



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - ÁREA NO MUNICÍPIO  
DE CAUCAIA, REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA -  
CEARÁ**

**Luis Carlos Bastos Freitas**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante - DEGEO/UFC

CO-ORIENTADORA: Dr<sup>a</sup>. Diolande Ferreira Gomes - DEGEO/UFC

**Junho/2009  
Fortaleza – CE**



**Universidade Federal do Ceará  
Centro de Ciências  
Departamento de Geologia**

**Relatório de Graduação em Geologia**

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - ÁREA NO MUNICÍPIO  
DE CAUCAIA, REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA -  
CEARÁ**

**LUIS CARLOS BASTOS FREITAS**

Dissertação apresentada e  
defendida publicamente no dia 26  
de Junho de 2009 diante do júri  
abaixo assinalado

**Membros:**

**Presidente (Orientador): Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante**

**Prof. Dr. José Antonio Beltrão Sabadia**

**Prof. Dr. Christiano Magini**

**Fortaleza, Junho de 2009**

F936q Freitas, Luis Carlos Bastos  
Qualidade das águas subterrâneas: área no município de Caucaia,  
Região Metropolitana de Fortaleza – Ceará / Luis Carlos Bastos Freitas,  
2009.  
93 f. ; il. color. enc.

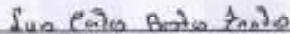
Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante  
Co-orientadora: Profa. Dra Diolande Ferreira Gomes  
Área de concentração: Hidrogeologia  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de  
Ciências, Depto. de Geologia, Fortaleza, 2009.

1. Hidrogeologia. 2. Hidroquímica. 3. Poluição. I. Cavalcante, Itabaraci  
Nazareno (Orient.). II. Gomes, Diolande Ferreira (Co-orient.). III.  
Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Geologia.  
IV. Título

CDD 551

Esta Dissertação intitulada: QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - ÁREA NO MUNICÍPIO DE CAUCAIA, REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA - CEARÁ, foi submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Geologia, como parte dos requisitos à obtenção do título de Mestre em Geologia do aluno Luis Carlos Bastos Freitas em 26 de Junho de 2009, outorgado pela Universidade Federal do Ceará e encontra-se a disposição dos interessados na coordenação do curso de Geologia.

A citação de qualquer trecho desta Dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

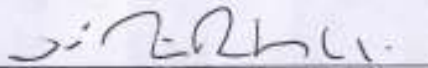


**LUIS CARLOS BASTOS FREITAS**

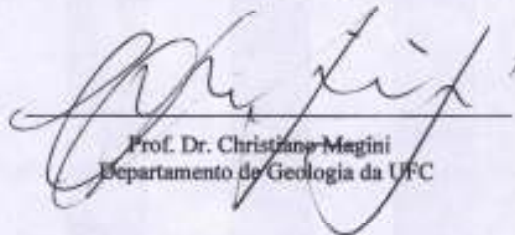
Dissertação aprovada em 26 de Junho de 2009



Prof. Dr. Ilabaraçá Nazareno Cavalcante  
Orientador  
Departamento de Geologia da UFC



Prof. Dr. José Antonio Beltrão Sabádia  
Departamento de Geologia da UFC



Prof. Dr. Christiane Megini  
Departamento de Geologia da UFC

**DEDICATÓRIA**

**Aos meus pais,**

**Antônio Carlos Pinto Freitas e**

**Zuleide Bastos Freitas**

## AGRADECIMENTOS

A realização do presente trabalho teve a colaboração imprescindível de várias pessoas e entidades, às quais dirijo os meus agradecimentos:

Agradeço primeiramente a Deus.

Ao Prof. Dr. Itabaraci N. Cavalcante, pela orientação, dedicação, estímulo, companheirismo e paciência dedicada ao longo do desenvolvimento e correção desse trabalho.

A Dra. Diolande Ferreira Gomes, pela orientação e ajuda durante a etapa de laboratório e esclarecimentos durante a realização deste trabalho.

A CPRM/SGB (Serviço Geológico do Brasil) - Superintendência de Salvador, pela colaboração.

Aos companheiros do Laboratório de Hidrogeologia – Virgínia Pereira, Thiago Viana, Idembergue Moura, Larissa Silva e Conceição Rabelo pela ajuda.

Ao CNPq pela concessão da Bolsa de Pós Graduação que foi de grande ajuda e imprescindível para a realização da pesquisa.

A minha esposa Gerlândia L. Freitas, pelo fraternal e imprescindível apoio na vida pessoal que, foi de grande ajuda e incentivo para a realização desse trabalho.

Agradeço a meus pais, Antônio Carlos Pinto Freitas e Zuleide Bastos Freitas, e irmão Silvaney Bastos Freitas por todo o esforço que fizeram, não só para que se concretizasse esse objetivo, mas inúmeros outros durante o decorrer de minha vida, pelo incentivo, cobranças, apoio e carinho.

*“...E Deus disse a Moisés: Eu estarei a tua espera no alto do Monte Horebe, e com o teu cajado, ferirás a rocha e dela sairá água para o povo beber”.*

(Exodo, cap. 17, v. de 6)

## RESUMO

O presente trabalho caracteriza qualitativamente as águas subterrâneas em uma área de 100 km<sup>2</sup> no município de Caucaia, abrangendo a sede municipal e adjacências, podendo ser considerada de grande ocupação. Foram analisados os seguintes íons e parâmetros: bicarbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), cloretos (Cl<sup>-</sup>), sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>), carbonatos (CO<sub>3</sub><sup>-</sup>), nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), sódio (Na<sup>+</sup>), potássio (K<sup>+</sup>), cálcio (Ca<sup>++</sup>), magnésio (Mg<sup>++</sup>), ferro total, dureza total, nitrogênio amoniacal, pH, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos (STD), totalizando 68 amostras de água, coletadas de 40 poços, sendo 20 deles amostrados durante a pesquisa e 20 outros que tiveram suas fichas e análises de águas levantadas durante a fase de levantamento bibliográfico. A partir destas amostras, foi possível constatar que a intensa atividade antrópica na área, ligadas às características hidrodinâmicas dos sistemas hidrogeológicos, modifica a qualidade das águas subterrâneas de maneira irregular. Em relação ao consumo humano, os compostos nitrogenados apresentam teores acima do máximo permissível pela portaria n° 518 do Ministério da Saúde, chegando a valores de 61mg/L de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e 21,15 mg/L de N-NO<sub>3,4</sub><sup>-</sup> de nitrato e nitrogênio amoniacal, respectivamente, em poços localizados na sede municipal.

A dureza também esteve presente em valores elevados nas águas analisadas, podendo causar restrições em diversos usos.

Em relação à classificação iônica e para agricultura, algumas águas de poços apresentam variação na sua classificação no decorrer da pesquisa, necessitando cuidados especiais em determinados usos.



## ABSTRACT

The present work qualitatively characterizes underground waters in an area of 100 km<sup>2</sup> in the city of Caucaia, enclosing the municipal headquarters and adjacencies, being able to be considered of great occupation. Íons and parameters had been analyzed following: bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), chlorides (CL), sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>), carbonates (CO<sub>3</sub><sup>-</sup>), nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), sodium (Na<sup>+</sup>), potassium (K<sup>+</sup>), calcium (Ca<sup>++</sup>), magnesium (Mg<sup>++</sup>), total iron, total hardness, ammoniac nitrogen, pH, electric condutividade and dissolved total solids (STD), totalizing 68 water samples, collected of 40 wells, being 20 of them showed during the research and 20 others that had had its fichas and analyses of waters raised during the phase of bibliographical survey. From these samples, it was possible to evidence that the intense antrópica activity in the area, on to the hydrodynamic characteristics of the hidrogeológicos systems, modifies the quality of underground waters in irregular way. In relation to the human consumption, the nitrogenados composites present texts above of the permissible maximum for would carry n ° the 518 of the Health department, arriving values of 61mg/L of N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and 21,15 mg/L of N-NO<sub>3,4</sub><sup>-</sup> of nitrate and ammoniac nitrogen, respectively, in wells located in the municipal headquarters. The hardness also was present in values raised in analyzed waters, being able to cause restrictions in diverse uses. In relation to the ionic classification and for agriculture, some waters of wells present variation in its classification in elapsing of the research, necessitando well-taken care of special in determined uses.

## LISTA DE FIGURAS

		página
Figura	01 - Localização e acesso à área de estudo.....	3
Figura	02 - Situação dos títulos minerários no município de Caucaia.....	13
Figura	03 - Litoral do município de Caucaia -CE.....	15
Figura	04 - Mapa Geológico simplificado do município de Caucaia.....	18
Figura	05 - Precipitações pluviométricas médias mensais no município de Caucaia no período de 1976 a 2008.....	24
Figura	06 - Distribuição de Solos do município de Caucaia.....	31
Figura	07 - Perfil litológico do poço nº 562 captando o Sistema Hidrogeológico Cristalino – Caucaia, Ceará .....	41
Figura	08 - Figura 08 - Perfil litológico do poço nº 497 captando o Sistema Hidrogeológico Barreiras.....	43
Figura	09 - Perfil litológico do poço nº 267 captando o Sistema Hidrogeológico Misto Barreiras/Cristalino – Caucaia, Ceará.....	45
Figura	10 - Sólidos totais Dissolvidos, Município de Caucaia - CE (1º Etapa da Pesquisa).....	48
Figura	11 - Sólidos totais Dissolvidos, Município de Caucaia - CE (2º Etapa da Pesquisa).....	48
Figura	12 - Sólidos totais Dissolvidos, Município de Caucaia - CE (3º Etapa da Pesquisa) .....	48
Figura	13 - Sólidos totais Dissolvidos, Município de Caucaia - CE (4º Etapa da Pesquisa).....	49
Figura	14 - Distribuição de poços e intervalos de concentração de STD.....	50
Figura	15 - Distribuição de poços e intervalos de concentração de nitratos nos poços amostrados.....	54
Figura	16 - Distribuição de poços e valores abaixo e acima do máximo permissível de cloretos pela portaria nº 518.....	44
Figura	17 - Fácies Iônicas das águas dos poços selecionados, Município de Caucaia (1º Etapa, 1 a 10).....	58
Figura	18 - Fácies Iônica das águas dos poços selecionados, Município de Caucaia (1º Etapa 11 a 20).....	58
Figura	19 - Fácies Iônica das águas dos poços selecionados, Município de Caucaia (2º etapa, 1 a 9).....	58
Figura	20 - Fácies Iônica das águas dos poços selecionados, Município de Caucaia (3º etapa, 1 a 10).....	59
Figura	21 - Fácies Iônica das águas dos poços selecionados, Município de Caucaia (3º etapa, 11 a 19 e Lagoa).....	60
Figura	22 - Fácies Iônica das águas dos poços selecionados, Município de Caucaia (4º etapa, 1 a 10).....	60
Figura	23 - Fácies Iônica das águas dos poços selecionados, Município de Caucaia (4º etapa, 11 a 19).....	61
Figura	24 - Diagrama para classificação da água para consumo humano (Poços nº 51, 119, 223, 304, 815).....	64
Figura	25 - Diagrama para classificação da água para consumo humano	

		(Poços nº 523, 610, 745, 790, 309).....	65
Figura	26	- Diagrama para classificação da água para consumo humano (Poços nº 85, 128, 721, 809, 810).....	66
Figura	27	- Diagrama para classificação da água para consumo humano (Poços nº 811, 812, 813, 814, 562).....	67
Figura	28	- Classe USSL das águas dos poços selecionados (1º etapa, 1 a 10)..	69
Figura	29	- Classe USSL das águas dos poços selecionados (1º etapa, 11 a 20)	69
Figura	30	- Classe USSL das águas dos poços selecionados (2º etapa, 1 a 9)....	70
Figura	31	- Classe USSL das águas dos poços selecionados (3º etapa, 1 a 10)..	70
Figura	32	- Classe USSL das águas dos poços selecionados (3º etapa, 11 a 19 e Lagoa).....	71
Figura	33	- Classe USSL das águas dos poços selecionados (4º etapa, 1 a 10).	71
Figura	34	- Classe USSL das águas dos poços selecionados (4º etapa, 11 a 19)	72

### LISTA DE FOTOS

Foto	01	- Extração de rocha para britagem, Município de Caucaia – Ce, BR-222 (fevereiro de 2008).....	12
Foto	02	- Parque Botânico.....	16
Foto	03	- Centro de artesanato indígena.....	16
Foto	04	Afloramentos da Formação Barreiras mostrando a variação litológica dentro desta formação – (A) Litotipo mais argiloso e mal selecionado (B) Litotipo com porções ferruginosas.....	20
Foto	05	- Dunas recentes mostrando estratificações, praia de Iparana (NE da área).....	22
Foto	06	- Arenitos de praia em Iparana.....	22
Foto	07	- Solo arenoso com manguezal ao fundo, (A) CE-90 (Próximo ao Parque Botânico) - (B) Detalhe do Solo Arenoso.....	30
Foto	08	- (A) Planície de inundação de mangue as margens da BR – 222 (próximo ao Rio Ceará). (B) Detalhe de solo coberto por sal, resultante da evaporação da água salgada. As águas subterrâneas nestas áreas podem estar salinizadas.....	30
Foto	09	- Foto 09 A e B – Vegetação de mangue nas proximidades do Rio Ceará,( Julho de 2007). (A) detalhe de <i>Rizophora mangue</i> (B) área alagável em período de maré alta.....	32
Foto	10	- Foto 10 – Tabuleiros pré-litorâneos e maciços residuais em segundo plano (CE-090) km 5 - Setembro de 2007.....	33
Foto	11	- (A) Processo de fixação de dunas por vegetação na praia de Iparana. (B) Avanço de dunas móveis em direção a residências mostrando a ocupação desordenada - Caucaia – CE.....	35
Foto	12	- Planície flúvio-marinha do Rio Ceará mostrando a interação entre a água do mar e a fluvial.....	36
Foto	13	- Vista do açude Camarupim mostrando a utilização de suas águas pela população para banho e dessedentação animal (março de 2008).....	37
Foto	14	- Vista da lagoa Capuam mostrando mata ciliar ao fundo e área aberta às margens utilizada pela população para recreação (março de 2008).....	37

Foto	15	- Vista da lagoa Jeneguaba mostrando intensa ocupação em seu entorno e margens poluídas por resíduos sólidos (Março de 2008).	38
Foto	16	- Vista da lagoa Tabapuá às margens da BR-222 mostrando intensa ocupação em suas margens (março de 2008).....	38

### LISTA DE TABELAS E QUADROS

			página
Tabela	01	- Produto Interno Bruto – (2004).....	9
Tabela	02	- Valores totais e médias mensais de precipitação pluviométrica (mm) do município de Caucaia no período de 1976 a 2008.....	25
Tabela	03	- Temperaturas médias mensais do município de Caucaia estimadas através de excreção linear múltipla (FUNCEME 1997).....	27
Tabela	04	- Planilha de cálculo da ETP.....	28
Tabela	05	- Balanço hídrico para o município de Caucaia para o período de 1976 a 2008.....	29
Tabela	06	- Etapas de coletas das águas subterrâneas.....	47
Tabela	07	- Classificação das águas segundo a dureza (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983).....	51
Tabela	08	- Valores de dureza das águas amostradas.....	51
Tabela	09	- Valores de pH nas amostras de águas dos poços na área de pesquisa.....	52
Tabela	10	- Valores, por etapa, de Nitrato (mg/L – N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) nas amostras de águas dos poços na área de pesquisa.....	53
Tabela	11	- Valores, por etapa, de Nitrogênio Amoniacal (mg/L de N-NH <sub>3,4</sub> ) nas amostras de águas dos poços na área de pesquisa.....	53
Tabela	12	- Fácies iônica das águas dos poços amostrados (2° a 4° etapas).....	62
Tabela	13	- Fácies iônica das águas dos poços amostrados na 3° e 4° Fases (n° 10 ao 20 e lagoa).....	62
Tabela	14	- Classes USSL da 2° a 4° etapa.....	72
Quadro	01	- Critérios de qualidade da água para indústrias.....	73

### LISTA DE SIGLAS

CAGECE	-	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CNPQ	-	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CPRM/SGB	-	Serviço Geológico do Brasil
DNOCS	-	Departamento nacional de Obras Contra as Secas
DNPM	-	Departamento Nacional de Produção Mineral
FNS	-	Fundação Nacional de Saúde
FUNCEME	-	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IBGE	-	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	-	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
LABHID	-	Laboratório de Hidrogeologia
PRODETUR	-	Programa de Desenvolvimento do Turismo
SOHIDRA	-	Superintendência de Obras Hidráulicas do Ceará
SRH/CE	-	Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará

# SUMÁRIO

	página
DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
EPÍGRAFE.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE FOTOS.....	vii
LISTA DE TABELAS E QUADROS.....	viii
LISTA SIGLAS.....	viii
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Localização e Acesso.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Objetivos.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Justificativa e Relevância.....</b>	<b>5</b>
<b>2. METODOLOGIA DE TRABALHO.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Levantamento bibliográfico.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Levantamento de fichas de poços tubulares.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3. Levantamento de análises de água.....</b>	<b>5</b>
<b>2.4. Elaboração das bases temáticas.....</b>	<b>5</b>
<b>2.5. Etapas de Campo.....</b>	<b>6</b>
2.5.1. Cadastro de Poços.....	6
2.5.2. Coleta de águas para análises físico-químicas.....	6

<b>2.6. Cadastro de Poços.....</b>	<b>6</b>
2.6.1. Balanço Iônico e Erro Percentual.....	7
<b>2.7. Tratamento e integração dos dados.....</b>	<b>7</b>
<b>2.8. Elaboração da Dissertação de Mestrado.....</b>	<b>7</b>
<b>3.0 ASPECTOS SÓCIOECONÔMICOS.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1. Situação Político Geográfica.....</b>	<b>8</b>
<b>3.2. Infraestrutura.....</b>	<b>10</b>
<b>3.3. Mineração.....</b>	<b>11</b>
<b>3.4. Turismo e Cultura.....</b>	<b>14</b>
<b>4.0. ASPECTOS GEOAMBIENTAIS.....</b>	<b>17</b>
<b>4.1. Geologia.....</b>	<b>17</b>
4.1.1. Unidades Litoestratigráficas.....	17
4.1.1.1. <u>Proterozóico</u> .....	19
4.1.1.2. <u>Tercio-Quaternário</u> .....	20
4.1.1.3. <u>Quaternário</u> .....	20
<b>4.2. Clima.....</b>	<b>23</b>
4.2.1. Balanço Hídrico.....	24
<b>4.3. Solos.....</b>	<b>29</b>
<b>4.4. Vegetação.....</b>	<b>32</b>
<b>4.5. Geomorfologia Regional.....</b>	<b>32</b>
4.5.1. Superfície Sertaneja.....	32
4.5.2. Tabuleiro Pré-Litorâneo.....	33

4.5.3. Planície Litorânea.....	33
4.5.2.1. <u>Planície Praial</u> .....	33
<b>4.6. Recursos Hídricos</b> .....	36
4.6.1. Águas Superficiais.....	36
4.6.2. Águas Subterrâneas.....	38
4.6.2.1. <u>Sistemas Hidrogeológicos</u> .....	39
<b>5.0. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRRÂNEAS</b> .....	47
<b>5.1. Parâmetros Analisados</b> .....	47
5.1.1 - Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	48
5.1.2 – Dureza Total.....	49
5.1.3 – pH.....	51
5.1.4 – NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> e NH <sub>3,4</sub> .....	52
5.1.5 – Cloretos.....	55
<b>5.2 - Classificação Iônica das Águas Subterrâneas</b> .....	57
<b>5.3 – Água Para Consumo Humano</b> .....	63
<b>5.4 – Água Para Agricultura</b> .....	68
<b>5.5 – Uso das Águas Subterrâneas na Indústria</b> .....	73
CONCLUSÕES.....	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
ANEXOS E APÊNDICES.....	79

## ANEXOS E APÊNDICES

ANEXO I – Cadastro Geral dos Poços Tubulares na Área de Pesquisa

ANEXO II – Parâmetros físico-químicos das amostras de águas subterrâneas da área de estudo, município de Caucaia (1º etapa, 1998)

APÊNDICE I - Parâmetros físico-químicos das amostras de águas subterrâneas da área de estudo, município de Caucaia (2º etapa, Novembro de 2006)

APÊNDICE II – Parâmetros físico-químicos das amostras de águas subterrâneas da área de estudo, município de Caucaia (3º etapa, Setembro 2007)

APÊNDICE III – Parâmetros físico-químicos das amostras de águas subterrâneas da área de estudo, município de Caucaia (4º etapa, Março 2008)



## **1. INTRODUÇÃO**

O presente trabalho representa a Dissertação de Mestrado, documento obrigatório na Pós-Graduação em Geologia do Departamento de Geologia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará.

Os recursos hídricos disponíveis no país são abundantes, mas nem sempre bem distribuídos ou bem utilizados. A água subterrânea representa 97% da água potável disponível no planeta e estima-se que 51% do suprimento de água potável do Brasil seja oriundo deste recurso.

Grande parte do estado do Ceará encontra-se incluso no Polígono das Secas, possuindo um regime pluviométrico marcado por uma extrema irregularidade de chuvas. Esse fato condiciona a incipiente vida econômica que se desestrutura por completo quando as chuvas não ocorrem, agravando as já precárias condições sociais.

Devido ao crescimento da utilização das águas subterrâneas para uso doméstico, industrial e agrícola, e da ocupação desordenada, existe um aumento potencial na perda da qualidade natural das águas por substâncias que podem ser de natureza biológica ou química, sendo necessário buscar novos conhecimentos para proteção destes sistemas.

A área selecionada para este estudo possui 100 km<sup>2</sup> e localiza-se no município de Caucaia, apresentando um quadro socioeconômico favorecido por situar-se na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF). Ela foi escolhida para a pesquisa por possuir uma concentração populacional acentuada e usuária de água subterrânea, a existência de dados de poços tubulares para subsidiar a pesquisa e a necessidade de um conhecimento técnico-científico no que diz respeito à qualidade das águas subterrâneas.

### **1.1. Localização e Acesso**

A área de estudo está localizada no município de Caucaia, Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará, mais precisamente a oeste de Fortaleza, localizada na carta topográfica Fortaleza SA.24-Z-C-IV SUDENE, escala 1:100.000. Compreende um polígono irregular localizado entre as coordenadas UTM 9592800 e 9586000 de latitude Sul e de 532200 a 539900 de longitude Oeste de Greenwich, abrangendo parte da porção norte do município de Caucaia, onde está inserida parte da sede municipal.

É servida por rodovias de prefixos estaduais com revestimento asfáltico, entre elas a CE-085 e a CE-117 que liga Caucaia a praia de Icarai.

O acesso à área, a partir de Fortaleza, pode ser realizado através da CE-085, denominada Sol Poente ou Estruturante, da BR-222 e da BR-020, percorrendo-se, em média, 15 km de Fortaleza à sede municipal; outras estradas carroçáveis dão acesso a maior parte da área (Figura 01).

### **1.2. Objetivos**

Como objetivos deste trabalho, tem-se:

➤ Geral

Caracterizar qualitativamente as águas subterrâneas procurando estudar os processos geoquímicos que influenciam na composição iônica dessas, dentro de uma visão da qualidade hídrica como instrumento de gestão dos recursos hídricos.

Como objetivos específicos deste trabalho, tem-se:

- Cadastrar os poços existentes na área;
- Criar uma base de dados de poços georreferenciada;
- Cadastro de análises de água subterrânea;
- Utilizar diagramas hidroquímicos (Piper, US Salinity Laboratory, etc) para a caracterização química das águas, como o programa *Qualigraf* (Möbus, 2009);
- Elaboração de bases temáticas específicas (distribuição de NO<sub>3</sub>, STD, Cl<sup>-</sup>, etc.).

Avaliar a qualidade físico-química da água para consumo humano, tomando como referência a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde e apresentar os dados na forma de diagrama de Schoeller & Berkalo.

