación de Las Águas Subterrâneas.** Barcelona: Ediciones Omega S.A .1975. p. 577-621.

CAVALCANTE, I.N. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada de recursos hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará.** 1998. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia. Área de Hidrogeologia. IG/USP. São Paulo – SP.160p.

CAVALCANTE, I. N.; GOMES, M. C. R. **As Águas Subterrâneas do Ceará: Ocorrências e Potencialidades.** In: Os Recursos Hídricos do Ceará: Integração, Gestão e Potencialidades. Cleyber Nascimento de Medeiros, Daniel Dantas Moreira Gomes, Emanuel Lindemberg Silva Albuquerque, Maria Lúcia Brito da Cruz (Organizadores). Fortaleza: IPECE, 2011. Seção III. p. 165-199.

CETESB. **Guia de Coleta e Preservação de Amostra de Água.** 1996. São Paulo. 137p.

CETESB. **Técnicas de Análises Bacteriológica da Água: Tubos Múltiplos**. 1996. São Paulo. 92p.

CHAPELLE, H. F. — **Ground-Water Microbiology and Geochemistry**. 1993. New York. John Wiley & Sons, Inc. p. 190 – 251.

CHOWDHURY, S. H.; KEHEW, A. E. PASSERO, R.N. **Correlation between nitrate contamination and ground water pollution potential**. 2003. Ground Water, New, New York, n 6, p. 735 – 745, nov/dez. 2003.

CLEARY, Robert W. **Águas Subterrâneas**. PRINCETON GROUNDWATER, inc. Clean Environment Brasil. 1989. Disponível em: < <http://www.clean.com.br/cleary.pdf> >. Acesso em: Março de 2012.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO ESTADO DO CEARÁ (CAGECE). **Captação de Abreulândia**. Fortaleza: 1984. 58 p. Define critérios sobre recreação de contato primário e balneabilidade.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ (CAGECE). **Informações oficiais sobre abastecimento e saneamento do município de Aquiraz-CE**. 2011.

COMPANHIA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO CEARÁ (COGERH). **Avaliação do Potencial de Águas Subterrâneas e de Lagoas das Bacias Hidrográficas da RMF**. Fortaleza, 1999. 81p.

COSTA, W. D. **Avaliação de Reservas, Potencialidade de Aquíferos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10. 1998, São Paulo. Anais... São Paulo: ABAS, 1997.

COSTA, W. D. (2008). **Uso e Gestão das Águas Subterrâneas**. In: Hidrogeologia. Conceitos e Aplicações. CPRM/UFPE. 3ª edição. Feitosa, C.A.F. e Manoel Filho J. 2008. Cap. 6.1. 429 -438

CPRM. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS)**. Disponível em: siagasweb.cprm.gov.br. Acesso em: julho de 2011.

CUSTÓDIO GIMENA & LLAMAS MADURGA, M.R. **Hidrologia Subterranea**. Barcelona. 1983. Ediciones Omega S.A. 2.400 p. 2v.

DEMÉTRIO, J. G. A., MANOEL FILHO J., LINS, N. T. L. de. **Projeto e Construção de poços**. In: Hidrogeologia. Conceitos e Aplicações. CPRM/UFPE. 3ª edição. Feitosa, C.A.F. e Manoel Filho J. 2008. Cap. 6.1. 429 -438

DRISCOLL, F. G. **Groundwater and Wells**. 2 ed. St. Paul, Minnesota. Johnson Filtration Sistem Inc., 1987. 1089p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. Editora Embrapa. Brasília, DF. 1999.

FERNANDES, R. A. **Gestão Integrada de Águas Subterrâneas: Critérios Gerais Orientadores para Definição e Caracterização de Áreas Estratégicas de Abastecimento**. 2005. 410p. Tese(Doutorado em Hidrogeologia Ambiental). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2005.

FETTER, C. W. **Applied Hidrogeology**. 3.ed. University of Wisconsin – Oshkosh: Prentice Hall, 1994. 553p.

FIGUEIREDO, M. A. **Vegetação**. Fortaleza: Atlas do Ceará, 1997. p. 26-27.

FREEZE, R. A., CHERRY, J. A. **Groundwater**. New Jersey: Prentice-Hall. 1979. 604p.

GOMES, M.C.R. **Qualidade das Águas Subterrâneas e Superficiais no Campus Universitário do Pici (Fortaleza, Ceará)**. 2009. Fortaleza. Dissertação (Mestrado em Geologia). Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará.

GOMES, M. L. **Aspectos Hidrodinâmicos, Sedimentológicos e Impactos Ambientais na Lagoa Costeira do Rio Catu – Aquiraz-Ceará**. Dissertação(Mestrado em Geografia). Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza. 2003.

GUERRA JÚNIOR, W.G.. **Aspectos Hidrogeológicos do município de Aquiraz, Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará**. 2005. Dissertação (Mestrado em geologia). Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

HEATH, S. United States Geological Survey paper, 2220. In: **Hidrologia Básica de Águas subterrâneas**. Tradução de: Mario Wrege e Paul Potter. UNITED STATES GOVERNMENT PRINTING OFFICE. 1983. North Carolina. 84p.

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.

HISCOCK, K. M. **Hidrogeology: Principles and Praticce**. Blackwell Publishing. 2005. Austrália. 389p

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Censo 2000. Estimativa 2010.

IPECE/SEPLAG – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará/Secretaria do Planejamento e Gestão – 2011. Perfil Básico Municipal de Aquiraz-CE. 18p.