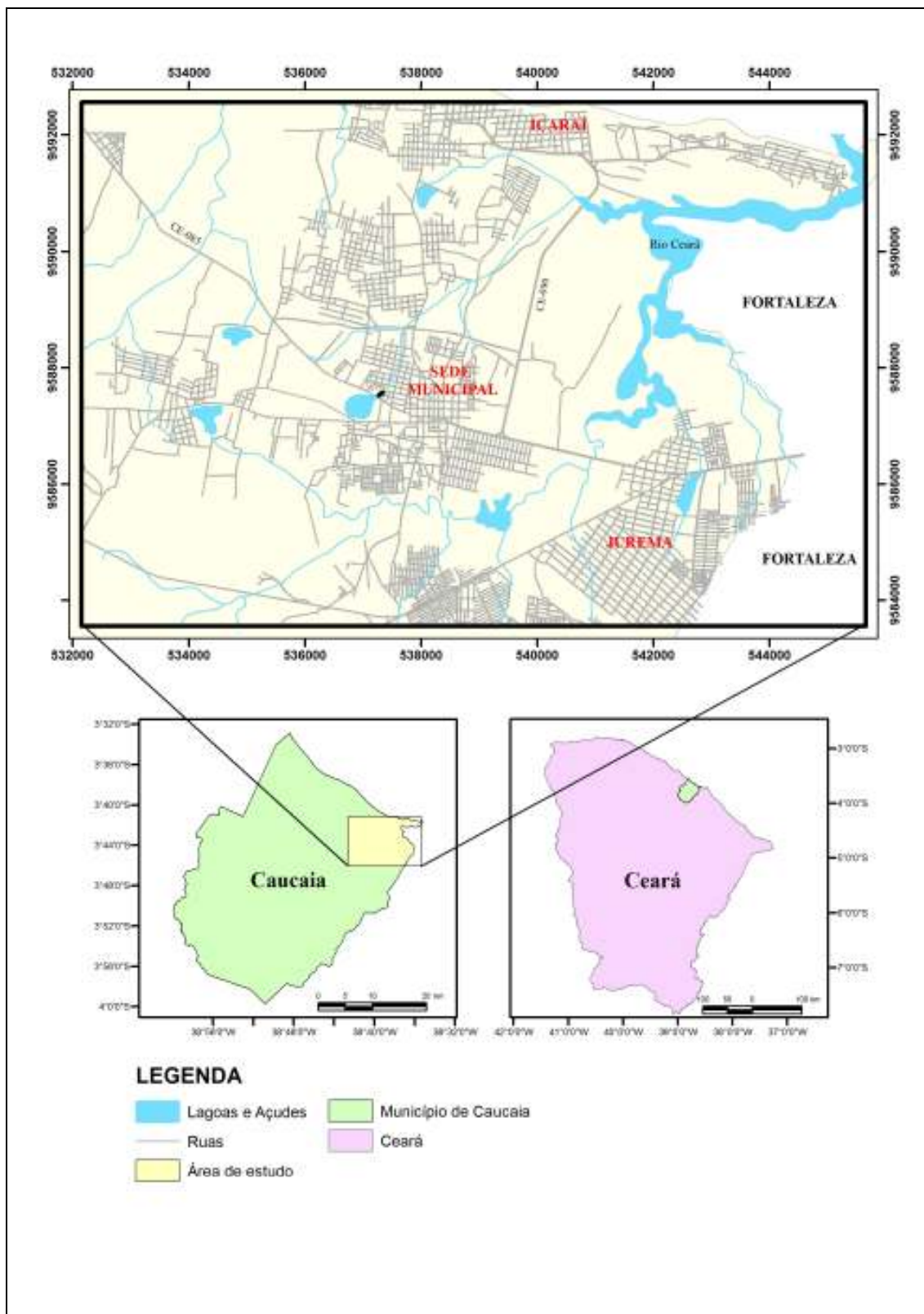


Figura 01 – Localização e acesso à área de estudo

### **1.3. Justificativa e Relevância**

O município de Caucaia possui uma população de aproximadamente 316.494 habitantes (IPECE, 2004) e em termos de abastecimento de água e esgotamento sanitário, possui somente 17.083 e 1.701 ligações ativas, respectivamente (IPECE, 2005).

A proximidade do município de Caucaia com Fortaleza faz com que os dois municípios sofram problemas muito parecidos, principalmente em decorrência da expansão populacional desordenada, fazendo com que a necessidade de água potável cresça ainda mais rápida do que o aumento da população. Este crescimento desordenado e as formas de ocupação inadequadas do meio físico podem comprometer o equilíbrio do sistema hídrico subterrâneo.

Uma vez que o ambiente investigado apresenta, pela sua própria natureza, problemas muito distintos, como os derivados da escassez periódica de água e problemas de saneamento decorrentes do mau uso e ocupação do meio físico, o interesse de seu entendimento e da necessidade de sua abordagem torna-se premente, principalmente, devido a sua importância no cenário sócio-ambiental em que se encontra.

Assim, justifica-se o desenvolvimento de uma pesquisa voltada para o conhecimento das características qualitativas das águas subterrâneas, esperando contribuir para a formação e divulgação de uma base de dados sobre a área em estudo, servindo de instrumento básico para nortear pesquisas e contribuir nas tomadas de decisões dos gestores públicos.

## **2.0. METODOLOGIA DE TRABALHO**

A metodologia adotada foi desenvolvida sistematicamente, seguindo um cronograma previamente estabelecido e dividida em etapas apresentadas a seguir.

### **2.1. Levantamento bibliográfico**

Abordou o levantamento bibliográfico sobre a área de estudo, constando do levantamento de dados referentes à geologia, hidrogeologia, aspectos socioeconômicos e geoambientais, além de mapas temáticos. Esses dados serviram para um melhor conhecimento das características da região, ajudando na elaboração de mapas e bases preliminares de trabalho.

### **2.2. Levantamento de fichas de poços tubulares**

Este levantamento teve como objetivo o cadastro das fichas técnicas dos poços tubulares. Foram realizadas junto a órgãos públicos (SRH/CE, SOHIDRA, DNOCS, FUNCEME, DNPM, FNS, CAGECE e CPRM) e firmas privadas que trabalham na região.

### **2.3. Levantamento de análises de água**

Análises físico-químicas da água foram, desde que possível, obtidos junto às fichas de poços, porém, foi feito o cadastro em campo de alguns poços com o intuito de ampliar o cadastro e comprovar a veracidade dos dados.

Esta fase gerou um arquivo de dados de análises físico-químicas de água, que foram utilizadas posteriormente.

### **2.4. Elaboração das bases temáticas**

Inicialmente foram elaborados mapas preliminares (Utilizando-se o programa ArcGis 9.2) a partir da compilação de mapas já existentes, possuindo características e escalas adequadas referentes a cada finalidade, com o objetivo de se dispor de bases técnicas integradas ao estudo que foram utilizados nas etapas seguintes, como o mapa de distribuição de poços tubulares e mapa geológico compilado, tendo a hidrogeologia simplificada da área, objetivando os primeiros estudos, a localização e distribuição espacial dos poços tubulares, correlacionando as características dos poços com a geologia, para a partir daí fazer planejamento para novas atividades.

## **2.5.. Etapas de Campo**

As etapas de campo foram realizadas sistematicamente de acordo com o desenvolvimento do trabalho. São subdivididas em dois tópicos: Cadastramento de poços e coleta de águas para análises físico-químicas, que serão descritos a seguir.

### **2.5.1. Cadastro de Poços**

Inicialmente foi realizada a identificação e registro, através de fotos, dos poços tubulares, como também, quando necessário, a obtenção de dados que estavam incompletos nas fichas técnicas de poços que podiam ser obtidos em campo como, CE, NE e T °C que foram medidos *in situ* com equipamentos, tais como o condutivímetro Tolledo e medidores de nível Jacire (100m) e Solinst (50 m).

### **2.5.2 Coleta de águas para análises físico-químicas**

Foram selecionados 20 poços, onde foram utilizados para seleção os seguintes fatores: condições de uso, necessidade da população e, sempre que possível, e existência de perfis técnico-construtivos e litológicos completos. Estes poços foram amostrados em três etapas (Novembro/2006, Setembro/2007 e Março/2008), sendo que alguns destes foram amostrados em apenas duas etapas devido a problemas de funcionamento do poço.

## **2.6 Etapas de Laboratório**

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Geoquímica do Departamento de Geologia. A metodologia utilizada teve como base o “*Standart Methods for Examination of Water and Wastewater*” (APHA, 1998).

Nos resultados das análises apresentados foram determinados à dureza total, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, pH, alcalinidade, cálcio, potássio, magnésio, cloretos, fosfatos, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, ferro total, sílica, flúor, nitrato e nitrogênio amoniacal.

O fluoreto foi analisado pelo método do eletrodo de íon específico; sódio e potássio, por fotometria de chama; dureza total, cálcio, cloreto e alcalinidade, por titulometria; nitrogênio amoniacal, nitrato, fosfato, ferro e sílica por espectrometria.

### 2.6.1. Balanço Iônico e Erro Percentual

É de grande importância para os resultados da pesquisa hidroquímica uma verificação da veracidade das análises físico-químicas, para esta pesquisa foi considerado um erro percentual aceitável igual ou inferior a 10%, calculado pela equação 01.

$$Ep (\%) = \left| \frac{r \sum \text{ânions} - r \sum \text{cations}}{r \sum \text{ânions} + r \sum \text{cations}} \right| \times 100$$

Equação 01

Algumas amostras possuem erros percentuais acima do adotado para esta pesquisa (Poços 51, 523, 610, 790 e 813, Apêndices 01 a 03). Estas amostras não foram descartadas para o estudo, pois foram repetidas as análises e ainda permaneceu-se o erro, descartando a hipótese de erro do analista. O erro elevado pode ser um indicativo de algum tipo de contaminação da fonte, com isso, estas amostras continuaram integrando o banco de dados e serão abordadas mais detalhadamente no Capítulo (5).

### 2.7. Tratamento e integração dos dados

O estudo constou da compilação, uniformização e integração dos dados obtidos, gerando bases de dados para a realização da pesquisa.

O conjunto de dados gerou o cadastro geral de poços tubulares de onde, posteriormente, foram selecionados os que podiam se adequar aos objetivos da pesquisa. Após isso, esses dados formaram o cadastro de análises, constando dos seguintes íons e parâmetros: Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Fe<sup>++</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, STD, dureza, condutividade elétrica e pH. A caracterização química das águas subterrâneas foi realizada com a utilização de diagramas específicos (Piper, U.S. Salinity Laboratory) interpretados através do programa hidroquímico Qualigraf (Möbus, 2009) e Schoeller & Berkaloff, onde foram plotados as concentrações dos íons maiores envolvidos.

### 2.8. Elaboração da Dissertação de Mestrado

Ao final das etapas anteriores, foram reunidos subsídios para elaboração da dissertação, com dados e interpretações referentes à pesquisa realizada.

### **3.0 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS**

Neste capítulo estão reunidas informações a respeito de política, geografia, infraestrutura, mineração, turismo e cultura do município de Caucaia.

#### **3.1 . Situação Político Geográfica**

Criado em 1759, o município de Caucaia, dentre os municípios do Ceará, apresenta-se como o segundo mais populoso e o quarto do ranking de maior taxa de crescimento demográfico, devido sua proximidade com a capital, além da implantação do Complexo Industrial e Portuário do Pecém. O distrito de Jurema, situado no município de Caucaia, possui sua maior densidade populacional, congregando os bairros de Jurema, Parque Potira, Conjuntos Araturi e Nova Metrópole, sendo praticamente uma extensão de Fortaleza, assim como a expansão urbana da faixa litorânea municipal que é resultante da demanda existente na Região Metropolitana de Fortaleza que busca, em suas extensões a sul e a nordeste, novas localizações para usos residenciais, comerciais e, principalmente, de lazer.

A BR-222 constitui o principal eixo viário do município juntamente com a BR-020 e a CE- 090, que margeia o litoral e, ainda, a CE-421 que interliga a BR-222, nas imediações da localidade de Primavera ao Pecém. Com a implantação da Via Estruturante (CE-085) pelo Governo do Estado através do programa PRODETUR, um novo vetor de organização viária se estabelece no município, indo em direção oeste, dando suporte ao incremento turístico do litoral.

Segundo dados do IBGE (2006), a população total era de 313.584 habitantes, sendo 154.583 (49,3%) homens e 159.001 (50,7%) mulheres. Quanto à situação domiciliar (IBGE, 2000), 226.088 (90,26%) pessoas moravam na zona urbana, com 110.559 homens (48,90%) e 115.529 (51,10%) mulheres; e 24.391 (9,74%) na zona rural, com 12.740 homens (52,23%) e 11.651 (47,77%) mulheres, demonstrando ser uma população predominante urbana. A taxa geométrica de incremento anual 1991/2000 foi de 4,93%, com 90,26% na zona urbana, representando 3,37% da população do Estado.

A população total residente distribuída por distritos, em 2000, mostra que o maior contingente populacional encontra-se na sede de Caucaia com 46,06% e no distrito de Jurema com 43,64%.

De acordo com a situação de domicílios, Caucaia é um município predominante urbano, embora os distritos de Bom Princípio, Catuana, Guararu, Mirambé e Tucunduba tenham a maioria de sua população residencial na zona rural.

No que se refere á população por grupo de idade, o município se caracteriza por ter uma população jovem; em 2000 o município obteve 35,83% da população entre 0 e 14 anos,



60,45% entre 15 e 64 anos e 3,72% com 65 anos de idade ou mais, onde se pode observar baixa variação.

Quanto a educação, o município de Caucaia em 1999 possuía um total de 288 estabelecimentos, entre públicos (estaduais e municipais) e particulares, sendo 194 (67,36%) na zona urbana e 94 (32,64%) na zona rural, atendendo a 90.066 alunos distribuídos nos cursos de educação infantil (23,01%), ensino fundamental (68,53%) e o ensino médio com apenas 8,46%. O número total de docentes foi de 3.349 e o de salas de aula existente era de 1.894. O município não possui estabelecimentos de ensino superior, entretanto, dada à proximidade da capital, a população local tem facilidade de acesso aos cursos de ensino superior ofertados em Fortaleza.

Quanto aos índices de desenvolvimento, segundo o IPECE/PNUD, o Índice de Desenvolvimento Municipal (IDM – 2004) apresentou um valor de 39,40 (12º do estado), Índice de Desenvolvimento Humano (IDH – 2000) de 0,721 (3º do estado) e o Índice de Desenvolvimento Social de Resultado (IDS-R– 2005) de 0,4538, ocupando o 43º do estado.

O setor de serviços representa a maior contribuição no Produto Interno Bruto (PIB) em termos de porcentagem, 55%, seguido do setor industrial com 42,70% (R\$ 540.576,3) e agropecuária 2,31% (Tabela 01).

Tabela 01 - Produto Interno Bruto – IPECE (2004)

<b>DISCRIMINAÇÃO</b>	<b>MUNICÍPIO</b>	<b>ESTADO</b>
PIB total e preços de mercado (R\$ mil)	982.866	33.260.672
PIB <i>per capita</i> (R\$ 1,00)	3.340	4.170
PIB setor (%)		
Agropecuária	2,31	5,35
Indústria	42,70	37,90
Serviços	55,00	56,70

Segundo o Tribunal de Contas dos Municípios (TCM, 2005), as despesas totais do município chegavam a R\$ 152.181,00, sendo 77,8 % com despesas correntes (Pessoal e encargos sociais, juros e encargos de dívida, etc.).

Segundo a Secretaria da Fazenda (SEFAZ - 2005), a Receita Estadual Arrecadada era de R\$ 203.290,00.

### **3.2 . Infraestrutura**

A CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará é responsável pelo sistema de abastecimento d'água do Município de Caucaia. O fornecimento do produto vem direto de Fortaleza, através do Complexo Pacoti – Riachão, injetado por gravidade na rede de

distribuição do município. Apenas 35% da área urbana possuem cobertura, chegando à rede pública somente a sede municipal e o distrito de Jurema, abrangendo um total de 13.99% das habitações.

A rede de distribuição de água, em 2000, contava com 199.739 metros de canalização e 18.042 ligações reais, produzindo um volume de 4.364.089 m<sup>3</sup> de água.

Nas áreas não dotadas de abastecimento público, os sistemas comumente adotados são de cacimbas e carroças/carros-pipa. Em algumas sedes distritais, existem sistemas públicos compostos de chafarizes, com reservatório central e água em algumas residências.

Existem redes de esgoto nos conjuntos habitacionais populares de Araturi, Nova Metrópole, Planalto Caucaia e Parque Tabapuá e apenas 1/3 da Sede Municipal é atendida com serviço de coleta, todos com lagoas de estabilização e manutenção, métodos modernos de tratamento esgotos.

Segundo o IBGE (2002), a extensão da rede coletora de esgotos era de 192.771 metros com 1.552 ligações reais. Em relação ao tipo de esgotamento sanitário utilizado, cerca de 88% dos domicílios pesquisados possuíam algum tipo de esgotamento sanitário, sendo 27% ligados a uma rede geral de esgoto, 22% com fossa séptica, 37% de fossa rudimentar e 2% de outra forma. O sistema de esgotamento do município de Caucaia atende em torno de 52.341 localizados nos principais centros urbanos.

Todo o lixo coletado é levado para o Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia - ASMOC, fazendo parte do projeto SANEAR, sendo executado pelo Governo do Estado do Ceará. Dos 59.380 domicílios em Caucaia, em 75,28% o lixo é coletado, sendo que 11,88% do lixo é jogado em terreno baldio, 9,00% é queimado, 1,94 é enterrado, 1,29% recebe outro destino e 0,61% é jogado em rio ou lagoa.

O fornecimento de energia elétrica em todo o município de Caucaia está a cargo da COELCE – Companhia Energética do Ceará. O número de consumidores total, em 2001, era de 68.021 consumidores de energia elétrica, sendo que a grande maioria está na classe residencial (93,15%) seguida pela classe comercial com 4,91% de consumidores e a rural com 1,05%. Em 2002, houve um crescimento no número de consumidores de 5,18%, ficando com 93,13% na classe residencial, 4,52% na classe comercial, 1,04% na classe rural, 0,60% na classe pública, 0,34% na classe industrial e 0,01% do número de consumidores na classe própria.

Do total dos domicílios urbanos, apenas 2,65% ainda não dispõem de energia elétrica, o que representa um índice significativo de crescimento comparando-se com os 73,9%

registrados no ano de 1991. O consumo total de energia elétrica ficou em torno de 135.514 Mwh, em 2001, sendo a maior parte residencial (48,73%), seguida da industrial com 24.80% e da comercial com 13,60%. Já em 2002 houve um crescimento de 2,99% no consumo total, sendo refletida em todas as classes de consumo, com exceção das classes residencial e comercial que sofreram uma redução em seu consumo.

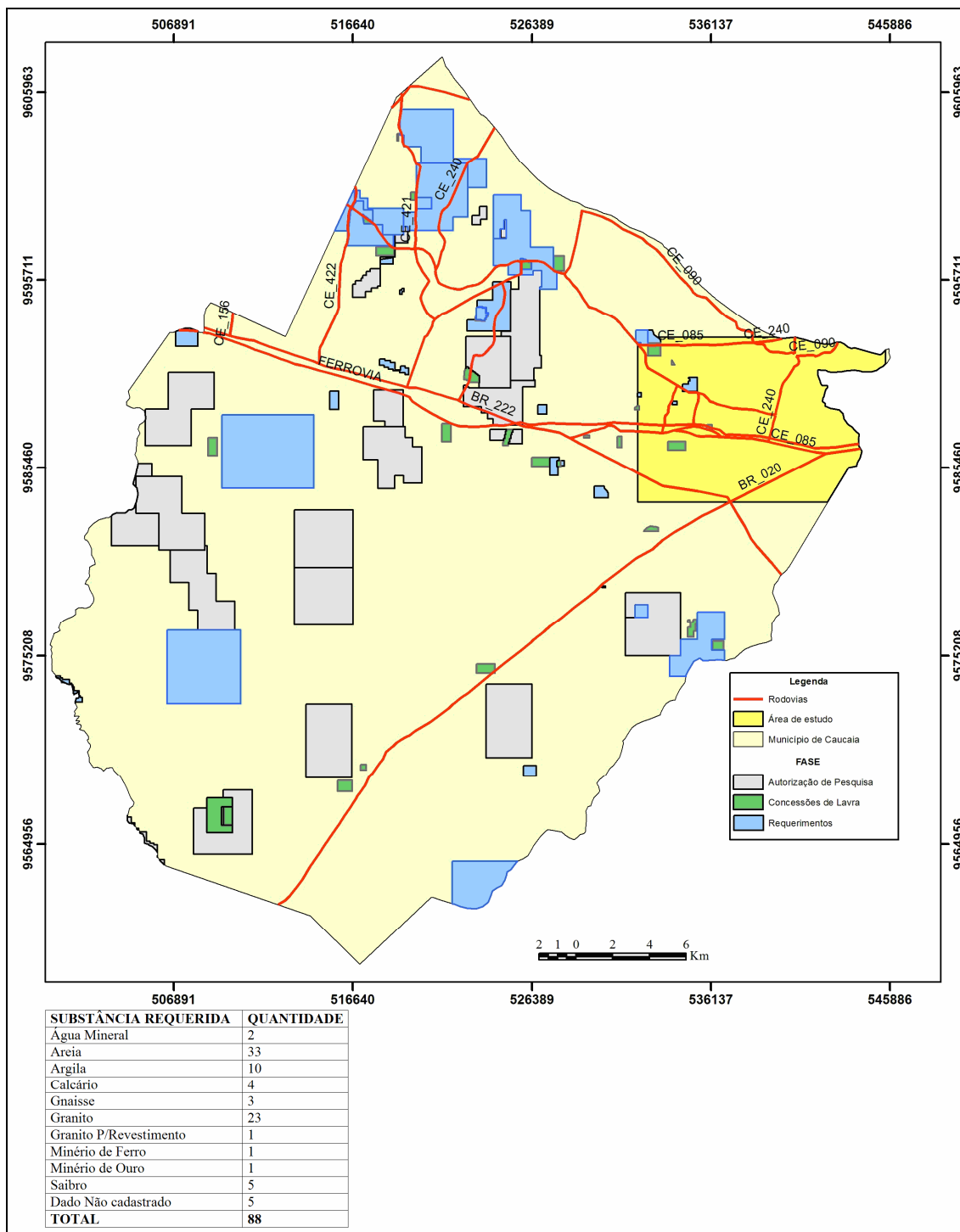
### **3.3 . Mineração**

Na área de mineração, a extração de rochas ornamentais, rochas para cantarias, brita, fachadas e usos diversos na construção civil (gnáisses, granitos, migmatitos e fonólitos) é bastante desenvolvida. Da mesma forma, a extração de areia, argila (utilizados na fabricação de telhas e tijolos), bem como a extração de rocha calcária (utilizada na fabricação de cal), encontram-se difundidas no âmbito do município.

Em relação aos títulos minerários (Figura 02), levando-se em consideração o território do município, ainda são pouco expressivos, sendo as áreas requeridas, na maioria, para extração de areia e argila, grande parte localizadas na área em estudo e em fase de licenciamento, e calcário e brita, no restante do município, em fase de autorização de pesquisa (Foto 01). A extração das substâncias mencionadas não impactam diretamente a qualidade das águas subterrâneas.



Foto 01 – Extração de rocha para britagem, Município de Caucaia – Ce, BR-222 (fevereiro de 2008)



Fonte: SIGMINE – DNPM – setembro de 2008

Figura 02 – Situação dos títulos minerários no município de Caucaia

### **3.4. Turismo e Cultura**

O maior atrativo turístico do município de Caucaia é o seu litoral (Figura 03), com muitas praias e dunas, podendo destacar-se algumas delas, como: Dois Coqueiros, Pacheco, Iparana, onde se localiza a colônia de férias do SESC; e Icaraí, destacada por sua infraestrutura, proporcionando anualmente campeonatos de surf, *bodyboard*, o *windsurf* e vôlei; Cumbuco, coroada por denso coqueiral; Lagamar do Cauípe, onde as dunas barram o encontro do rio com o mar proporcionando aos usuários a prática do windsurf. Dentre as lagoas, destaca-se a Lagoa do Banana, cercada por dunas e bastante utilizada para a prática de esportes náuticos.

O artesanato de Caucaia é bastante diversificado com formas, cores e beleza, herança cultural da miscigenação cearense, principalmente a indígena. Podem ser encontrados produtos como bordados, madeira, cestaria, transados, cerâmica, renda e tecelagem, comercializados nos centros artesanais, mercados e comércios de ruas, a exemplo dos produtos artesanais confeccionados pela população indígena do município (Foto 03).

Algumas atrações fazem parte do roteiro turístico do município de Caucaia, como por exemplo, o “Santo Cruzeiro” erguido na antiga Praça da Matriz em 1749; a Igreja de Nossa Senhora de Santana, com arquitetura do século XIX; a Igreja de Nossa da Conceição, em Sítios Novos, datada do século XX. Também do século XX, a Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres, padroeira do município, é considerada o orgulho arquitetônico de Caucaia datada do século XVI. Entre outros atrativos culturais do município pode ser destacado a Cadeia Pública, que atualmente funciona a Biblioteca Pública Municipal Prof. Martins de Aguiar, que considerada como relíquia histórica, foi tombada pelo Instituto Histórico Artístico Nacional como monumento nacional.

Freitas, L.C.B – Qualidade das Águas Subterrâneas - Área no Município de Caucaia, Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará.



Fonte: Prefeitura Municipal de Caucaia, janeiro de 2007

Figura 03 - Litoral do município de Caucaia -CE

Freitas, L.C.B – Qualidade das Águas Subterrâneas - Área no Município de Caucaia, Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará.

De grande importância sociocultural, o Parque Botânico do Ceará, com um amplo espaço aberto, localizado na CE-090/ km 3, com 190 hectares, tem sido o habitat para diversas espécies nativas da flora e fauna do Nordeste (Foto 02).



3°42'50.35''S / 38°38'28.12''O  
Foto 02 - Parque Botânico



3° 44'23.78''S / 38°38'07.79''O  
Foto 03 – Centro de artesanato indígena

#### **4.0. ASPECTOS GEOAMBIENTAIS**

Os aspectos geoambientais do município são representados pelas características geológicas, geomorfológicas, climáticas, componentes hídricos, solos e vegetação. Possuindo uma importante relação com a água subterrânea.

##### **4.1. Geologia**

A região estudada insere-se no contexto geológico/geotectônico da Faixa de Dobramentos Jaguaribeana (Brito Neves, 1975) de idade proterozóica inferior atribuída por alguns autores, onde predomina a exposição de terrenos gnáissicos-migmatíticos-graníticos (Figura 04).

A sudeste destaca-se o Maciço de Maranguape, caracterizado pelo predomínio de terrenos migmatíticos, com estruturas metatexíticas e facoidais nas suas margens, e estruturas diatexíticas no seu interior. Diversos corpos graníticos podem ser identificados em permeio a esta unidade geotectônica, em contatos transicionais com as suas encaixantes.

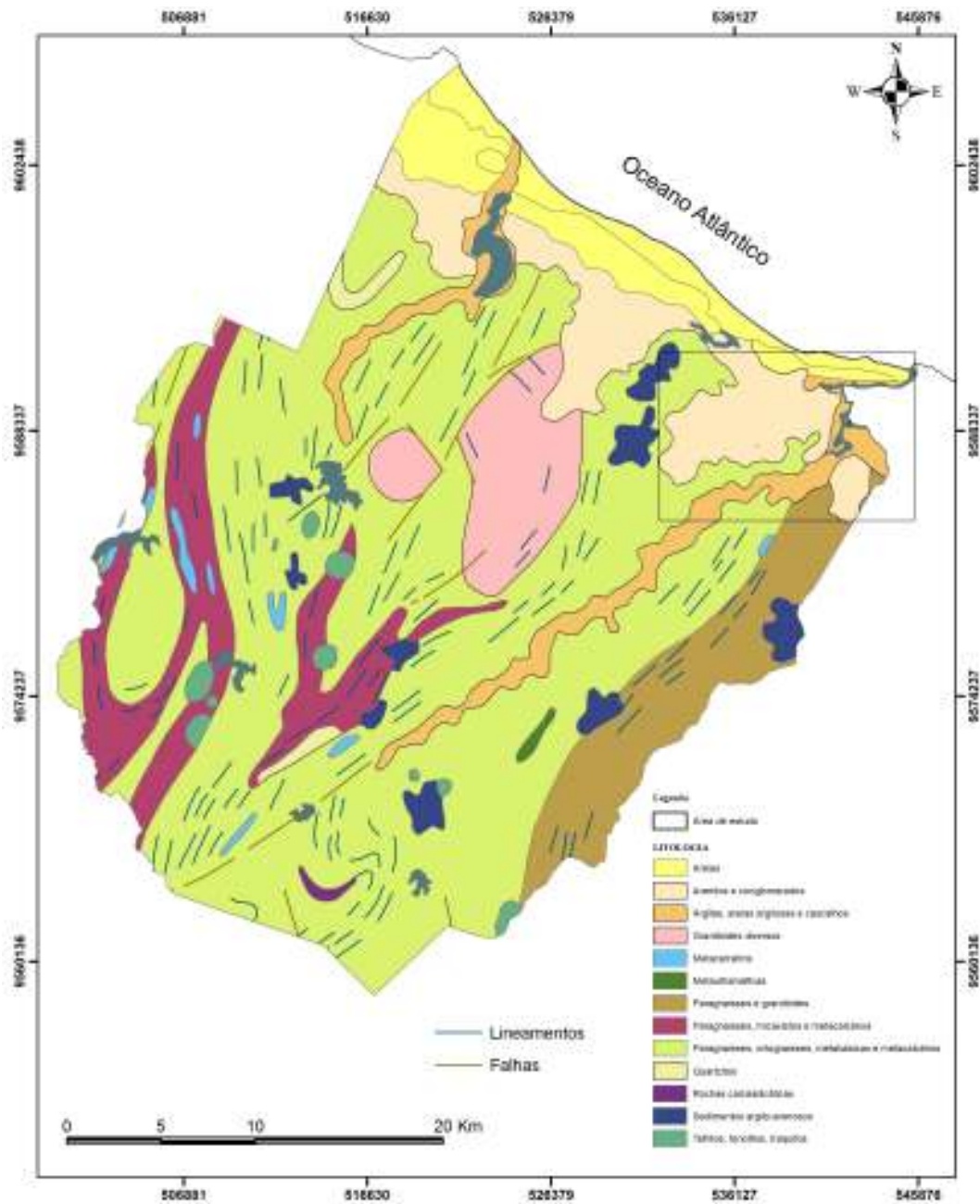
A atividade tectônica associada à deriva continental e abertura do Oceano Atlântico providenciou a formação das bacias nordestinas preenchidas por sedimentos continentais e marinhos; posteriormente, uma ação compressiva teria afetado estas bacias, culminando com a deposição dos sedimentos pertencentes à Formação Barreiras.

##### *4.1.1. Unidades Litoestratigráficas*

Geologicamente, a região estudada engloba as seguintes unidades litológicas: Complexo Granitóide - Migmatítico, Complexo Gnáissico-Migmatítico, ultrabasitas e granitóides diversos do Proterozóico, e as Coberturas Sedimentares Cenozóicas (Brandão, 1995). A área estudada engloba, especificamente, o Complexo Gnáissico-Migmatítico, a Formação Barreiras, as Coberturas Sedimentares Indiferenciadas, as Dunas/Paleodunas e as Aluviões.



Freitas, L.C.B – Qualidade das Águas Subterrâneas - Área no Município de Caucaia, Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará.



Fonte: Serviço Geológico do Brasil - CPRM (modificado)

Figura 04 - Mapa Geológico simplificado do município de Caucaia

#### 4.1.1.1 Proterozóico

##### ➤ *Complexo Granitóide Migmatítico*

*Braga et al. (1977) utilizaram a denominação Complexo Tamboril-Santa Quitéria para descrever os granitóides diversos, migmatitos e gnaisses-migmatíticos que ocorrem a sudoeste de Fortaleza, abrangendo as regiões de Maranguape, Pacatuba e a porção norte do Maciço de Baturité.*

Nascimento *et al.* (1981) consideram este complexo como uma individualização litológica, constituída predominantemente por granitos e migmatitos, dentro do Complexo Nordeste incluindo, ainda, gnaisses, gnaisses migmatizados e granitóides, além de anfíbolitos, quartzitos, meta-arcóseos, mármores, xistos e rochas calcissilicáticas, caracterizando uma ampla e complexa associação litológica.

##### ➤ *Complexo Gnáissico – Migmatítico*

Segundo Brandão (1995), este Complexo possui idade entre 2,6 Ga e 2,0 Ga, sendo posicionado no Proterozóico e ocorrendo sotoposto à Formação Barreiras. É uma seqüência predominantemente paraderivada constituída de gnaisses aluminosos, em parte migmatizados, e freqüentemente intercalados por níveis quartzíticos e carbonáticos.

Outros autores lhes conferem denominações diversas como: Complexo Fundamental (Crandall, 1910), Complexo Caicó (Meunier, 1964), Pré-Cambriano Indiferenciado (Leal, 1970), complexo Gnaissico-Migmatítico (Lima *et al.* 1980) e Complexo Nordeste (Nascimento *et al.*, op. cit.; Braga *et al.*, op. cit).

##### ➤ *Granitóides*

Brandão (op. cit.) descreve as inúmeras ocorrências de rochas plutônicas de natureza granitóide na área da RMF, subdividindo-os em duas classes: os corpos cedo a sin-tectônicos e os corpos tarde a pós-tectônicos. Os corpos cedo a sin-tectônicos ocorrem como pequenos corpos estratóides que mostram acentuada deformação, enquanto que aqueles classificados como tardi a pós-tectônicos correspondem aos corpos de Itaitinga e o corpo próximo a localidade de Água Verde, além dos serrotes de Jatobá, Cachoeira e Baú, embora esta classificação seja considerada preliminar devido à carência de dados geocronológicos, geoquímicos e relações tectono-estruturais classificadas com referência as fases deformacionais do Ciclo Brasileiro.

#### 4.1.1.2. Tercio-Quaternário

##### ➤ *Formação Barreiras*

De modo geral, a Formação Barreiras (Fotos 04 A e B) apresenta composição areno-argilosa, por vezes siltosa, coloração variegada por vezes avermelhada, castanha ou amarelada, observando-se que, segundo o estudo granulométrico e composicional, estes sedimentos são pobremente selecionados e, poucas vezes, muito pobremente selecionados, classificados como areia fina lamosa e, mais raramente, como areia muito fina lamosa, tendo o quartzo como componente dominante e freqüentemente inclusões de minerais opacos.



3°44'26.19''S / 38°57'44''O



3°44'12.78''S / 38°38'56.11''O

Foto 04 A e B – Afloramentos da Formação Barreiras mostrando a variação litológica dentro desta formação – (A) Litotipo mais argiloso e mal selecionado BR-222 km 7 (B) Litotipo com porções ferruginosas BR 222 km 9.

#### 4.1.1.3. Quaternário

##### ➤ *Coberturas Colúvio Eluviais*

Segundo Brandão (1995), estes depósitos são resultantes do intemperismo *in situ*, distribuindo-se de forma irregular constituindo “ilhas” ou manchas que se assentam diretamente sobre os litotipos pré-cambrianos, com pequeno deslocamento gravitacional, e caracterizados morfologicamente como tabuleiros aplainados, muitas vezes rebaixados ao nível da superfície cristalina.

Braga *et al.* (1977 *apud* Holanda *et al.*, 2003) caracterizaram litologicamente esses sedimentos como um material areno-argiloso, alaranjado e/ou avermelhado, de granulação fina a média, ocasionalmente mais grosseiro, inconsolidado, com horizonte

Freitas, L.C.B – Qualidade das Águas Subterrâneas - Área no Município de Caucaia, Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará.

laterizado na base e de matriz areno-argilosa caulínica, com cimento argiloso e/ou ferruginoso.

➤ *Paleodunas e Dunas Recentes*

Segundo Brandão (1995), as paleodunas repousam discordantemente sobre a Formação Barreiras, possuindo grande porte e sendo cobertas pelas dunas móveis ou recentes. Estas unidades ocorrem na faixa litorânea formando cordões, sendo caracterizadas por areias bem selecionadas de granulção fina a média, com diâmetro efetivo médio de 0,15 mm, por vezes siltosas, quartzosas e/ou quartzo-feldspáticas, com tons amarelados, alaranjados ou acinzentados. A espessura total chega a 30 metros, porém ocorre um predomínio do intervalo de 10 a 15 metros com progressiva redução em direção ao interior (Cavalcante, 1998).

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

As dunas recentes (Foto 05) são formadas pela acumulação de sedimentos removidos da face de praia pela deflação eólica, distribuindo-se como cordões contínuos dispostos paralelamente à linha de costa, com largura média de 2 km e espessura predominante oscilando de 8 a 15 metros (Brandão, 1995).



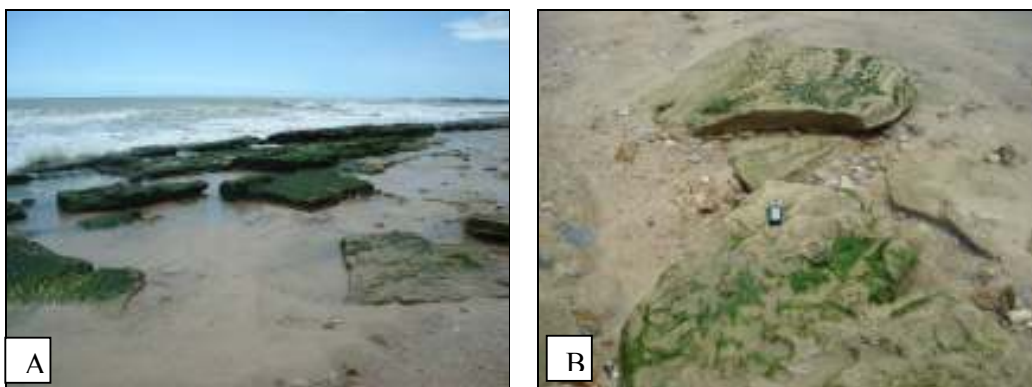
3°41'27.45''S / 38°36'34.09'' O

Foto 05 – Dunas recentes mostrando estratificações, praia de Iparana (NE da área)

➤ *Rochas de praia*

Os *beach-rocks* (Foto 06 A e B), também denominados de rochas de praia, ocorrem em diversos trechos da área. São arenitos conglomeráticos com grande quantidade de bioclastos (fragmentos de moluscos e algas), cimentados por carbonato de cálcio (Cavalcante, 1998).

São representadas por arenitos de coloração cinza a creme, de granulometria variada, mal selecionados, apresentando-se com grãos arredondados a sub-arredondados e com baixa a média esfericidade. Com relação ao aspecto textural varia entre grossa a média com um considerável grau de litificação, podendo-se verificar estratificação cruzada e/ou plano paralela que serve de testemunho das modificações da direção de aporte de sedimento durante a deposição.



Fotos 06 A e B – Arenitos de praia, praia de Iparana (3°41'19.34"S / 38°36'41.37"O)

➤ *Depósitos Flúvio-Aluvionares e de Mangues*

Segundo Brandão (1995), os depósitos flúvio-aluvionares e de mangues são representados por areias, cascalhos, siltes e argilas, com ou sem matéria orgânica, compreendendo os sedimentos fluviais, lacustres ou estuarinos recentes.

Os rios e riachos que ocorrem nas coberturas sedimentares favorecem a formação de depósitos mais possantes, provenientes do retrabalhamento da Formação Barreiras e das dunas/paleodunas, resultando em depósitos compostos predominantemente por areias finas, siltes e argilas.

Finalmente, os depósitos aluvionares e de mangue representam o último segmento das rochas quaternárias acima mencionadas, formados por areias, cascalhos, siltes e argilas, com ou sem matéria orgânica.

Os depósitos siltico-argilosos ricos em matéria orgânica são formados nos ambientes estuarinos ou de planície flúvio-marinha, os quais são responsáveis pela sustentação do mangue (Holanda *et al.*, 2003).

#### **4.2. CLIMA**

O clima do Ceará é regido por influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), principal responsável pelo regime pluvial, frentes frias e pelo centro de vortividade ciclônica formado sobre o Atlântico Sul. Esse regime climático gera a ocorrência de precipitações concentradas apenas no primeiro semestre do ano (Lima & Silva, 2003).

Em virtude da baixa latitude e conseqüente proximidade com a linha do equador, o território cearense apresenta um regime térmico bastante uniforme. Em Caucaia, as

temperaturas são amenizadas pelos ventos alísios, sendo registrada temperatura média anual de 26,8 °C e amplitudes térmicas sempre inferiores a 5°C.

Os tipos climáticos predominantes são: Tropical Quente Semi-Árido Brando, Tropical Quente Sub-Úmido e Tropical Quente Úmido, e as precipitações pluviométricas anuais variam entre 4,1 a 313,8 mm, com as maiores precipitações ocorrendo entre os meses de janeiro a junho (Figura 05 e Tabela 02).

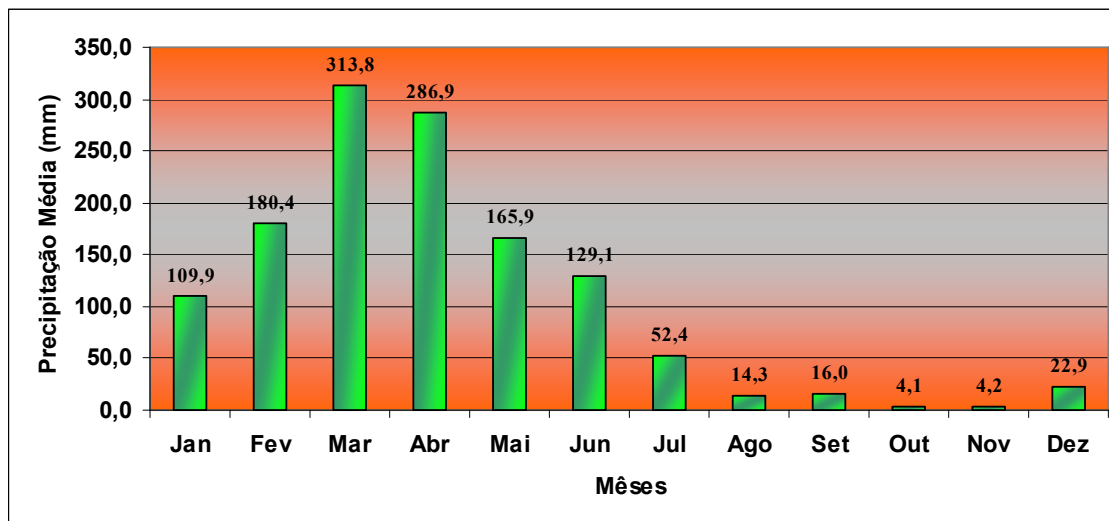


Figura 05 – Precipitações pluviométricas médias mensais no município de Caucaia no período de 1976 a 2006.

#### 4.2.1. Balanço Hídrico

O conceito de balanço hídrico (Thornthwaite, 1948) avalia o solo como um reservatório fixo, no qual a água é armazenada, até o máximo da capacidade de campo, e somente será removida pela ação das plantas. Este conceito é muito utilizado em processos de zoneamento agroclimático, demanda de água para irrigação e até mesmo classificação climática.

O balanço hídrico, além da evapotranspiração potencial (ETP), possibilita estimar a evapotranspiração real (ETR), que é a quantidade de água que nas condições reais se evapora do solo e transpira das plantas. O excedente hídrico: é a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial, quando o solo atinge a sua capacidade máxima de retenção de água, e deficiência hídrica: é a diferença entre a evapotranspiração potencial e a real (Alfonsi, 1995).

Freitas, L.C.B – Qualidade das Águas Subterrâneas - Área no Município de Caucaia, Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará.

Tabela 02 – Valores totais e médias mensais de precipitação pluviométrica (mm) do município de Caucaia no período de 1976 a 2006.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total (mm/ano)
1976	63	397,6	206,7	335,1	108	31,7	25,5	14	110	0	0	0	1291,6
1977	233,2	180,3	223,6	148	160	329,5	0	0	0	0	0	0	1274,6
1978	19	231	336	111	113	50	155	0	0	0	0	0	1015
1979	33	103	175	92	164	44,2	5,6	36,6	40	6,5	4,8	0	704,7
1980	155,6	480,1	157,5	33,8	87,3	112	82	14	20	0	0	0	1142,3
1981	44	89	375	106	84	0	0	0	0	0	0	52	750
1982	104	126	237	244	60	64	44	9	21	0	0	16	925
1983	14	117,9	261,6	72	107	70,2	23,4	10,4	0	5,5	0	64,2	746,2
1984	86	163	259	259	317	189,6	147	62,9	15,1	24	0	3,2	1525,8
1985	239	471,3	525,2	413,2	246,4	185,5	136,4	21,6	0	0	0	180	2418,6
1986	114,2	308,8	583	436,6	177,2	276,4	24,2	23	0	0	29,2	22,8	1995,4
1987	56	109,5	449	131	34,2	249,8	55	10,4	2,4	8,2	0	0	1105,5
1988	212	219,2	391,9	344,2	165,4	172,8	53,4	0	0	0	24,4	166,8	1750,1
1989	223,8	74,5	193	286,1	194,8	232,8	135,1	73,6	59,4	5,5	0	33,2	1511,8
1990	65	85,8	73,9	205	171,6	40,8	59	9,9	28,1	9,6	20	18,3	787
1991	40,7	136,6	402,9	411,4	111,6	49,8	2,8	3,4	0	28,4	3,6	0	1191,2
1992	33	227,1	247,7	159,6	46,3	104,6	12,6	7,7	3,4	0	0	0	842
1993	39	82,2	159,6	178	38	40	112	0	8	0	2,4	15,4	674,6
1994	147,8	210,8	489,2	446,6	291,6	455,2	53,8	8,2	1	0	0,8	45	2150
1995	96,6	231,3	506	610,1	306,2	106,4	51,6	0	0	9,8	18	0	1936
1996	97,6	280	389	322,8	269,2	28	7,2	25,6	1,6	1	0	6,2	1428,2
1997	6,8	45	175,6	327,2	152,4	1,2	26,2	17,4	0	0	0	19	770,8
1998	125,6	84,2	266,2	135,6	65	56	0	12,6	0	0	0	0	745,2
1999	65,8	123	248	202,6	286,4	7,5	0	0	35	4	1	0	973,3



Freitas, L.C.B – Qualidade das Águas Subterrâneas - Área no Município de Caucaia, Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará.

Tabela 02 (cont) – Valores totais e médias mensais de precipitação pluviométrica (mm) do município de Caucaia no período de 1976 a 2006.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total (mm/ano)
2000	290,3	129,2	422	409,9	124,9	67	100,4	74	123,6	0	0	7,8	1749,1
2001	110,9	47,6	194	817,5	61,8	188,9	77,2	0	0	0	14	42,6	1554,5
2002	273,1	68,8	373,2	523,1	158,9	167,8	132,3	3,2	0	24,1	11,2	6,3	1742
2003	23	325,6	543,4	447,6	388,4	183,8	0	4,6	9	0	0	10	1935,4
2004	315,4	252,2	476,4	160,6	50	232,2	70,6	0	17,6	0	0	0	1575
2005	14,4	75	204,6	188	289,8	145,8	16,6	0	0	0	0	0	934,2
2006	63,6	116,6	183,6	336,6	312,8	119,6	17	0	0	0	0	0	1149,8
Média (mm)	109,852	180,394	313,832	286,91	165,91	129,132	52,4484	14,2613	15,9742	4,08387	4,17419	22,8645	1299,84

Em climas semi-áridos, a evapotranspiração real é um importante parâmetro, podendo ser considerado a principal forma de perda de água.

A metodologia utilizada para o cálculo do balanço hídrico, foi a proposta por Thornthwaite (1948), que utiliza fórmulas empíricas, calculadas à partir de fatores climáticos como precipitações e temperaturas médias mensais (Tabelas 02 e 03). Para os cálculos das médias mensais de temperaturas e pluviosidade foram utilizados dados do período de 1976 a 2006, cedidos pela FUNCEME.

Tabela 03 – Temperaturas médias mensais do município de Caucaia estimadas através de excreção linear múltipla (FUNCEME 1997)

Mês	T°C
Jan	27,33
Fev	26,90
Mar	26,48
Abr	26,60
Mai	26,51
Jun	26,95
Jul	25,91
Ago	26,24
Set	26,73
Out	27,12
Nov	27,32
Dez	27,46

A evapotranspiração potencial (ETP) é calcula à partir da fórmula:

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

Onde:

ETP = Evapotranspiração Potencial (mm);

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

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

I = Índice térmico anual;

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

$$I = \sum_{j=1}^{12} I_j$$

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

T = temperatura média mensal;

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

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

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

Os resultados obtidos para (I) e (a) são de 147,4 e 3,6203, respectivamente. Os valores de I<sub>i</sub> e K mensais, junto com suas respectivas ETPs, estão dispostos na Tabela 04.

Tabela 04 – planilha de cálculo da ETP

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>I<sub>i</sub></b>	12,61	12,47	12,27	12,20	12,13	12,06	11,92	11,99	12,20	12,40	12,54	12,61
<b>K</b>	1,06	0,95	1,04	1	1,02	0,99	1,02	1,03	1	1,05	1,03	1,06
<b>ETP</b>	154	134	141	134	135	129	129	132	134	146	147	154

A evapotranspiração real (ETR) é obtida a partir da comparação da evapotranspiração potencial com a precipitação, considerando-se que a quantidade máxima de água que o solo pode armazenar é de 100 mm, segundo Thornthwaite & Mather (1955).

Após os cálculos de PPT, ETP e ETR, obteve-se dados suficientes para se calcular a infiltração anual (I<sub>f</sub>), que é calculada subtraindo-se a ETR total da precipitação total, obtendo-se um valor de 362 mm/ano, ou seja, a 27,8% da precipitação média total (Tabela 05).

Tabela 05– Balanço hídrico para o município de Caucaia para o período de 1976 a 2008.

Meses	PPT	ETP	PPT - ETP	CA	ETR	DEFICIT	I <sub>f</sub>
	(mm)						
<b>Jan</b>	116	154	-38	0	116	48	0
<b>Fev</b>	189	134	55	57	134	0	0
<b>Mar</b>	303	141	162	100	141	0	162
<b>Abr</b>	302	134	168	100	134	0	168
<b>Mai</b>	167	135	32	32	135	0	32
<b>Jun</b>	128	129	-1	0	128	0	0
<b>Jul</b>	44	129	-85	0	44	41	0
<b>Ago</b>	13	132	-119	0	13	118	0
<b>Set</b>	11	134	-122	0	11	121	0
<b>Out</b>	4	146	-142	0	4	148	0
<b>Nov</b>	3	147	-144	0	3	149	0
<b>Dez</b>	22	154	-132	0	22	138	0
<b>Total</b>	<b>1302</b>				<b>885</b>		<b>362</b>

PPT= Precipitação; ETP= Evapotranspiração Potencial; CA= capacidade de armazenagem do solo.

### 4.3. Solos

A região apresenta diversos tipos de solos, predominando os tipos: Areias Quartzosas Marinhas, Solos Litólicos, Planossolos Solódicos, Podzólicos Vermelho-Amarelo, Solonchak, Solonetz Solodizado e Vertissolos (Figura 06).

Os Neossolos Litólicos (Solos Litólicos) são muito rasos, e os Neossolos Quartzarênicos (Areias Quartzosas) possuem reduzida disponibilidade de água, baixos teores de argila, matéria orgânica e nutrientes e são muito erosivos. Os Vertissolos possuem reduzida condutividade hidráulica, o que provoca acúmulo prolongado de água nas camadas mais superficiais.

Os Planossolos solódicos são moderadamente a fortemente ácidos, com alta saturação de bases ( $V > 50\%$ ), possuem capacidade de troca de cátions (T) e soma de bases (S) variando de média a alta. Possuem estruturas primárias ou colunares, com cores que variam de bruno claro acinzentado a bruno escuro, podem também mostrar cores de redução em consequência da drenagem imperfeita.

Os solos Podzólicos Vermelho-Amarelos são representados por solos distróficos ou epieutróficos, que apresentam perfis do tipo A, Bt e C, com distinta individualização de horizontes. As transições são claras e planas de A para o Bt, e gradual e plana do Bt para o C. O horizonte Bt é caracterizado por apresentar um gradiente textural mais argiloso, em relação ao horizonte A. A espessura dos horizontes varia conforme o contexto do relevo.

Solos bem comuns na região são os associados a ambientes de mangue, constituídos por solos arenosos (Foto 07 A e B) por vezes cobertos por sais minerais depositados sobre estes devido a evaporação da água em áreas que sofrem influencia da subida e descida do nível do mar em regiões de manguezais (Foto 08 A e B).