JOHNSON Division, Universal Oil Products Co. Águas Subterrâneas e Poços Tubulares. 1978 Trad. CETESB. São Paulo. 482 p.

LEWIS, W.J., FOSTER, S.S.D. DRASAR, B.S. **Analisis de Contaminacion de las Aguas Subterraneas por Sistemas de Saneamento Básico**. 1988. CEPIS, Lima. 82 p.

MANOEL FILHO J. **Exploração de Água Subterrânea e Zona Urbana: Caso da Grande Recife – PE**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA, 13., 2004, Cuiabá. 18f.

MANOEL FILHO J. **Ocorências das Águas Subterrâneas**. In: Hidrogeologia. Conceitos e Aplicações. CPRM/UFPE. 3ª edição. Feitosa, C.A.F. e Manoel Filho J. 2008. Cap. 2.1. p. 53 – 54.

MATTA, M. A. da S. **Fundamentos Hidrogeológicos para a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos da Região de Belém/Ananindeua – Pará/Brasil**. 2002. 292f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Ceará, Belém, 2002.

MELO, J. G., MORAES, S. D., VASCONCELOS, M.B. Potencialidade e qualidade das águas do Aquífero Barreiras na região da lagoa do Extremoz, RN. 2009. Revista de Geologia. Fortaleza, v.22, n. 2, p. 137 – 148, 2010

MENDONÇA, F., DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia – Noções básicas e climas do Brasil**. 1ª reimpressão. São Paulo. Oficina de Textos. 2009.

MENEZES, M. A. S., ANDRADE, H. A. **Exploração de Água Subterrânea nas Dunas da Praia de Caponga Estado do Ceará**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 3., 1984, Fortaleza. Anais... Fortaleza: ABAS, 1984. V. 1, p. 378-386.

MESTRINHO, S.S.P. **Geoquímica das Águas Subterrâneas**. In: Hidrogeologia. Conceitos e Aplicações. CPRM/UFPE. 3ª edição. Feitosa, C.A.F. e Manoel Filho J. 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: www.funceme.br. Acesso em: 10 de novembro de 2007.

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.

MOTA SILVA, A. I.; VIEIRA, R.H.S.F. dos; CARVALHO, F.C.T. de. LIMA, A. S. **Qualidade da água de poços destinada ao consumo humano, na cidade de Fortaleza, CE.** 2005. Revista Higiene Alimentar. Fortaleza. v. 19, n. 34. 70p.

NEVES, B.B. **Regionalização Geotectônica do Pré-Cambriano Nordeste.** 1975. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 198p.

NOGUEIRA, M. L.; AUGUSTO V. A.; CASTELO BRANCO, R.M.G; CASTRO, D. L. **Caracterização geoambiental e hidrogeológica da zona portuária do Pecém/CE.** 2005. Revista de Geologia. Fortaleza, v.18, n. 2, p. 203 – 213, 2005.

PELCZAR, M., REID, R., CHAN, E.C.S. – 1981 - **MICROBIOLOGIA.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. v.2, p. 834-846.

REBOUÇAS, A. C. Importância da Água subterrânea. *In:* FEITOSA, F. A. C.; MANOEL Filho J.; FEITOSA, E. C.; DEMÉTRIO, J. G. A. (Org.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** 3.ed. Fortaleza: CPRM: LABHID. 2008. P. 13-26.

REBOUÇAS, A. C. Águas Subterrâneas. *In:* REBOUÇAS, A. C. ; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org). **Águas Doces no Brasil.** São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da USP. 1999. p. 117-149.

RIBEIRO, J. A. P. **Características hidrogeológicas e hidroquímicas da faixa costeira leste da Região Metropolitana de Fortaleza – Ceará.** 2001. 122f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.

SANTOS, A. C. **Noções de Hidroquímica.** *In:* Hidrogeologia. Conceitos e Aplicações. CPRM/UFPE. 3ª edição. Feitosa, C.A.F. e Manoel Filho J. 2008. Cap. 5. p. 325 – 357.

SILVA, J.G. – 2000 - **Hidrogeologia da Faixa Costeira de Aquiraz-CE.** 2000. Rio Claro-SP. UNESP, Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente – Universidade Estadual Paulista. 90 p.

SANTIAGO, M.M.F., FRISCHKORN, H., MENDES FILHO, e AGUIAR, R.B. **Fatores condicionantes da qualidade das águas subterrâneas na região costeira de Caucaia.** 2007. Revista de Geologia, 20 (1): p23-32.

SOUSA, V. P. **Aspectos Qualitativos Físico-Químicos das Águas Subterrâneas Freáticas da Faixa Costeira do Porto das Dunas e Prainha, Aquiraz- Ceará.** 2012. 81p. Monografia (Graduação em Geologia) Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 012.

SOUZA, M. J. N. **Geomorfologia.** Fortaleza: Atlas do Ceará: 1995. p. 16-17.

THORNTHWAITE, C.W. **An Approach toward a Rational Classification of Climate.** American Geographical Society. 1948. Vol. 38, Nº. 1. Disponível em: < <http://www.jstor.org> >. Acesso em: Setembro de 2013.

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. 100f. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

VILLELA, S. M. **Hidrologia Aplicada.** São Paulo: Mcgraw Hill do Brasil, Inc, 1975. 245p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2.ed. Belo Horizonte. Editora FCO.1996.243p.