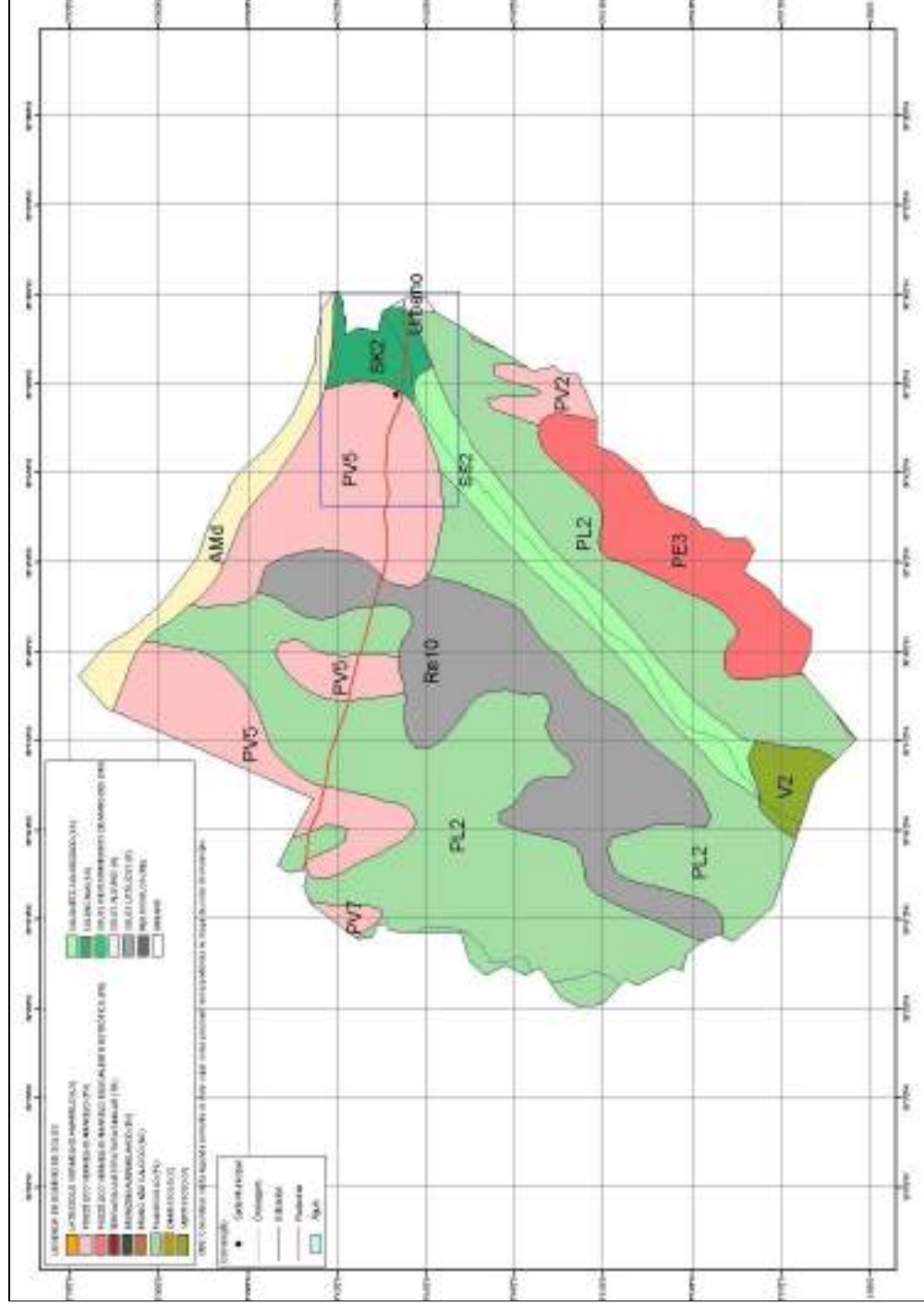


Foto 07A e B – Solo arenoso com manguezal ao fundo (A) ( $3^{\circ}42'04.90''S/38^{\circ}37'58.92''O$ ), CE-90 (Próximo ao Parque Botânico) (B) Detalhe do Solo Arenoso.



Foto 08 A e B – (A) Planície de inundação de mangue as margens da BR – 222 (próximo ao Rio Ceará, 3°44'22.91”S / 38°38'02.77”O). (B) Detalhe de solo coberto por sal, resultante da evaporação da água salgada. As águas subterrâneas nestas áreas podem estar salinizadas.

Freitas, L.C.B – Qualidade das Águas Subterrâneas - Área no Município de Caucaia, Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará.



Fonte: Embrapa 2007  
Figura 06 - Distribuição de solos do município de Caucaia, Ceará

#### 4.4. Vegetação

A região é recoberta por uma vegetação gramíneo-herbácea, principalmente sobre os tabuleiros pré-litorâneos e no litoral, e à medida que se distancia do litoral ocorre a típica caatinga arbustiva densa.

No estuário do rio Ceará e seus afluentes, a flora característica é representada pela vegetação de mangue (Fotos 09 a e b), entre eles o mangue vermelho (*Rizophora mangue*), mangue preto (*Avicennia germinans*), mangue branco (*Laguncularia racemosa*) e mangue botão (*Conocarpus erectus*).



Foto 09 A e B – Vegetação de mangue nas proximidades do Rio Ceará, (3°44'26.00"S/38°37'57.44"O – Julho de 2007). (a) detalhe de *Rizophora mangue* (b) área alagável em período de maré alta.

#### 4.5. Geomorfologia Regional

Várias formas de relevo são observadas, desde a superfície suave, aplainada, da depressão sertaneja, até as dunas fixas e móveis da zona costeira.

##### 4.5.1. Superfície Sertaneja

Segundo AB'Saber (1969), o território do município de Caucaia está inserido na faixa sublitorânea das áreas dissecadas pertencente a unidade geomorfológica Depressão Sertaneja. Esta unidade caracteriza-se por apresentar altimetrias de 80 a 400 metros, embutidas entre maciços residuais cristalinos. Evidencia-se, ainda, pelas vastas rampas pedimentadas que partem da base dos maciços residuais com caimento para o litoral com superfícies erosivas planas e ou ligeiramente dissecadas.

##### 4.5.2. Tabuleiro Pré-Litorâneo

Os tabuleiros (Foto 10) dispõem-se entre o relevo litorâneo e as serras altas do interior. Ocupam uma faixa de largura variável (entre 5 e 50 km) ao longo da costa,

Freitas, L.C.B – Qualidade das Águas Subterrâneas - Área no Município de Caucaia, Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará.

formando uma ampla superfície aplainada, suavemente inclinada para o mar. Começam com cotas de 10 a 20 m no litoral até 150 m nos locais onde penetram muito no interior. Na costa encontram-se cobertos pelos cordões de areia. Constituem os depósitos correlativos resultantes da degradação quase ao mesmo plano das areias pré-cambrianas do interior, exumando o vestígio de antigas superfícies.



Foto 10 – Tabuleiros pré-litorâneos e maciços residuais em segundo plano (CE-090) km 5 (3°42'34.08"S / 38°38'22.24"O - Setembro de 2007).

#### 4.5.3. PLANÍCIE LITORÂNEA

##### 4.5.2.1. Planície Praial

A planície praial é definida como a região emersa durante as marés de quadratura e submersa durante as marés de sizígias. As características fisiográficas desta unidade resultam da relação dinâmica entre as terras emersas e o oceano, relação esta que define a largura da planície, a inclinação e a configuração da mesma.

Em direção oeste a partir do rio Ceará, a planície praial se apresenta irregular em decorrência da exposição de sedimentos consolidados como *beach rocks*. Esta configuração é vista na praia da Barra do Ceará (Fortaleza) até a praia de Dois Coqueiros (Caucaia). A outra conformação, mais típica, é descrita como uma planície inicialmente estreita e que posteriormente se alarga tendo a sua maior largura na praia do Cumbuco, levemente inclinada e sem interferências rochosas. Esta morfologia prossegue em direção a oeste sendo pontualmente alterada por novos surgimentos de rochas de praia ou pela maior proximidade da Formação Barreiras em relação à linha de



costa, como é visto nas proximidades da Colônia de Férias do SESC, na praia de Iparana.

As rochas de praia que aparecem intermitentemente ao longo da costa apresentam uma forma alongada, paralela e contínua à linha de costa. A superfície desses arenitos é quase horizontal.

#### Depósitos eólicos

A Planície de deflação corresponde às superfícies planas ou ligeiramente inclinadas, onde os processos eólicos removem as partículas de areias mais finas. Configuram uma superfície planificada e disposta paralelamente à costa e imediatamente após a zona de estirâncio.

As Dunas Móveis ocupam uma área, dentro do campo de dunas, onde morfologicamente são encontradas em cadeias barcanóides que são formadas pela justaposição lateral de várias dunas barcanas. Caracterizadas por cristas onduladas e paralelas a si, sendo as mesmas perpendiculares à direção do vento. Apresentam alturas médias próximas de 15 m e com um caminhamento intenso de NE para SW.

As Dunas Semifixas normalmente não apresentam uma morfologia definida, caracterizando-se na maioria das vezes por uma pequena cobertura vegetal. Normalmente ocorrem na zona de pós-praia, onde são denominadas de dunas frontais, formando um pequeno cordão arenoso que se desenvolve paralelo a praia, onde são desenvolvidas em virtude da presença de pequenos tufo de vegetação sobre a superfície arenosa praial sobre a qual o vento sopra (Fotos 11 A e B). Posteriormente, ainda ocorrem em meio às dunas móveis, ou ainda em áreas de domínio de vegetação de pequeno a médio porte, sendo desta forma, parcialmente e temporariamente vegetadas (RODRIGUES, 1999).

As Dunas fixas são consideradas os depósitos eólicos que ocorrem normalmente na retaguarda das dunas móveis e que se encontram fixados por uma densa vegetação que impede a remobilização da areia pela atividade eólica. Segundo Rodrigues (*op.cit*), as dunas fixas da região ocorrem principalmente sob a forma de dunas parabólicas fixadas por uma vegetação do tipo arbórea bastante intensa. Estas se apresentam de forma isolada e composta e, neste caso, o termo composta refere-se a junção lateral das parabólicas, ocorrendo bordejando o limite da dunas móveis, apresentando dimensões bastante variáveis, com comprimento entre 425 a 1750 metros e largura normalmente em torno de 125 a 250 metros.



Foto 11 A e B – (A) Processo de fixação de dunas por vegetação na praia de Iparana. (B) Avanço de dunas móveis em direção a residências mostrando a ocupação desordenada - Caucaia – CE ( $3^{\circ}41'27.45''S$  /  $38^{\circ}36'34.09''O$ ).

### Planície Flúvio Marinha

A planície flúvio-marinha ocorre na foz dos rios onde interagem as oscilações das marés e os processos hidrológicos continentais. É formada a partir da deposição de sedimentos argilosos, ricos em matéria orgânica em áreas de inundação. Apresenta um relevo planificado em decorrência da vegetação que se instala neste ambiente a qual é responsável pela fixação do material sedimentar ali encontrado. Na região destaca-se a planície flúvio-marinha do rio Ceará (Foto 12).



Fonte: google earth, 2009

Foto 12 – Planície flúvio-marinha do Rio Ceará mostrando a interação entre a água do mar e a fluvial ( $3^{\circ}41'49''63''S$  /  $38^{\circ}35'22.33''O$ ).

#### 4.6. Recursos Hídricos

A água é um elemento limitado, e renovável através do ciclo hidrológico sendo fundamental para a vida, sendo insubstituível em várias atividades humanas, além de manter o equilíbrio do meio ambiente.

##### 4.6.1. Águas Superficiais

A área em estudo está inserida na Bacia Hidrográfica Metropolitana e apresenta como principais drenagens os riachos do Juá e Tapeba. Os principais espelhos d'água presentes são as lagoas da Capuã (Foto 14), Tabapuá (Foto 16), Jeneguaba (Foto 15) e do Poço e o açude Camarupim (Foto 13).

Segundo a CAGECE (2003), 31% (28.436 habitantes) da população urbana do município é atendida com água oriunda dos açudes Pacajus, Pacoti, Riachão, Gavião e Acarape do Meio, possuindo um total de 17.083 ligações ativas.

Segundo a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH, 1999), os açudes Cauhipe e Sítios Novos possuíam um volume de 11.860.000 e 126.000.000 respectivamente, representando apenas 98.8 e 100% dos seus respectivos volumes totais.



Foto 13 – Vista do açude Camarupim mostrando a utilização de suas águas pela população para banho e dessedentação animal (3°41'58.58"S/38°39'27.61"O - Março de 2008).



Foto 14 - Vista da lagoa Capuam mostrando mata ciliar ao fundo e área aberta às margens utilizada pela população para recreação (3°44'03.78"S/38°41'27.62"O - Março de 2008).



Foto 15 - Vista da lagoa Jeneguaba mostrando intensa ocupação em seu entorno e margens poluídas por resíduos sólidos (3°43'34.99"S / 38°41'40.73"O - Março de 2008).



Foto 16 - Vista da lagoa Tabapuá às margens da BR-222 mostrando intensa ocupação em suas margens (3°44'41''03,82''S / 38°36'59''O - Março de 2008).

#### 4.6.2. Águas subterrâneas

Água subterrânea é toda a água que ocorre abaixo da superfície da Terra, preenchendo os poros das rochas sedimentares, ou as fraturas das rochas cristalinas, e que sendo submetida às forças de adesão e de gravidade desempenham um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos.

Segundo Aguiar & Cordeiro (2002), na Região Metropolitana de Fortaleza as águas subterrâneas ocorrem em duas províncias hidrogeológicas: nos terrenos cristalinos, associada aos fendilhamentos das rochas, e nos terrenos sedimentares representados pelos Sistemas Aquíferos Dunas/Paleodunas, Aluviões e Barreiras. No domínio das rochas cristalinas, o contexto hidrogeológico está intimamente associado às zonas fraturadas, com circulação restrita às fraturas abertas, o que confere às rochas do embasamento cristalino, segundo os autores, uma fraca vocação aquífera.

O cadastro de poços elaborado a partir das fichas adquiridas em órgãos públicos, firmas privadas e em cadastro de campo, mostram que os poços da área foram construídos entre o período de 1930 a 2006. A partir deste cadastro e da correlação com os perfis existentes, foi possível a identificação e individualização de 04 (quatro) Sistemas Hidrogeológicos: Cristalino, Barreiras, Dunas/Paleodunas e Aluvionar. Segundo os dados de vazão dos poços cadastrados na área, o Sistema Hidrogeológico Cristalino apresenta a melhor vocação hidrogeológica, com vazão média de 5,1 m<sup>3</sup>/h. O

Sistema Hidrogeológico Barreiras apresenta pequena produtividade por ser composto predominantemente por sedimentos argilosos e areno-argilosos, sua espessura não ultrapassa os 28 m. As perfis de poços mostram que a maioria destes captam ao mesmo tempo águas dos Sistemas Hidrogeológicos Barreiras e Cristalino, com profundidades chegando até 80 m e média de 43 m. O Sistema Dunas/Paleodunas localiza-se na porção nordeste da área. Existem, segundo as fichas técnico-construtivas, 10 poços captando exclusivamente este sistema, que possui vazão média de 2,0 m<sup>3</sup>/h e profundidades de até 25 m. Os poços que captam, ao mesmo tempo, águas dos Sistemas Aluvionar e Cristalino localizam-se principalmente na porção sudeste, e ocorrem margeando os principais sistemas de drenagem locais.

#### 4.6.2.1. Sistemas Hidrogeológicos

A individualização e identificação dos sistemas hidrogeológicos teve como base os critérios hidrogeológicos obtidos a partir do cadastro geral de poços tubulares, pesquisa bibliográfica e correlação entre perfis existentes.

Foi realizada a individualização de 04 (quatro) sistemas hidrogeológicos: Cristalino, Barreiras, Dunas/Paleodunas e Aluvionar.

#### **4.6.2.1.1. Sistema Hidrogeológico Cristalino**

São considerados poços captando este sistema os que estão localizados sobre as rochas cristalinas aflorantes, ou interceptarem outros litotipos nos primeiros metros, mas não possuem filtros localizados nestes.

A capacidade das rochas cristalinas de armazenarem e cederem água está intimamente ligada à intensidade, abertura e interconexão da rede de fraturas, possuindo valores muito pequenos quando comparadas às rochas sedimentares. Assim, este meio é considerado um domínio hidrogeológico heterogêneo e anisotrópico, onde o armazenamento e o fluxo de água dependem de porosidade e permeabilidade secundárias.

Geralmente os poços construídos nesse sistema tendem a fornecer pequenas vazões. A boa produtividade das obras neste sistema está ligada a condicionantes de recarga, a exemplo de um espesso manto de intemperismo e interceptação de cursos d'água por fraturas.

Como exemplo temos o poço nº 637 (Figura 07) localizado na sede municipal de Caucaia, que intercepta 15 metros de siltito, mas não apresenta nenhum filtro localizado neste litotipo, até mesmo pela péssima vocação hidrogeológica do mesmo. Os filtros localizados na rocha cristalina foram necessários possivelmente pelo grau de alteração da mesma.

Apesar de, no geral, as rochas cristalinas apresentarem pequena vocação hidrogeológica, na área pesquisada, esse sistema apresenta uma melhor produtividade em relação aos demais, possuindo vazão média de 5,1 m<sup>3</sup>/h possivelmente devido aos fatores mencionados anteriormente.

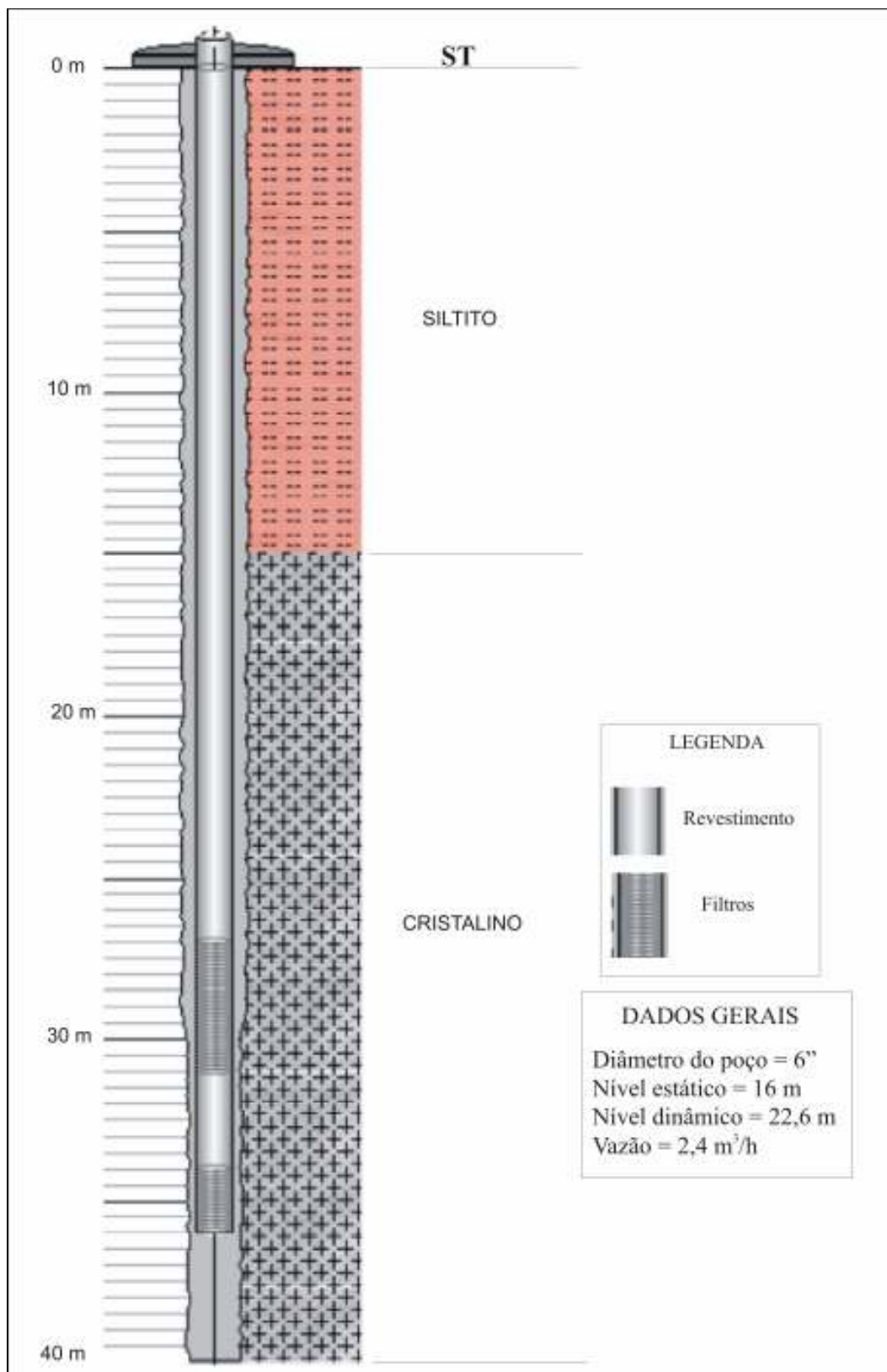


Figura 07 - Perfil litológico do poço n° 637 captando o Sistema Hidrogeológico Cristalino – Caucaia, Ceará



#### **4.6.2.1.2. Sistema Hidrogeológico Barreiras**

Os sedimentos da Formação Barreiras correspondem à unidade de maior exposição na área pesquisada.

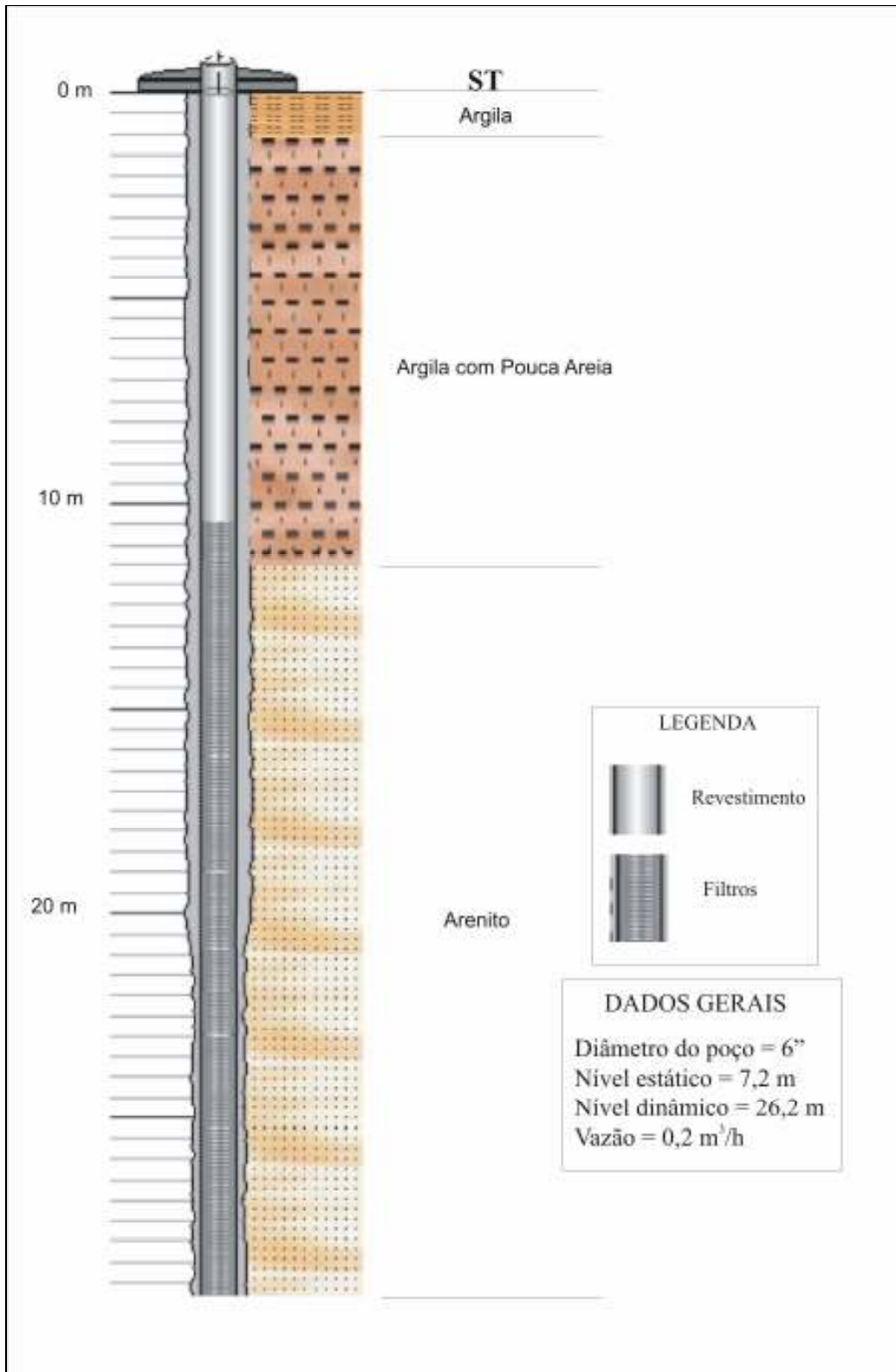
Na área, o Sistema Hidrogeológico Barreiras apresenta pouca produtividade por ser composto principalmente por sedimentos argilosos e areno-argilosos. Segundo a correlação de perfis de poços localizados nas porções SW, SE, Leste, Norte e Central da área, ele não ultrapassa os 28 m de espessura e tende a aumentar gradativamente das extremidades Sul, Leste e Oeste para o centro da área. A menor espessura na área encontra-se na porção SW.

Com isto, podem ser considerados poços captando exclusivamente o Sistema Hidrogeológico Barreiras aqueles que se encontram na parte central da área sobre a Formação Barreiras aflorante e não superam os 28 m de profundidade.

Existe um único poço tubular cadastrado (poço nº 497), que possui perfil litológico, captando unicamente este sistema. A partir deste, e com a correlação entre outros perfis existentes, estima-se que 34 poços captem água exclusivamente deste sistema.

O poço nº 497 (Figura 08), que fica na localidade Mestre Antônio (parte central da área, Apêndice II), possui dois piezômetros instalados e intercepta uma variação de sedimentos arenosos e areno-argilosos do Barreiras. Possui um diâmetro de 6” e uma profundidade de 28 m, vazão de 0,2 m<sup>3</sup>/h e uma capacidade específica de 0,01 [(m<sup>3</sup>/h/m)].

Os baixos valores de condutividade hidráulica do Sistema Barreiras já haviam sido apresentados por Bianchi *et al.* (1984) que estimaram um valor de  $1,8 \times 10^{-6}$  m/s, refletindo uma limitação na sua capacidade de armazenamento, refletindo mais as características de um aquífero, ou seja, uma formação geológica que possui porosidade e permeabilidade baixas, transmitindo água lentamente, ficando a armazenagem de água restringida a seus níveis mais arenosos.



Fonte: CPRM (modificado)

Figura 08 - Perfil litológico do poço n° 497 captando o Sistema Hidrogeológico Barreiras

Há também poços que captam águas dos sistemas Barreiras e Cristalino ao mesmo tempo, estes são representados pelos poços que foram construídos sobre o Barreiras, porém penetram também o Cristalino. Estimando que a espessura média do Barreiras na área não ultrapassa os 28 m, considera-se que os poços com profundidade superiores a essa se enquadram nessa classificação.

Dos 815 poços cadastrados 513 estão sobre o Barreiras aflorante. Deste total de poços, 376 possuem profundidades superiores a 28 metros, podendo ser considerados como poços captando o Sistema Hidrogeológico Misto Barreiras/Cristalino. Estes poços possuem profundidades chegando até 76 m e médias de profundidade e vazão de 43 m e 4,4 m<sup>3</sup>/h, respectivamente.

O poço nº 243 (Figura 09), localizado no setor norte da área, foi construído pela SOEC e possui profundidade de 56 m, nível estático de 2m, nível dinâmico de 33 m, e vazão de 4,80 m<sup>3</sup>/h. Possui diâmetro de 6” e é revestido até os 26 metros, possuindo filtros localizados nos intervalos de 6 a 8 m, interceptando sedimentos arenosos e areno-argilosos da Formação Barreiras e entre 23 – 26 m e, após 26m, penetrando na rocha cristalina.

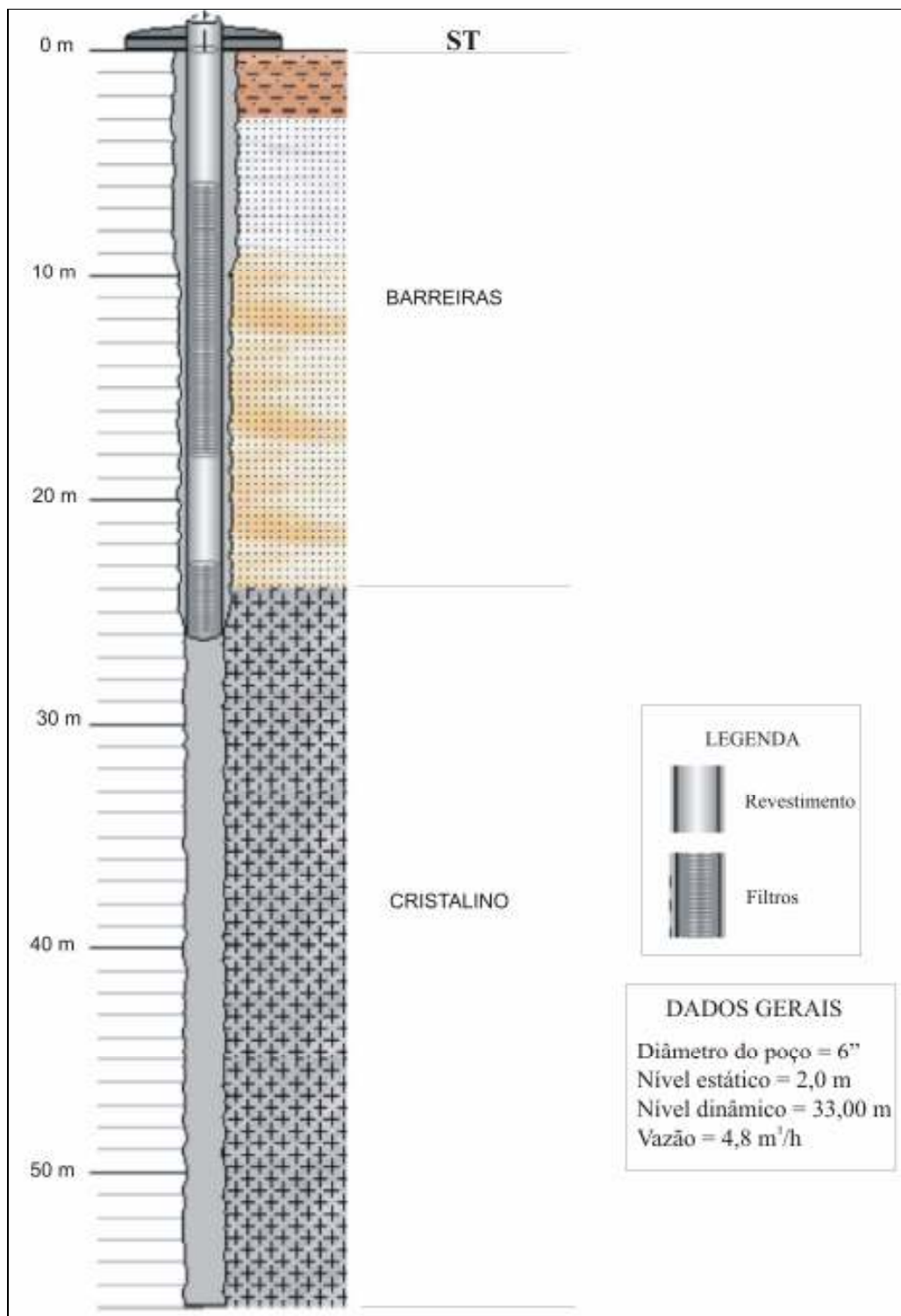
#### **4.6.2.1.3. Sistema Hidrogeológico Dunas/Paleodunas**

Na porção litorânea, os campos de dunas e paleodunas dispõem-se segundo a direção SE –NW sobrepostos aos clásticos da Formação Barreiras.

De acordo com Bianchi *et al.* (1984), as dunas e paleodunas constituem um único sistema aquífero, já que não há diferenças litológicas significantes entre esses depósitos arenosos, evitando, portanto, uma separação hidráulica.

Em face da inexistência de perfis de poços na porção nordeste da área, torna-se difícil afirmar quais os poços que captam exclusivamente este sistema e, conseqüentemente, qual a sua espessura média.

Segundo Cavalcante (1998), na RMF, as Dunas/Paleodunas possuem espessuras variando entre 10 - 25 m. Neste contexto serão considerados poços captando o Sistema Hidrogeológico Dunas/Paleodunas, exclusivamente, os que estão sobre as Dunas e Paleodunas aflorantes e que não ultrapassam os 25m de profundidade.



Fonte: CPRM (modificado)

Figura 09 - Perfil litológico do poço nº 243 captando o Sistema Hidrogeológico Barreiras e Cristalino – Caucaia, Ceará

O posicionamento do nível estático deste sistema é função da sazonalidade climática, isto quer dizer que a espessura saturada mínima pode, posteriormente, atingir o máximo, ou vice-versa (Cavalcante, 1998).

A recarga desse sistema ocorre, através da precipitação pluviométrica, enquanto que a descarga ocorre em função de fluxos para o mar e drenagens efluentes e, principalmente, captação por poços diversos.

Segundo Cavalcante (op. cit), em função dos elevados coeficientes de condutividade hidráulica, transmissividade e porosidade efetiva associados, ainda, a um nível estático extremamente raso, o Sistema Dunas/Paleodunas é altamente susceptível a poluição, representando uma unidade extremamente vulnerável aos impactos antrópicos negativos resultantes do uso e ocupação do meio físico, com um fator efetivo de risco.

#### **4.6.2.1.4. Sistema Hidrogeológico Aluvionar**

Este sistema encontra-se em cerca de 1% da área, localizando-se principalmente na porção sudeste, e também margeando os principais sistemas de drenagem locais.

As aluviões caracterizam-se pela heterogeneidade litológica resultante de um processo de sedimentação fluvial com irregular energia de transporte, gerando litótipos clásticos com granulometria variada e composição oscilando de silto-argilosas a areias grosseiras. Representam um aquífero livre, freático, de permeabilidade geralmente elevada e com espessuras variáveis, desde poucos metros até aproximadamente 10 m.

Como a pesquisa concentrou-se exclusivamente em poços tubulares, não há no cadastro nenhum poço captando exclusivamente o sistema hidrogeológico aluvionar. Trata-se de um sistema hidrogeológico livre e restringe-se as pequenas profundidades, sendo captado totalmente apenas por cacimbas e poços amazonas. Porém as aluviões são importantes como fonte de recarga para o Sistema Cristalino.

## 5.0 - QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As características químicas das águas subterrâneas refletem os meios por onde percolam, guardando uma estreita relação com os tipos de rochas drenadas e com os produtos das atividades humanas adquiridos ao longo de seu trajeto, sendo submetida a um processo contínuo de transformações geoquímicas que dependem de fatores físico – químicos, tais como a porosidade da rocha em contato com as águas, temperatura, pH, condutividade elétrica, volume de água em contato com o subsolo e velocidade do fluxo hídrico.

Em áreas densamente povoadas e industrializadas há uma forte influência das atividades humanas sobre a qualidade química natural das águas, principalmente onde predominam aquíferos livres, que são mais passíveis de serem influenciados por tais atividades.

### 5.1. Parâmetros Analisados

A fim de caracterizar qualitativamente as águas subterrâneas da área, foram utilizadas 68 amostras de águas captadas de poços tubulares localizados na área em estudo, referentes a 4 Etapas distintas, contendo os seguintes íons e parâmetros: bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), cloretos ( $\text{Cl}^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{++}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{++}$ ), ferro, dureza total, nitrogênio amoniacal, pH, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos (STD), e para se avaliar a qualidade das águas subterrâneas para o consumo humano foi utilizada a Portaria nº 518 de março de 2004 do Ministério da Saúde.

A primeira etapa representa as análises adquiridas na fase de coleta de dados históricos, constando aquelas realizadas no ano de 1998 e, as três outras, foram realizadas durante a execução da dissertação e apresentadas nas tabela 06:

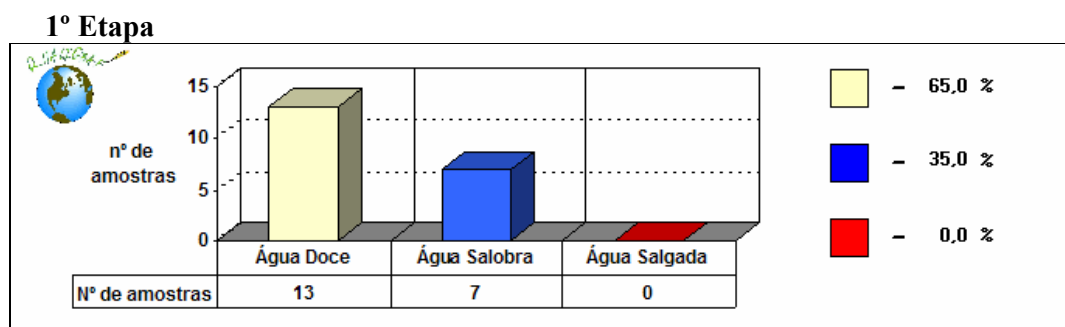
Tabela 06 – Etapas de coletas das águas subterrâneas

1º ETAPA	2º ETAPA	3º ETAPA	4º ETAPA
1998	2006	2007	2008
-	Novembro	Setembro	Março

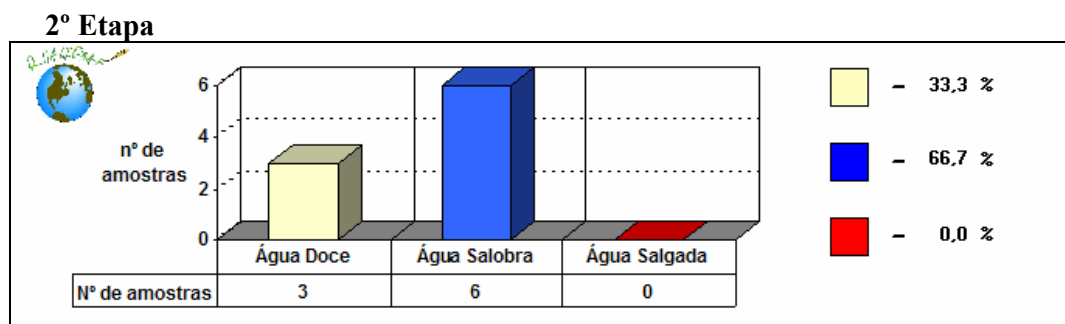
### 5.1.1 - Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

A concentração média de STD das águas do Sistema Hidrogeológico Cristalino é a maior (840 mg/L), seguida das águas dos poços que captam juntos os Sistemas Barreiras e Cristalino (754mg/L), Sistema Hidrogeológico Barreiras (649, 4 mg/L) e do Sistema Dunas/Paleodunas (290 mg/L).

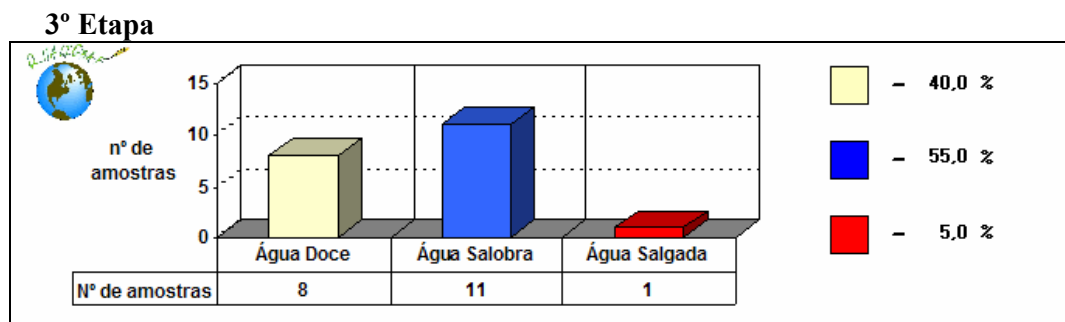
Com exceção das amostras da primeira etapa, todas as outras apresentam uma dominância de águas do tipo salobra (500 a 1500 mg/L de STD) e representada nos gráficos abaixo, confeccionados pelo programa Qualigraf (Möbus, 2009) (Figuras 10 a 13).



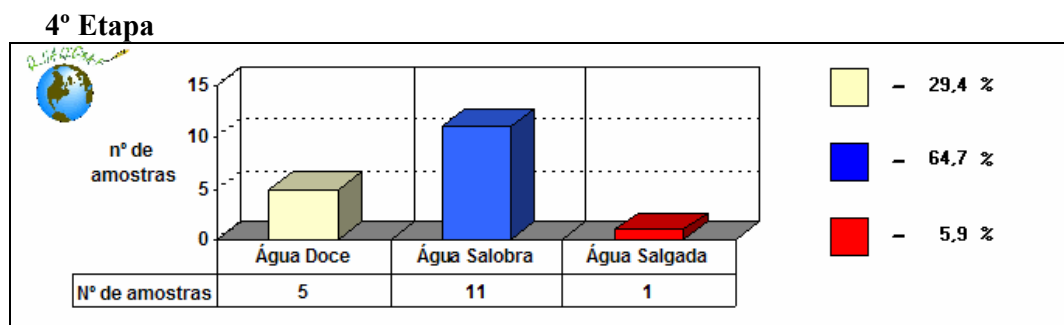
**Figura 10 – Sólidos Totais Dissolvidos, Município de Caucaia - CE (1º Etapa da Pesquisa)**



**Figura 11 – Sólidos Totais Dissolvidos, Município de Caucaia - CE (2º Etapa da Pesquisa)**



**Figura 12 – Sólidos Totais Dissolvidos, Município de Caucaia - CE (3º Etapa da Pesquisa)**



**Figura 13 – Sólidos Totais Dissolvidos, Município de Caucaia - CE (4º Etapa da Pesquisa)**

De acordo com o resultado das análises realizadas nas águas dos poços que captam os Sistemas Barreiras/Cristalino e Barreiras, elas apresentam teores de STD bem próximos, sendo as do Sistema de captação Misto Barreiras/Cristalino um pouco melhor do que as do Barreiras, provavelmente ocasionado pela maior quantidade de sais no sistema Barreiras, devido principalmente a presença de cloretos na superfície após a evaporação.

A distribuição dos STD nas águas subterrâneas da área pode ser vista na figura 14, onde percebe-se a concentração de poços que captam águas com variadas concentrações de STD, representados pelas cores verde e vermelha nos Sistemas Dunas/Paleodunas e Cristalino, respectivamente.

#### 5.1.2 – Dureza Total

A dureza na água é uma propriedade iônica que revela a capacidade que a água tem de consumir e/ou neutralizar o sabão em função da presença dos íons de cálcio e magnésio. Normalmente ela é representada em função das concentrações de carbonato de cálcio e magnésio definindo, portanto, a dureza de carbonatos (dureza temporária). Já na dureza permanente, os carbonatos constituem a dureza resultante dos íons cloretos e sulfatos, a qual é produzida pelos íons de cálcio e magnésio que se combinam com os íons de sulfatos, cloretos e outros.

Segundo Custódio & Llamas (1983), a somatória das durezas temporárias e permanentes representam a dureza total. O grau de dureza da água é definido em função da sua concentração em mg/L de CaCO<sub>3</sub> (Tabela 07).



Freitas, L.C.B – Qualidade das Águas Subterrâneas - Área no Município de Caucaia, Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará.

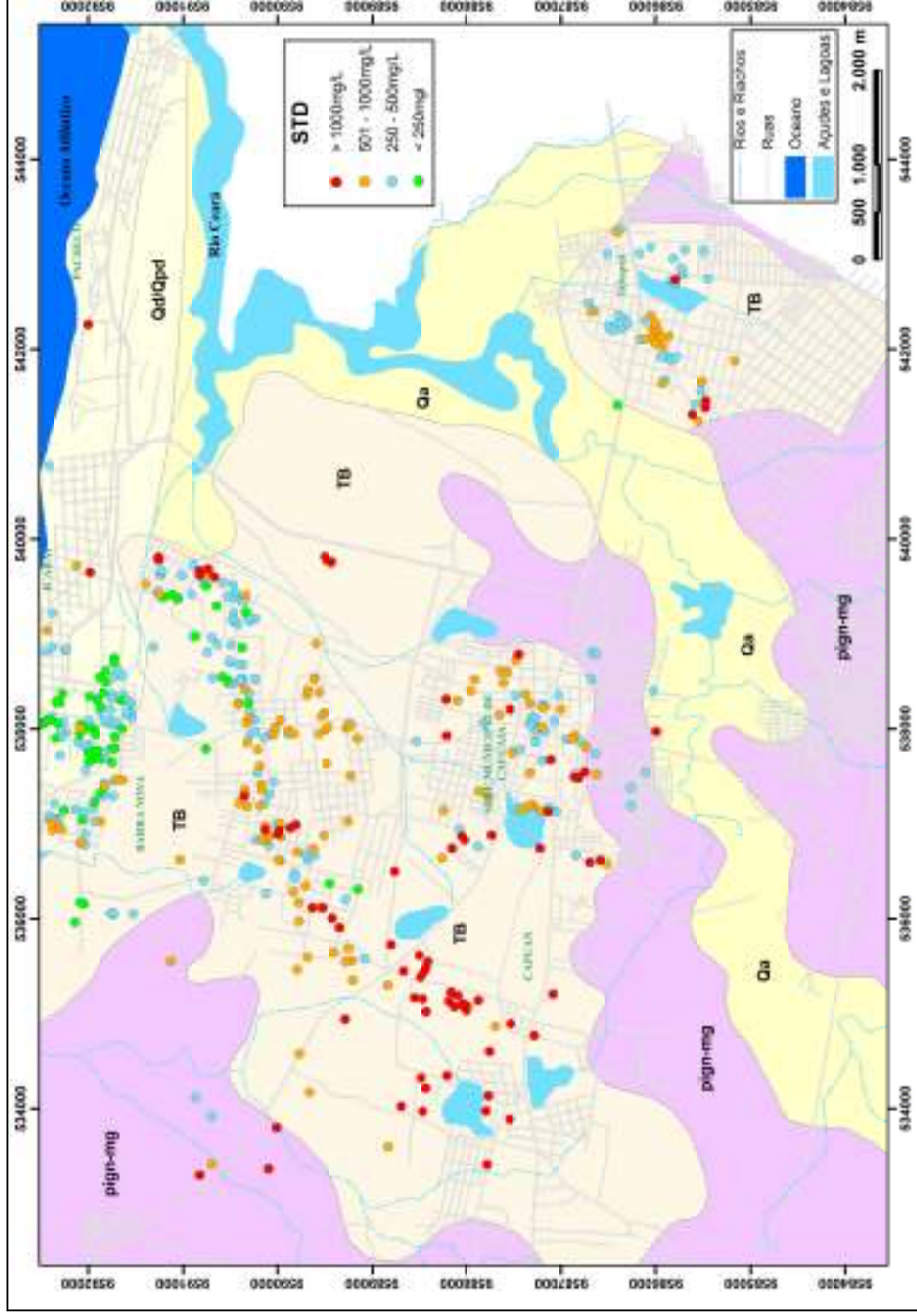


Figura 14 – Distribuição de poços e intervalos de concentração de STD (Valores adquiridos no cadastro de poços)

Tabela 07 – Classificação das águas segundo a dureza (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983).

Tipo	Teor de CaCO <sub>3</sub> (mg/L)
Branda	< 50
Pouco Dura	50 - 100
Dura	100 - 200
Muito Dura	> 200

Os maiores valores de dureza das águas amostradas dos poços foram as do poço nº 745 localizado na sede municipal de Caucaia (Tabela 08).

Na primeira campanha o maior valor de dureza apresentado foi de 378,4 mg/L(poço 83) e o menor é do poço 703 (25,5 mg/L).

Tabela 08 - Valores de dureza (CaCO<sub>3</sub> mg/L) das águas amostradas

Amostra	2°	3°	4°	Tipo	Amostra	2°	3°	4°	Tipo
1	36	40	36	Branda	11	—	520	320	Muito Dura
2	72	68	76	Pouco Dura	12	—	56	160	*2
3	224	260	260	Muito Dura	13	—	108	112	Dura
4	68	72	72	Pouco Dura	14	—	152	152	Dura
5	308	116	32	*1	15	—	176	NC	Dura
6	168	168	148	Dura	16	—	164	NC	Dura
7	200	192	194	Dura	17	—	180	52	Dura
8	488	600	550	Muito Dura	18	—	160	172	Dura
9	132	208	124	Dura	19	—	88	NC	Pouco Dura
10	—	372	408	Muito Dura	20	—	40	48	Branda

\*1 – Variou de Muito Dura a Branda Azul – menor valor de cada Etapa

\*2 – Variou de Pouco Dura a Dura Vermelho – maior valor de cada Etapa

### 5.1.3 – pH

As amostras, com exceção da amostra 17, tiveram uma diminuição dos valores de pH com o decorrer do tempo (Tabela 09).

Os amostras 6, 9 e 4 apresentaram, no decorrer da pesquisa, pH abaixo do recomendável para consumo humano, segundo a Portaria nº 518 de março de 2004 do Ministério da Saúde.

A amostra do poço 09 (que está localizado próximo a uma fossa séptica) apresentou um dos menores pH e o maior erro percentual. Este desequilíbrio pode estar ligado a presença de compostos nitrogenados que deixam o sistema ácido (ácido nítrico) baixando o seu pH e podendo precipitar alguns elementos causando um desequilíbrio no sistema, e já que as análises são feitas para se determinar a quantidade dos elementos que estão dissolvidos na água, isto pode ter causado uma impressão de falso erro.

Tabela 09 – Valores de pH nas amostras de águas dos poços na área de pesquisa

Amostra	2°	3°	4°	Amostra	2°	3°	4°
1	8,28	7,88	7,43	12	—	8,26	7,02
2	8,15	7,87	7,46	13	—	7,5	7,2
3	8,24	7,6	7,26	14	—	6,93	6,46
4	8,05	7,23	7,17	15	—	6,23	—
5	7,67	6,58	6,34	16	—	7,53	—
6	7,54	5,65	<b>5,95</b>	17	—	7,03	8,00
7	6,99	6,18	6,2	18	—	6,82	<b>4,68</b>
8	8,00	6,9	6,76	19	—	7,6	—
9	6,54	5,12	<b>4,9</b>	20	—	—	7,9
10	—	6,4	6,54	Lagoa	—	7,47	—
11	—	7	7,1				

A maioria das amostras apresentam valores dentro dos padrões aceitáveis para o consumo humano que é de 6,0 a 9,0 , com exceção das águas dos poços 523 (6) , 790 (9) e 813 (18).

#### 5.1.4 – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>3,4</sub>

O íon nitrato, muito comum em águas subterrâneas no meio urbano, representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica proveniente de resíduos da atividade humana, sendo que o valor máximo permissível pela Portaria nº 518/2004 é de 10 mg/L – N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, estando presente na maioria das amostras analisadas (Tabela 10, destaque em negrito).

Valores elevados desse íon estão geralmente associados a fontes pontuais de poluição, de pequena escala, como esgotos e fossas.

As águas do poço nº 523 que está localizado na Sede Municipal, a menos de 30 m do cemitério, e as do poço 790, localizado no 6º Batalhão da Polícia Militar, próximo de fossas sépticas, apresentaram elevados teores de nitrato nas três campanhas (Tabela 10), além do Nitrogênio Amoniacal, indicativo de contaminação recente (Tabela 11), mostrando que essas águas recebem frequentemente contaminação da fonte (indicado pelo nitrogênio amoniacal) e isto ocorre há algum tempo segundo os elevados teores de nitratos.

Tabela 10 – Valores, por etapa, de Nitrato (mg/L – N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) nas amostras de águas dos poços na área de pesquisa.

Amostra	2°	3°	4°	Amostra	2°	3°	4°
1	1	3	ND	12	—	2	42
2	2	2	2	13	—	16	36
3	2,0	1,5	1,5	14	—	22	51
4	ND	3	ND	15	—	15	—
5	3	19	9	16	—	1	—
6	24	25	61	17	—	22	2
7	16	15	41	18	—	21	55
8	19	12	48	19	—	4	—
9	18	23	48	20	—	—	ND
10	—	ND	ND	Lagoa	—	0,51	—
11	—	3	5				

ND – Não detectado

As águas do poço 9 apresentam elevado teor de nitrogênio amoniacal (21,1 mg/L de N-NH<sub>3,4</sub>), um valor muito acima do máximo permissível para consumo humano (1,5 mg/L de N-NH<sub>3,4</sub>) estabelecido pela portaria nº 518 de março de 2004 do Ministério da Saúde.

Tabela 11 – Valores, por etapa, de Nitrogênio Amoniacal (mg/L de N-NH<sub>3,4</sub>) nas amostras de águas dos poços na área de pesquisa.

Amostra	2°	3°	4°	Amostra	2°	3°	4°
1	ND	0,03	0,01	12	—	ND	0,02
2	ND	0,02	0,01	13	—	0,02	0,01
3	ND	0,03	0,01	14	—	0,03	0,02
4	ND	0,02	0,01	15	—	0,02	—
5	0,02	0,02	0,02	16	—	ND	—
6	ND	0,02	0,02	17	—	0,02	0,01
7	ND	0,03	0,05	18	—	0,02	0,02
8	ND	0,02	0,02	19	—	0,03	—
9	0,36	0,60	21,15	20	—	—	0,02
10	—	0,02	0,03	Lagoa	—	0,03	—
11	—	0,02	0,02				

ND – Não detectado

Freitas, L.C.B – Qualidade das Águas Subterrâneas - Área no Município de Caucaia, Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará.

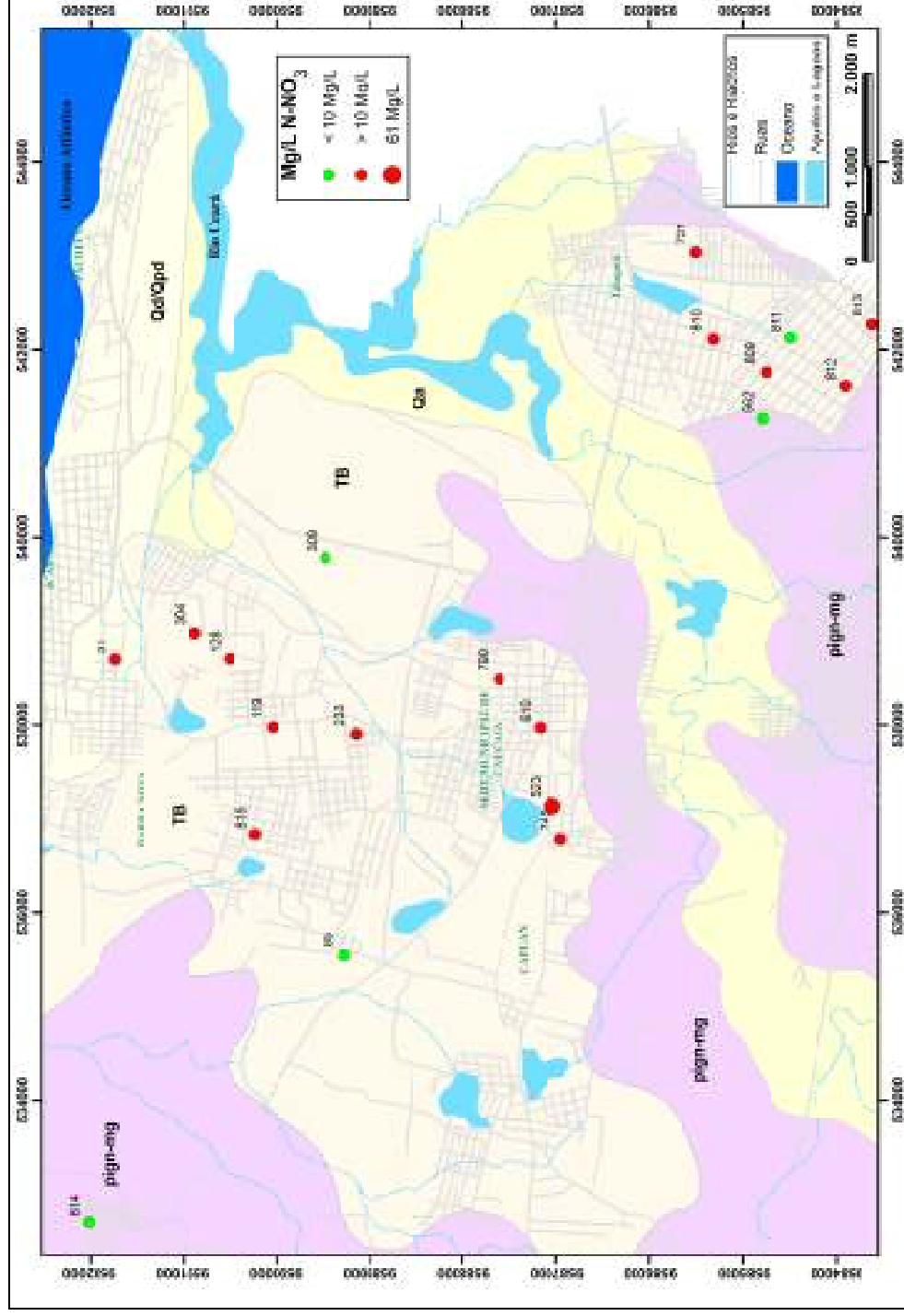


Figura 15 – Distribuição de poços e intervalos de concentração de nitratos nos poços amostrados

#### 5.1.5 – Cloretos

A concentração de cloretos é advinda da dissolução de sais, podendo, em altas concentrações, imprimir um sabor salgado à água, podendo também indicar a presença de águas residuárias.

Todas as águas naturais possuem, em graus distintos, um conjunto de sais em solução, sendo que as águas subterrâneas possuem, em geral, teores mais elevados dos que as águas superficiais, por estarem intimamente expostas aos materiais solúveis presentes no solo e nas rochas. A quantidade e tipo de sais presentes na água subterrânea dependerá de fatores como: meio percolado, tipo e velocidade do fluxo subterrâneo, fonte de recarga do aquífero e do clima da região.

Em áreas com alto índice pluviométrico a recarga constante dos aquíferos permite uma maior renovação das águas subterrâneas, com a conseqüente diluição dos sais em solução. Diferentemente, a pequena precipitação em climas áridos leva a uma salinização na superfície do solo através da evaporação da água que sobe por capilaridade. Por ocasião das chuvas mais intensas, os sais mais solúveis são carreados para as partes mais profundas do aquífero aumentando sua salinidade. Isto é o que acontece na maior parte do Nordeste Brasileiro, onde, em muitas áreas, o problema consiste muito mais na salinização excessiva da água do que na inexistência da mesma.

A figura 16 mostra os valores médios de cloretos nas águas subterrâneas dos poços amostrados. Nota-se que a maioria das águas possuem valores médios acima do máximo permissível para consumo humano que é de 250 mg/L.

Freitas, L.C.B – Qualidade das Águas Subterrâneas - Área no Município de Caucaia, Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará.

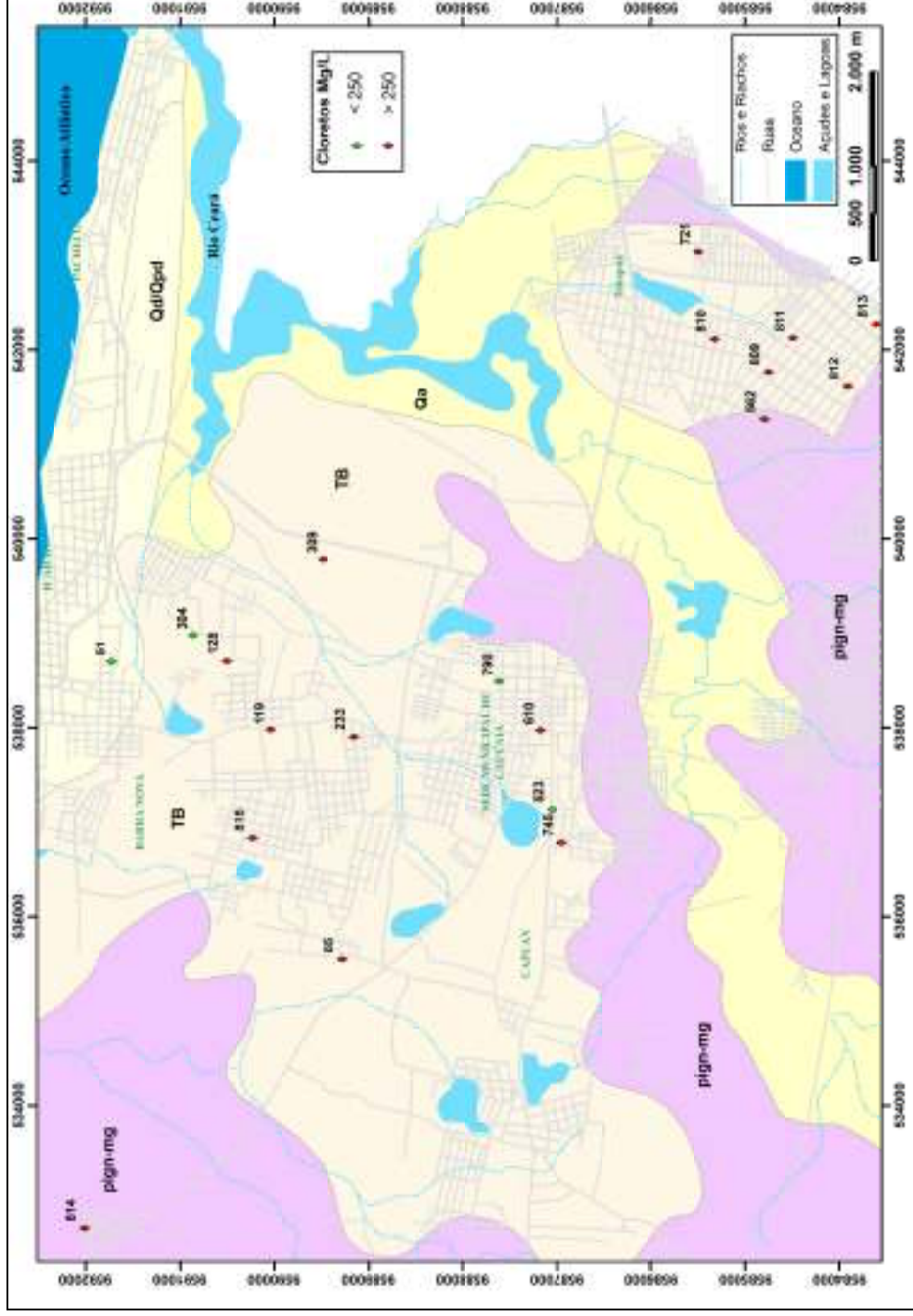


Figura 16 - Distribuição de poços e valores abaixo e acima do máximo permíssivel de cloretos pela portaria nº 518.

## 5.2. Classificação Iônica das Águas Subterrâneas

Para a análise e interpretação gráfica das fácies iônicas das águas subterrâneas da área foi utilizado o diagrama triangular de Piper. Descrevendo-as graficamente para cada etapa. Devido a grande quantidade de análises cada etapa foi dividida em dois gráficos.

1º ETAPA:

A maioria das águas Cloretadas Sódicas (12 amostras), seguidas das Cloretadas Mistas (3 amostras), Bicarbonatadas Mistas e Mistas-Mistas (2 amostras cada) e Mista Sódica (1 amostra) (Figuras 17 a 23).

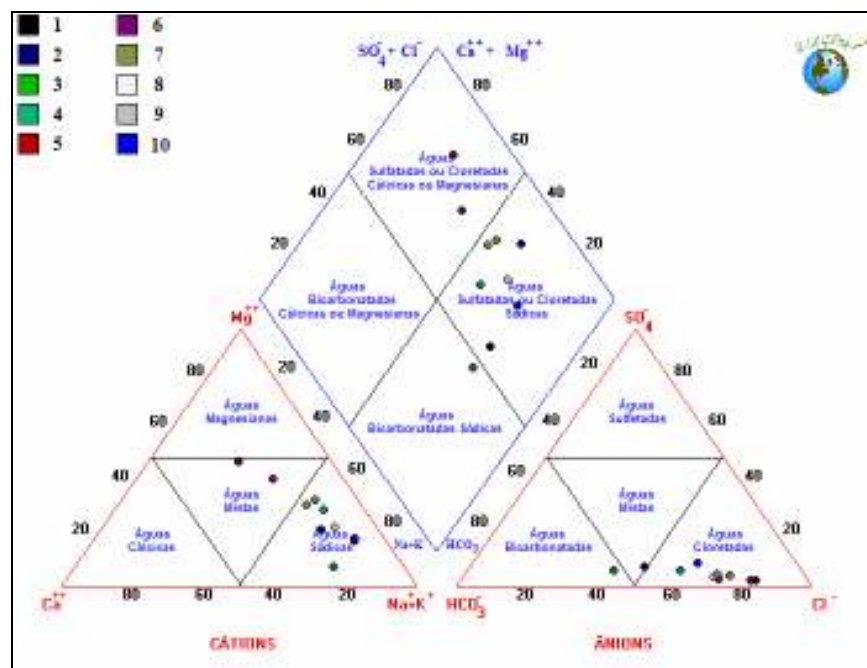


Figura 17 – Fácies iônicas das águas dos poços selecionados, Município de Caucaia (1º Etapa, 1 a 10)



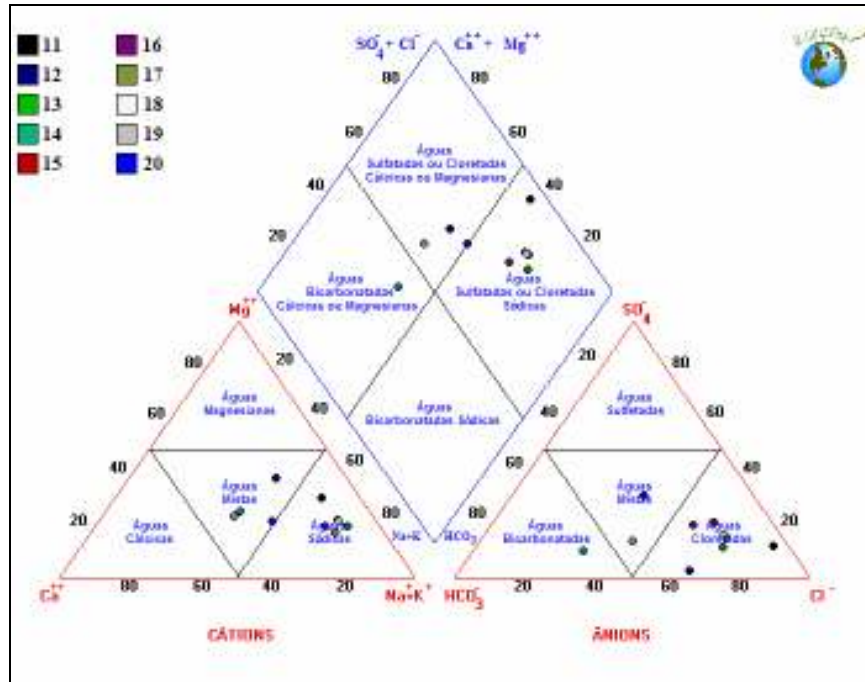


Figura 18 – Fácies iônicas das águas dos poços selecionados na área de estudo (1º Etapa 11 a 20)

2º Etapa:

A maioria das águas são Cloretadas Sódicas (amostras de 1 a 6), seguida das Bicarbonatadas Sódicas (amostras 8 e 9) e Cloretadas Mistas (amostra 7), mantendo-se o padrão anterior, onde também foram em sua maioria Cloretadas Mistas (Figura 15).

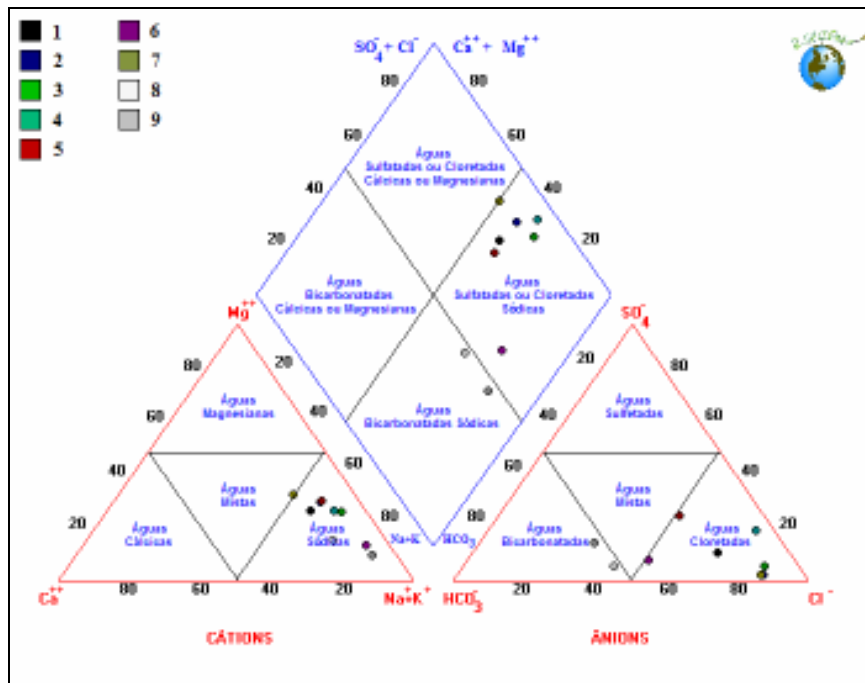


Figura 19 – Fácies iônicas das águas dos poços selecionados na área de estudo (2º etapa, 1 a 9)

3º Etapa:

Nesta etapa, foram amostrados os 9 poços da etapa anterior, mantendo-se a mesma ordem e mais 11 poços. Como anteriormente, a maioria das águas é Cloretada Sódica, mas há uma inversão em algumas amostras, que passaram de Cloretadas Sódicas para Bicarbonatadas Sódicas e vice e versa (amostras 1 e 4, e 8 e 9, respectivamente).

Com exceção de 4 amostras (nº1 e 4 que são Bicarbonatadas Sódicas, nº12 Mista Sódica e nº10 Cloretada Mista), todas as amostras são Cloretadas Sódicas, mostrando a forte influência dos íons sódio e cloreto nas águas subterrâneas da área, como também na Lagoa do Parque Botânico.

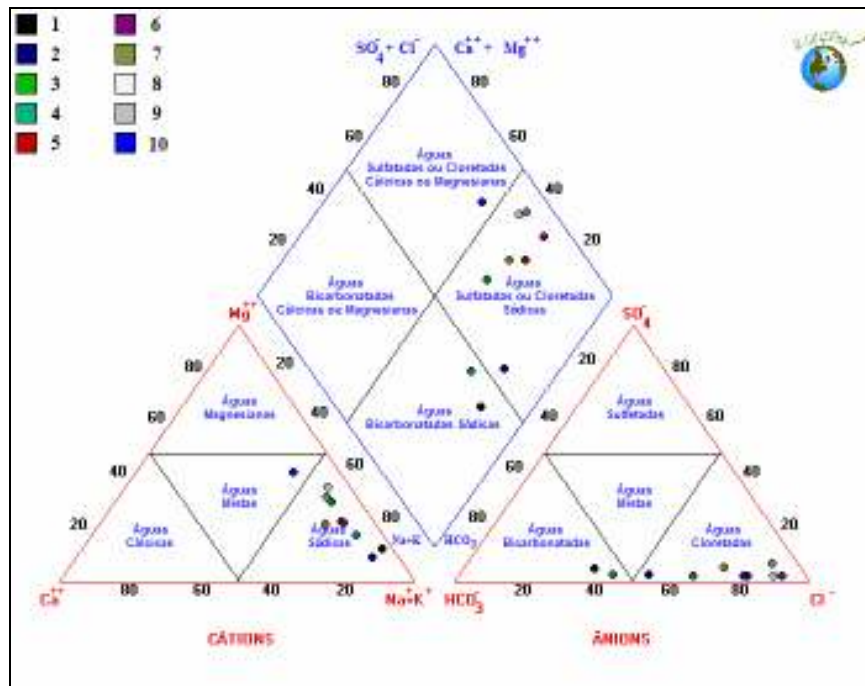


Figura 20 – Fácies iônicas das águas dos poços selecionados na área de estudo (3ª etapa, 1 a 10)

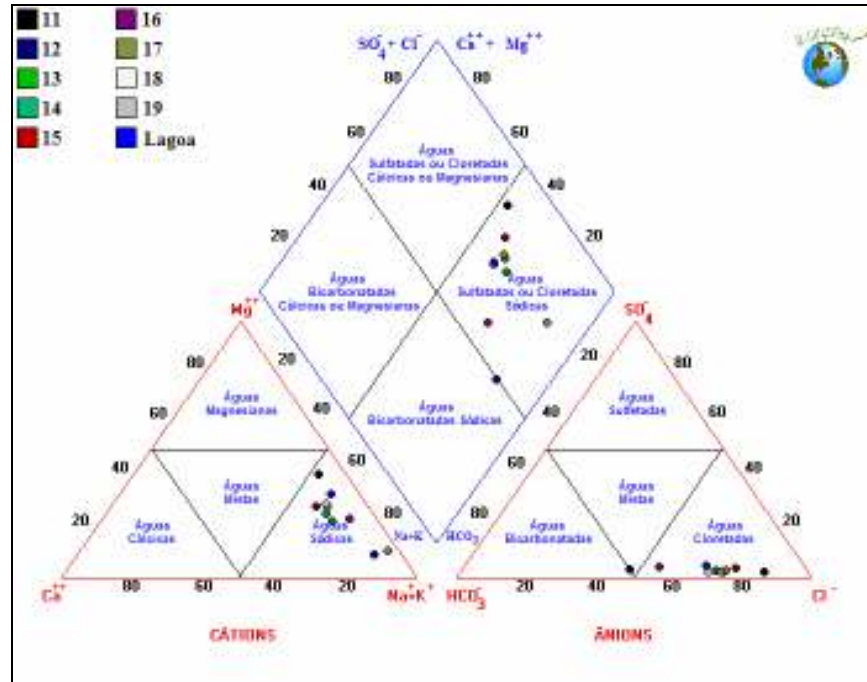


Figura 21 – Fácies iônicas das águas dos poços selecionados na área de estudo (3º etapa, 11 a 19 e Lagoa)

4º Etapa:

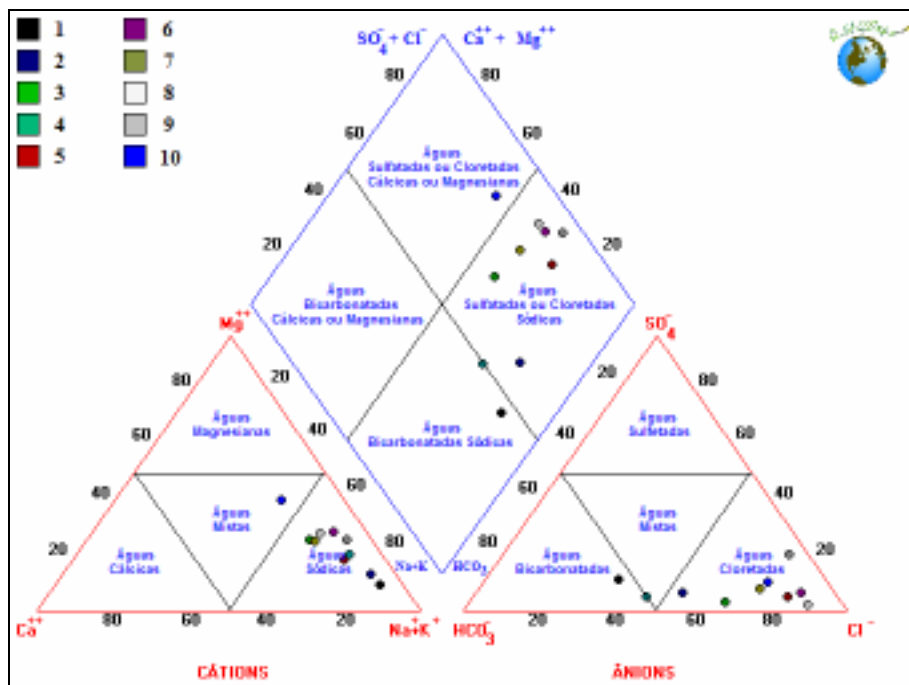


Figura 22 – Fácies iônicas das águas dos poços selecionados na área de estudo (4º etapa, 1 a 10)

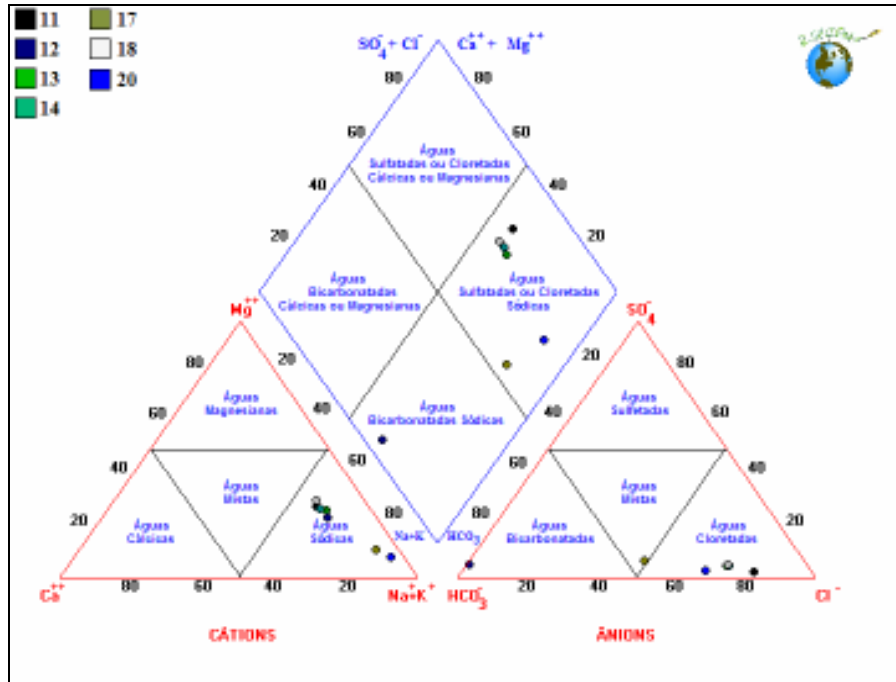


Figura 23 – Facies iônicas das águas dos poços selecionados na área de estudo (4ª etapa, 11 a 19)

Analisando-se de um modo geral os resultados obtidos, nos poços que captam águas do Sistema Hidrogeológico Cristalino, predominam águas do tipo cloretadas, concordante com o que se encontra regionalmente (Gomes, 2005), havendo algumas exceções na etapa 2.

Outro fator importante é que um mesmo tipo químico de água, no caso, cloretada-sódica, pode ocorrer em locais de distinta geologia, consequentemente dificultando a interpretação dos resultados quanto a origem da água (Aguiar *et. al.*, 2006).

O poço 1 que possuía água do tipo Cloretada Sódica na segunda etapa, passou a ter água do tipo Bicarbonatada Sódica nas duas outras. De maneira inversa, os poços 8 e 9 que possuíam águas do tipo Bicarbonatadas Sódicas, passaram a ter águas do tipo Cloretada Sódica nas duas outras campanhas.

Já as águas do poço 4 apresentaram uma grande variação, indo de Cloretada Sódica na 2ª etapa, Bicarbonatada Sódica na 3ª e Mista Sódica na 4ª (Tabela 12).

Dos demais poços (10 ao 20) amostrados na 3ª e 4ª etapas, apenas os poços 12 e 17 apresentaram variações (Tabela 13).

As variações em alguns poços podem indicar que os sistemas aquíferos, na área de influencia destes, sofrem recargas constantes renovando a água de maneira diferenciada pela concentração ou diluição de determinados elementos.

Estas recargas podem estar sendo induzidas pela intensa exploração, retirando água do sistema e induzindo a recarga em períodos chuvosos.

Outro fator, mais provável para os poços que se encontram em áreas de intensa ocupação como os poços 8 e 9, é a impermeabilização do solo que impede, ou retarda, a recarga concentrando cloretos nas fraturas e salinizando a água nos períodos de estiagem, permanecendo assim por um pequeno período na estação chuvosa.

Tabela 12– Fácies iônicas das águas dos poços amostrados (2º a 4º etapas).

Amostra	Localidade	Sistema Hidrogeológico	2º Etapa	3º Etapa	4º Etapa
1	Beija Bode	Barreiras/Cristalino	Cloretada Sódica	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica
2	Camarupim	Barreiras/Cristalino	Cloretada Sódica	Cloretada Sódica	Cloretada Sódica
3	Curicaca	Barreiras/Cristalino	Cloretada Sódica	Cloretada Sódica	Cloretada Sódica
4	Guajirú	Barreiras/Cristalino	Cloretada Sódica	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica
5	M.Antônio	Barreiras	Cloretada Sódica	Cloretada Sódica	Cloretada Sódica
6	Sede	Cristalino	Cloretada Sódica	Cloretada Sódica	Cloretada Sódica
7	Sede	Cristalino	Cloretada Mista	Cloretada Sódica	Cloretada Sódica
8	Sede	Cristalino	Bicarbonatada Sódica	Cloretada Sódica	Cloretada Sódica
9	Sede	Barreiras/Cristalino	Bicarbonatada Sódica	Cloretada Sódica	Cloretada Sódica

Tabela 13 – Fácies iônica das águas dos poços amostrados na 3º e 4º etapas (nº 10 ao 20 e lagoa)

AMOSTRA	3º Etapa	4º Etapa
	FÁCIES IÔNICAS	
10	Cloretada Mista	Cloretada Mista
11	Cloretada Sódica	Cloretada Sódica
12	Mista Sódica	Bicarbonatada Sódica
13	Cloretada Sódica	Cloretada Sódica
14	Cloretada Sódica	Cloretada Sódica
15	Cloretada Sódica	—
16	Cloretada Sódica	—
17	Cloretada Sódica	Mista Sódica
18	Cloretada Sódica	Cloretada Sódica
19	Cloretada Sódica	
20	—	Cloretada Sódica
Lagoa	Cloretada Sódica	—

### 5.3 – Água Para Consumo Humano

Em conformidade com os Artigos nº 14 e nº 16 presentes no capítulo IV da Portaria Nº. 518 de março de 2004 do Ministério da Saúde, referentes aos Padrões de Potabilidade, que estabelecem respectivamente padrões quanto as substâncias químicas que representam risco para a saúde humana e padrões de aceitação de consumo humano expressos em tabelas anexas em cada artigo, foram elaborados os gráficos das figuras 24 a 27, que consistem em gráficos semi-logarítmicos onde são representados os principais parâmetros referentes aos padrões de potabilidade estabelecidos por esta Portaria.

Este gráfico permite uma fácil e rápida interpretação dos dados, pois os Valores Máximos Permissíveis (VMP) estão destacados de azul e unidos por uma linha pontilhada de mesma cor, e os valores acima destes estão destacados de vermelho.

Na confecção desses gráficos foram usados valores médios, e mesmo assim destacam os elevados valores de cloretos e nitratos nas águas subterrâneas.

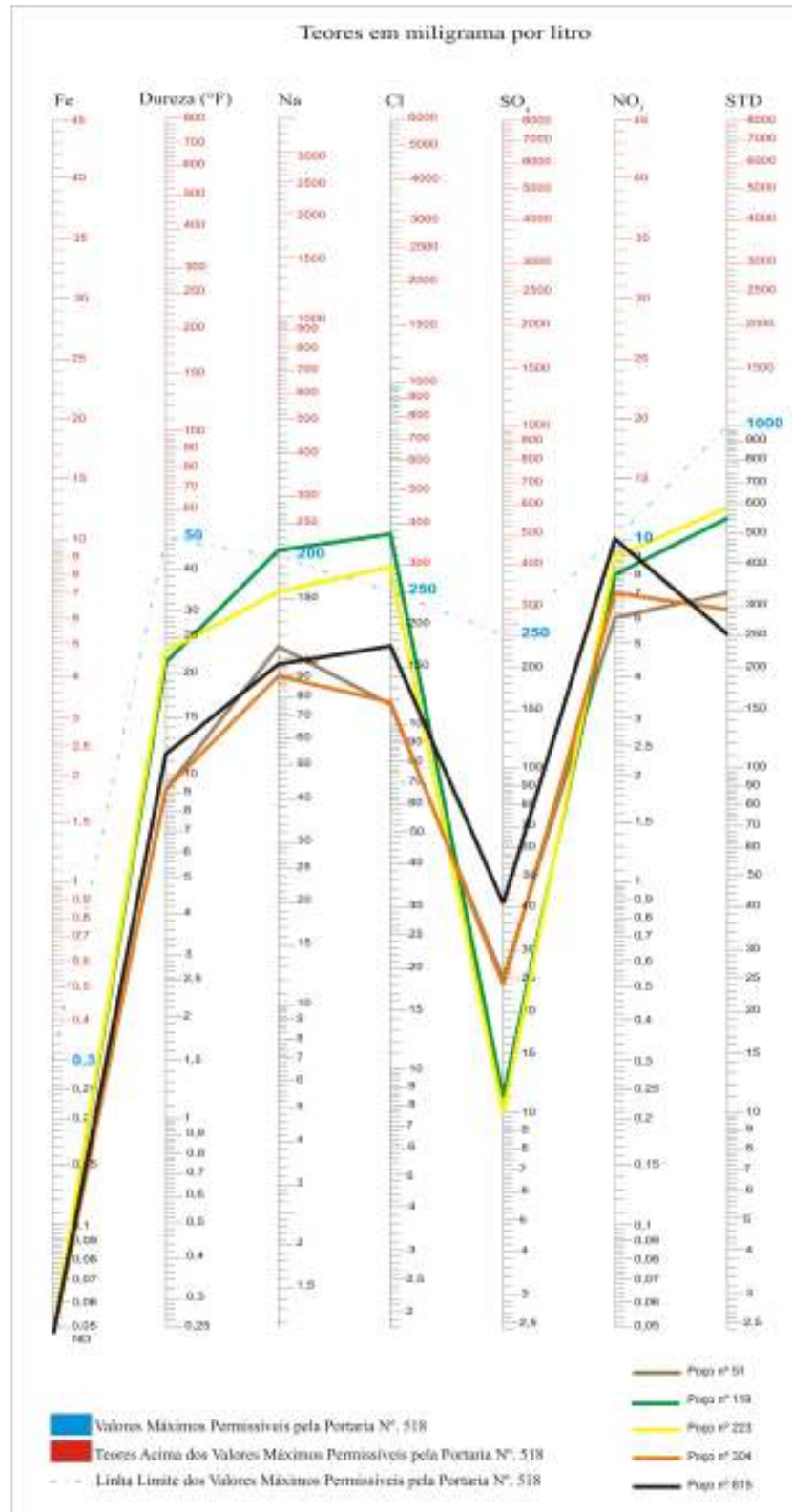


Figura 24 - Diagrama para classificação da água para consumo humano (Poços nº 51, 119, 223, 304, 815)

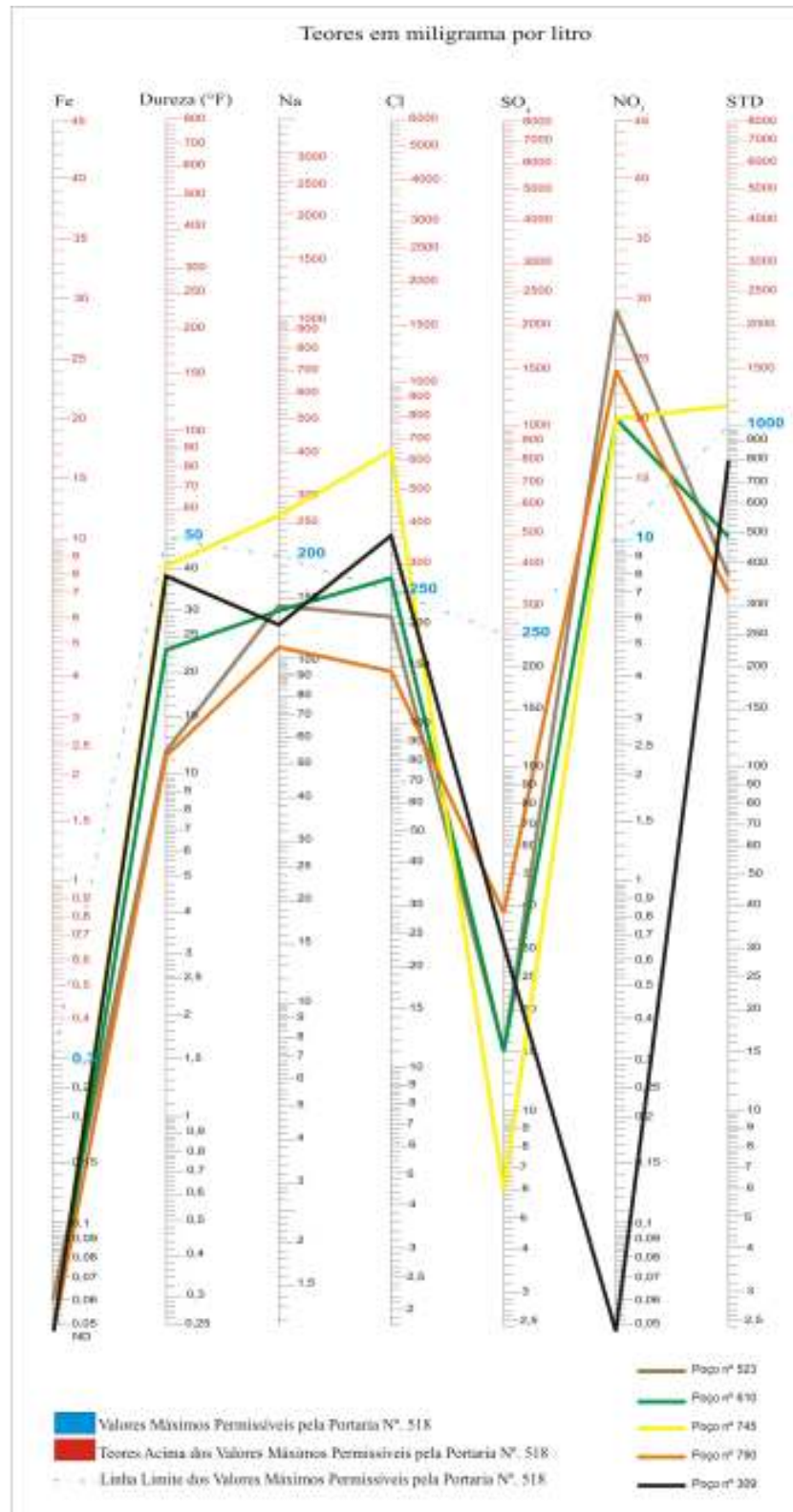


Figura 25 - Diagrama para classificação da água para consumo humano (Poços nº 523, 610, 745, 790, 309)



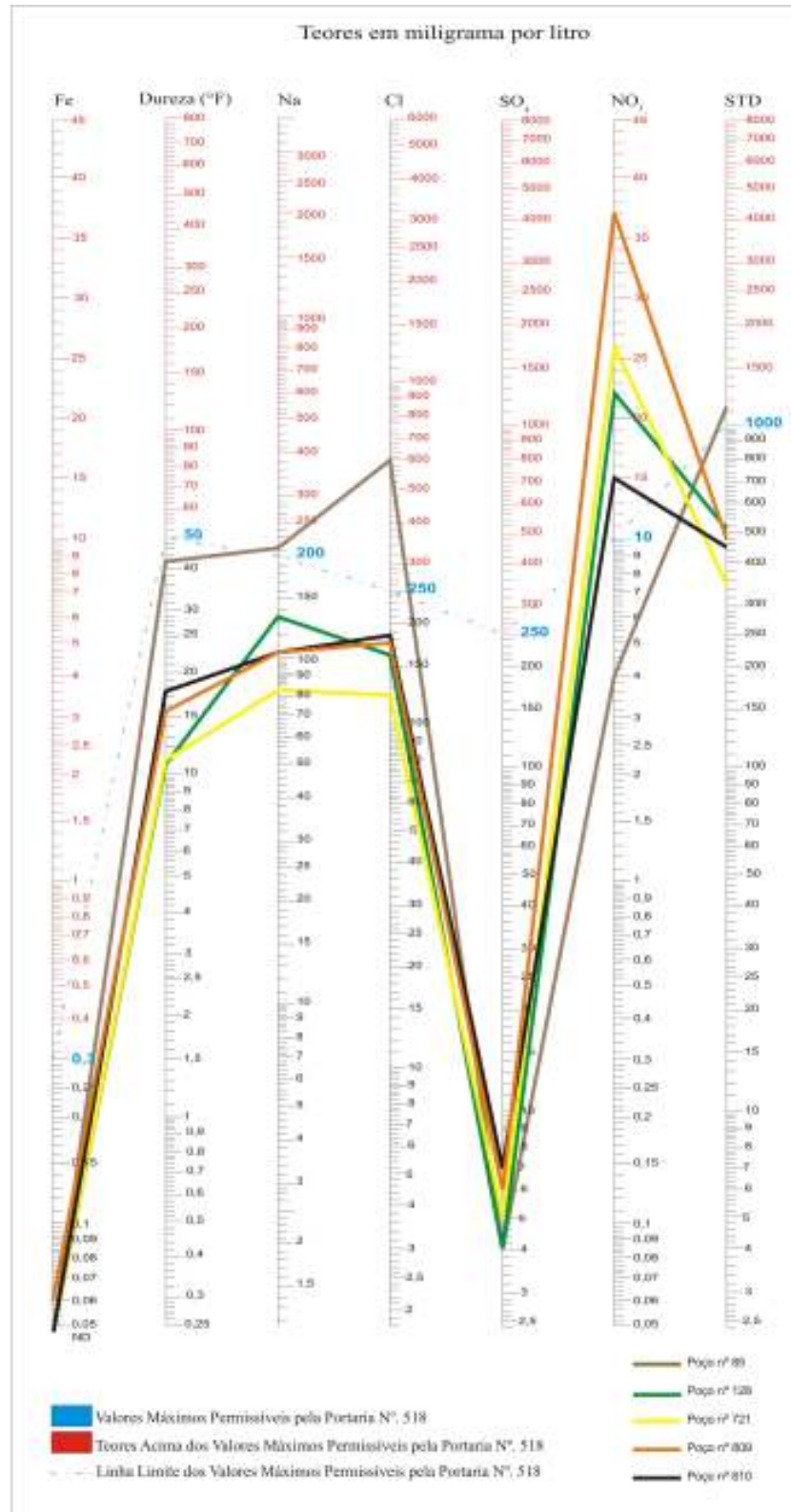


Figura 26 - Diagrama para classificação da água para consumo humano (Poços nº 85, 128, 721, 809, 810)

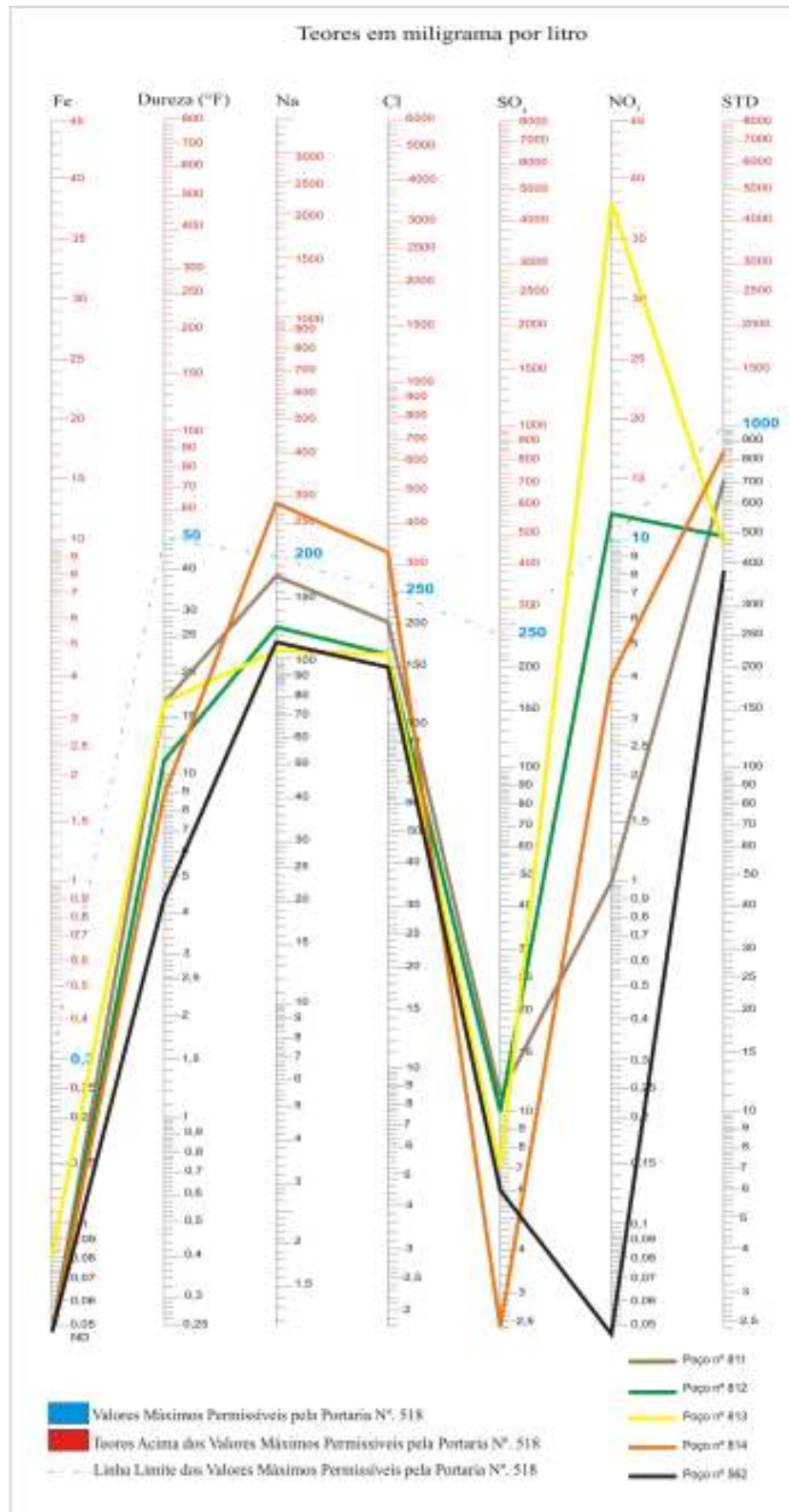


Figura 27 - Diagrama para classificação da água para consumo humano (Poços nº 811, 812, 813, 814, 562)

#### 5.4 – Água Para Agricultura

Para a água ser utilizada na irrigação é necessário que se conheça sua composição química, o tipo de solo e tipo de cultura a ser irrigada.

Segundo Junior *et al.*, (2006), o aumento da Porcentagem de Sódio Trocável (PST) do solo pela adsorção do sódio presente na água de irrigação é um importante fator a ser considerado. A PST é a propriedade do solo que melhor se correlaciona com os efeitos do sódio na permeabilidade do solo e efeitos tóxicos deste íon nas plantas, porém visto que a Razão de Adsorção de Sódio (*Sodium Absorption Ratio* - SAR) do solo é uma boa estimativa da PST, esta tem sido utilizada para se avaliar os riscos de sodicidade.

Para se calcular a porcentagem de sódio contido na água que pode ser adsorvido pelo solo usa-se a equação 02:

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{1}{2}([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])}} \quad (02) \quad \text{valores em meq/L}$$

Segundo Möbus (2009), dentre os critérios de classificação da água para fins de irrigação, um dos mais aceitos atualmente é a classificação proposta pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL). Esta classificação baseia-se na Razão de Adsorção de Sódio (SAR) e na condutividade elétrica da água a 25°C. Os diagramas (figuras 28 a 34) abaixo foram gerados a partir do programa Qualifraf (Möbus, *op. cit.*).

1º Etapa:

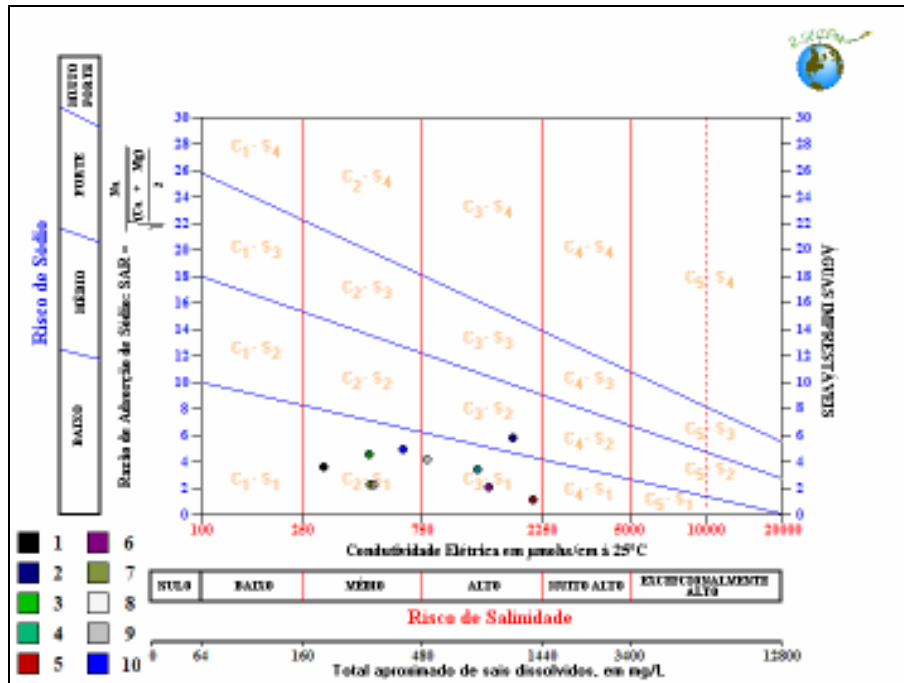


Figura 28 – Classe USSL das águas dos poços selecionados (1º etapa, 1 a 10)

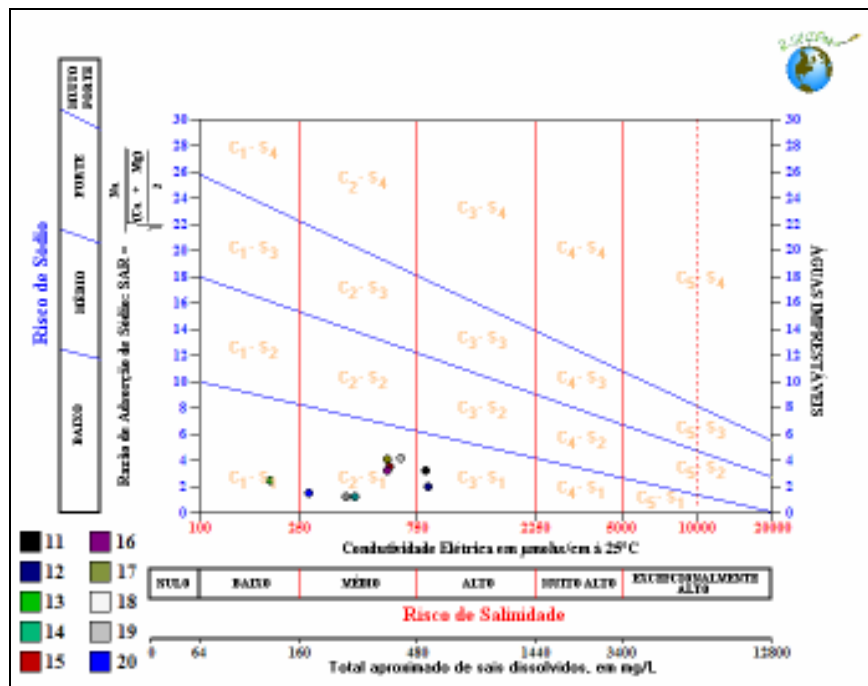


Figura 29 – Classe USSL das águas dos poços selecionados (1º etapa, 11 a 20)

2º Etapa:

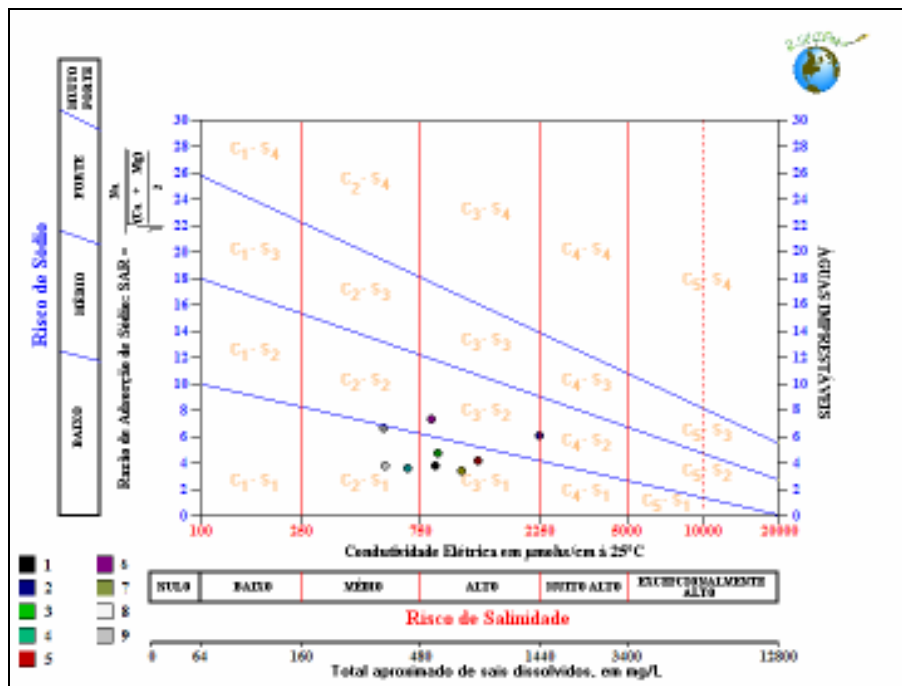


Figura 30 – Classe USSL das águas dos poços selecionados (2º etapa, 1 a 9)

3º Etapa:

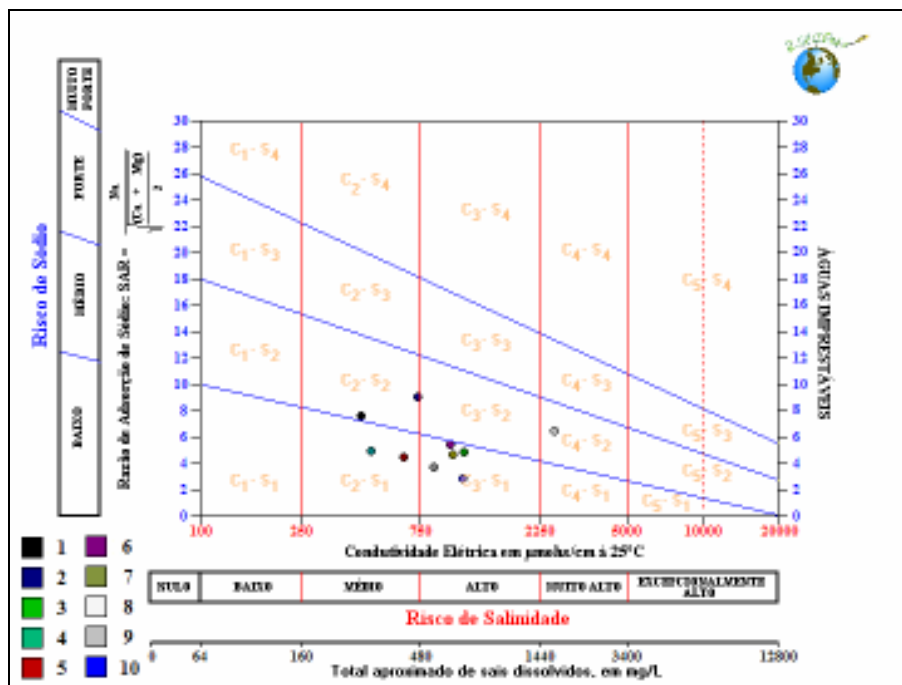


Figura 31 – Classe USSL das águas dos poços selecionados (3º etapa, 1 a 10)

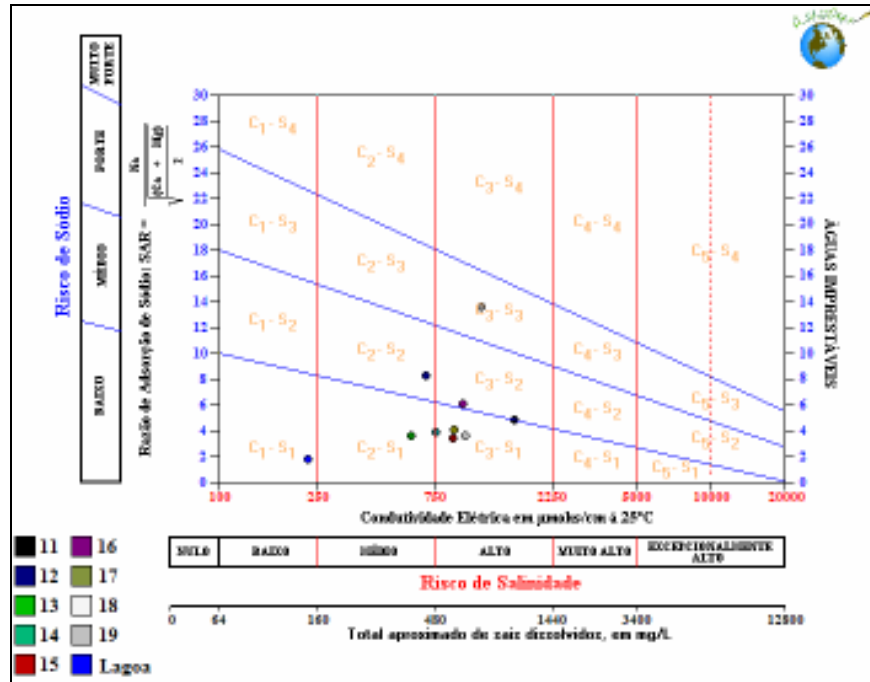


Figura 32 – Classe USSL das águas dos poços selecionados (3º etapa, 11 a 19 e Lagoa)

4º Etapa:

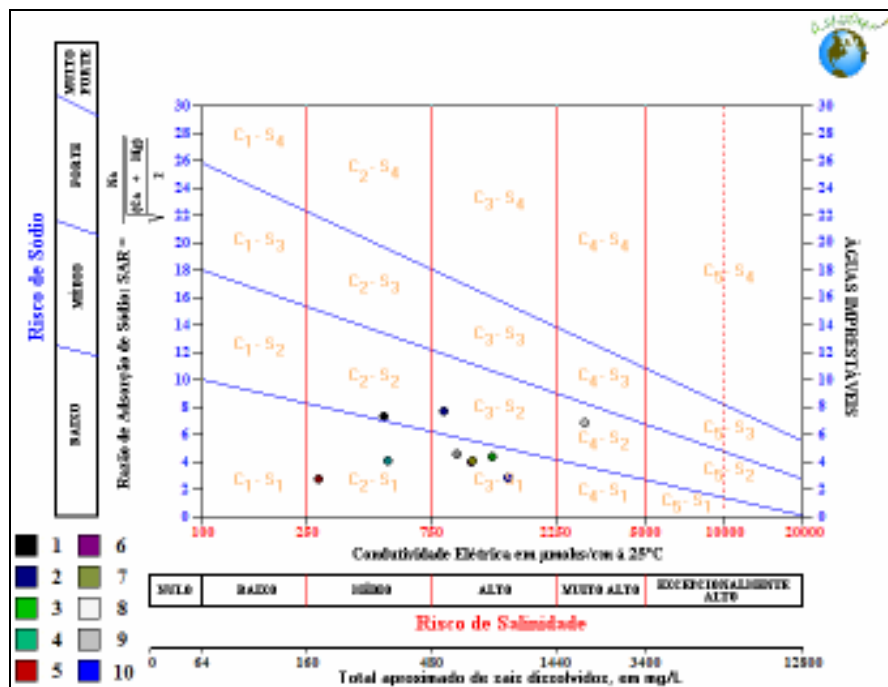


Figura 33 – Classe USSL das águas dos poços selecionados (4º etapa, 1 a 10)

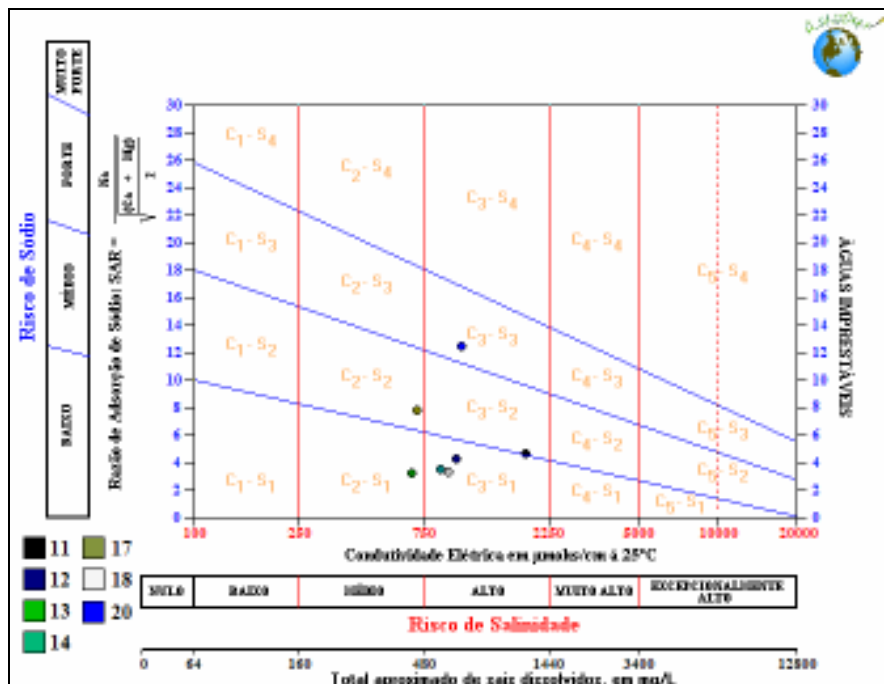


Figura 34 – Classe USSL das águas dos poços selecionados (4º etapa, 11 a 19)

Do total de amostras de água analisadas apenas 5 não mantiveram classes constantes durante as 3 Etapas.

A classe mais freqüente foi a C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> ( Tabela 14) que representa alto risco de salinidade e baixo risco de sódio, podendo ser usadas pra irrigar somente solos bem drenados e apenas vegetais de alta tolerância salina podem ser cultivados.

Tabela 14 – Classes USSL da 2º a 4º etapa

Amostra	2º	3º	4º	Amostra	2º	3º	4º
1	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> -S <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> -S <sub>2</sub>	12	—	C <sub>2</sub> -S <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
2	C <sub>3</sub> -S <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> -S <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> -S <sub>2</sub>	13	—	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>
3	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>	14	—	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
4	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>	15	—	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>	—
5	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>	16	—	C <sub>3</sub> -S <sub>2</sub>	—
6	C <sub>3</sub> -S <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>	17	—	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> -S <sub>2</sub>
7	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>	18	—	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
8	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>	C <sub>4</sub> -S <sub>2</sub>	C <sub>4</sub> -S <sub>2</sub>	19	—	C <sub>3</sub> -S <sub>3</sub>	—
9	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>	20	—	—	C <sub>3</sub> -S <sub>3</sub>
10	—	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>	Lagoa	—	C <sub>1</sub> -S <sub>1</sub>	—
11	—	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>				

Para a utilização de águas dos poços que se mostraram instáveis em sua classificação durante a pesquisa, faz-se necessário um maior estudo e monitoramento das águas destes poços.

### 5.5 – Uso da Água Subterrânea para Indústria

A utilização das águas nas indústrias é regida por padrões que associam o tipo de atividade com as concentrações máximas permissíveis para os elementos analisados, ou que encontram restrição.

A água subterrânea pode ser utilizada na indústria de quatro maneiras: como matéria-prima, refrigeração, consumo humano e para lavagem, tendo cada uma suas próprias especificações e critérios.

Os principais parâmetros que devem ser observados constam no Quadro 01 sendo o ataque químico (corrosão/incrustação) o que mais prejudica as indústrias.

Quadro 01 - Critérios de qualidade da água para indústrias

Tipo de Indústria	Dureza	Alcalinidade	STD	NO <sub>3</sub>	Ca	Fe	Mn	Cl	SO <sub>4</sub>	pH
	(mg/L CaCO <sub>3</sub> )		(mg/L)							
Curtume	50	135	-	-	-	0,2	0,2	-	100	8
Têxtil	50	-	-	-	10	0,25	0,25	100	-	-
Cervejaria	50	75	1.000	10	200	0,1	0,1	100	-	7
Sucos e Refrigerante	25	128	850	-	-	0,2	0,2	250	250	-
Laticínios	180	-	< 500	30	-	0,3	0,1	30	60	-
Açucareira	30-100	-	-	-	20	0,1	-	-	-	-
Água de Refrigeração	50	-	-	-	-	0,5	0,5	-	-	-
Conservas	50-80	80-150	850	15	500	0,2	0,2	-	-	7,5
Papel	100	200	200	-	-	0,1	0,05	75	-	-

Fonte: MATHES, 1982; DRISCOLL, 1986; SZIKSZAY, 1993; apud SANTOS, 1997

As indústrias que utilizam água subterrânea no município devem levar em conta a alta concentração de cloretos, dureza elevada e o risco de contaminação por nitrato.



## CONCLUSÕES

Com a análise periódica realizada nas águas subterrâneas dos poços selecionados para a pesquisa, pode-se constatar que a qualidade das águas subterrâneas sofre grande influência das atividades antrópicas, demonstradas principalmente pelos altos teores de nitrato e nitrogênio amoniacal.

As águas dos poços nº 6 e 9 apresentaram elevados teores do íon nitrato nas 3 campanhas, também tendo sido detectado nitrogênio amoniacal, que é um indicativo de contaminação recente, mostrando que esses poços recebem frequentemente contaminação da fonte (indicado pelo nitrogênio amoniacal) por um longo período (indicado pelos elevados teores de nitrato).

A água do poço 9 apresenta um valor de nitrogênio amoniacal (21,15 mg/L de N-NH<sub>3,4</sub>) muito acima do máximo permissível para consumo humano que é 1,5 mg/L de N-NH<sub>3,4</sub>.

Com relação a concentração média de STD, as águas do Sistema Hidrogeológico Cristalino apresentam a maior concentração (840 mg/L). Com exceção da primeira fase, todas apresentam uma dominância de águas do tipo salobra.

De um modo geral, as águas dos poços que captam os Sistemas Barreiras/Cristalino e Barreiras apresentam qualidades físico-químicas parecidas, sendo as do Sistema Misto Barreiras/Cristalino um pouco melhor do que as do Sistema Barreiras.

Em relação a dureza, a maioria das águas analisadas apresentaram elevados teores. Geralmente reconhece-se de modo prático que a água é mais ou menos dura pela capacidade de se formar espuma de sabão com ela. Na área, o poço 8 que apresentou os maiores valores de dureza é utilizado em uma lavanderia pública na sede municipal. Os dados levantados a respeito da dureza, como também o de sólidos totais dissolvidos são de grande importância na instalação de novas indústrias e lavanderias públicas que dependem muito da qualidade em relação a dureza.

Alem dos problemas mencionados, a água com elevados teores de dureza e STD é desagradável ao paladar e deposita sais quando evapora sendo necessário muitas vezes a utilização de filtros para a redução de sais para a sua utilização, tornando mais onerosa a utilização da água por causa do processo de adequabilidade para consumo.

Segundo o Diagrama de Piper, a maioria das águas são cloretadas sódicas.

Quanto ao uso na agricultura, a classe mais freqüente foi a C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> que representa alto risco de salinidade e baixo risco de sódio, podendo ser usadas pra irrigar somente solos bem drenados e apenas para vegetais de alta tolerância salina podem ser cultivados.

Em relação às indústrias que utilizam água subterrânea no município, dependendo da sua categoria, devem levar em conta a alta concentração de cloretos, dureza elevada e o risco de contaminação por nitrato.

As águas dos poços 128 e 812 foram os únicos que mostraram estabilidade iônica na 3º e 4º fases.

Os poços 119, 233, 815, 523 e 610 apresentam grande estabilidade nas 3 etapas, tanto em relação ao tipo iônico da água como no tipo da água para agricultura.

A água tem sido motivo de preocupação em diversos países, tanto por causa de sua quantidade como qualidade. As águas subterrâneas fazem parte de um sistema frágil que reage a fatores externos e internos, que podem ter sua qualidade alterada pela intervenção humana, deixando de ser potável.

A intensa ocupação pode afetar a qualidade da água subterrânea por diversos modos, indo desde a concentração de elementos devido a falta de recarga ocasionada pela impermeabilização do solo até a contaminação por efluentes domésticos e industriais.

Recomenda-se o monitoramento dos poços que obtiveram valores de parâmetros fora dos padrões de potabilidade, e a não utilização destes para o consumo, sem o tratamento adequado.

Deve-se adotar políticas de preservação das águas subterrâneas, tentando minimizar os efeitos antrópicos sobre sua qualidade, contribuindo assim no aumento da oferta de água potável no município, principalmente nos períodos de escassez.

Freitas, L.C.B – Qualidade das Águas Subterrâneas - Área no Município de Caucaia, Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS – 2006 – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. [on-line]. São Paulo – SP. [consultado em 15/10/08]. Disponível na Internet: <<http://www.abas.org>

APHA - 1998 - *AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION (WEF)* -1998 - “*Standart Methods for Examination of Water and Wastewater*”. Washington. 19.ed.

AB'SABER, A.N. - 1969. Participação das superfícies aplainadas nas paisagens do nordeste brasileiro. São Paulo, Institute de Geografia - USP, 38p (Geomorfologia 19)

AGUIAR, P. F, GOMES, D. F. NOGUEIRA, S. R. P., Freire, G. S. S. & Pereira, L. L., - 2006 - Hidroquímica e qualidade ambiental das águas dos aquíferos costeiros do município de Beberibe, Ceará, Brasil Revista de Geologia, Vol. 19, nº 2, 241-251, [www.revistadegeologia.ufc.br](http://www.revistadegeologia.ufc.br)

BIANCHI, L.; PADILHA, M.W.M.; TEIXEIRA, J.E.M. - 1984 - Recursos de água subterrânea na R.M.F. Fatores Condicionantes. In: Plano de aproveitamento dos Recursos Hídricos na R.M.F - Fase I. Fortaleza. SEPLAN - AUMEF, v. 1, 139 p.

BRAGA, A de P.G., PASSOS, C. A. B., SOUZA, E. M. – 1977 - Projeto Fortaleza. Relatório Final. Recife: DNPM/CPRM. v.1.

BRANDÃO, R. de L.,- 1995 - Mapa Geológico da Região Metropolitana de Fortaleza. Texto Explicativo. Escala 1:100.000. Projeto SINFOR. CPRM. Fortaleza – CE. 32 p.

BRASIL – 2004 - Portaria n.º 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, Brasília. Diário Oficial da União, Brasília, 26 de Março de 2004. Seção I, Página 266/270. [www.saude.gov.br](http://www.saude.gov.br), acessado em Janeiro, 2007.

BRITO NEVES, B. B. de. – 1975 - Regionalização geotectônica do PréCambriano Nordeste. São Paulo: USP. 108 p. il. (Tese de Doutorado).

Freitas, L.C.B – Qualidade das Águas Subterrâneas - Área no Município de Caucaia, Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará.

CAGECE. Companhia de Água e Esgoto do Ceará. - 2003 - Companhia de Água e Esgoto do Ceará. Dados operacionais indicadores de desempenho. Fortaleza - CE.

CAVALCANTE, I.N. - 1998 - Fundamentos Hidrogeológicos para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza - Estado do Ceará - Tese de Doutorado – IG/USP. São Paulo-SP. 156p

CPRM – 2002 - Atlas dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Ceará —Re/fo 2º edição, julho de 2002. CD ROM.

GOMES, D.F., 2005, Estudo Hidroquímico, Isotópico e da Dinâmica do Nível Estático das Águas Subterrâneas e Superficiais da Região de Limoeiro do Norte – Baixo Jaguaribe - Ceará. Tese de Doutorado, UFC, 218p.

GRANDALL, Roderick - 1910. Geografia, geologia, suprimento d'água, transporte e açudagem nos estados orientais do Nordeste do Brasil: Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba. Rio de Janeiro, IFOCS.

COGERH/VBA – 1999. Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas. Fortaleza – CE.

CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R. – 1983 – Hidrologia Subterrânea. Barcelona. Barcelona: Ed. Omega, v.2.

HOLANDA, J. L. R, S. VASCONCELOS M. S, MAIA L. P. – 2003 - Aspectos Hidrogeológicos da Região Costeira do Município de Caucaia – Ceará, Revista de Geologia, Vol. 16, nº 1, 7- 18.

IBGE – 2001 - Censo Demográfico 2000. Característica da população e dos domicílios.

IPLANCE - 2005. Perfil Básico Municipal: Caucaia. Fortaleza. Mapa colorido. 28 p

JÚNIOR, A. S. A., SILVA, Ê. F. F., BASTOS, E. A., MELO, F. B. & LEAL, C. M - 2006 - Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no Semi-Árido Piauiense - Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - v.10, n.4, p.873-880, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG – <http://www.agriambi.com.br>

Freitas, L.C.B – Qualidade das Águas Subterrâneas - Área no Município de Caucaia, Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará.

LEAL, O. – 1970 - Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste. Folha Jaguaribe – NO. Recife: DNPM/CPRM, 1980. 266p.

LIMA, E. DE A.M., WANDERLEY, A. A., VIEIRA, A.T. – 1980 - Projeto Scheelita do Seridó. Relatório Final. Recife: DNPM/CPRM, 266p.

LIMA, E. M. S., SILVA, E. V.– 2003 - Sensoriamento Remoto e Análise de Impactos Ambientais: Estuário do Rio Ceará-CE.. In: VI Congresso de Ecologia do Brasil. Fortaleza. Anais do VI Congresso de Ecologia do Brasil.. Fortaleza, v. 1.

MEUNIER, A.R., 1964, Succession stratigraphique et passages lateraux dus au metamorphisme dans la Série Ceará, Antecambrien du Nord-Est Brésilien. C.R. Acad. Sci. Paris, 259: 3796-3799.

MINISTÉRIO DA SAÚDE – 2005 - Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental – COMENTÁRIOS SOBRE A PORTARIA MS N.º 518/2004: SUBSÍDIOS PARA IMPLEMENTAÇÃO, Série E. Legislação de Saúde, Brasília – DF, 94p.

MÖBUS, G., 2009 - QUALIGRAF – Software para auxiliar na análise e interpretação gráfica de dados hidroquímicos. Disponível para download gratuito em <http://www.funceme.br/DEHID/qualigraf/index.htm>

NASCIMENTO, D. A., GAVA A., PIRES, J.de L., TEIXEIRA, W. – 1981 - Projeto RADAMBRASIL, Folhas SA.24 Fortaleza, V.21, geologia. Divisão de Geologia MME/Secretaria Geral. Rio de Janeiro. 488p. il. 7 mapas.

SCHOELLER, H. – 1962 – Les eaux souterraines. Masson & Cia., Ed. Paris, 624p.

SUDENE. - 1984 - Folha topográfica: Fortaleza (SB. 24-Z-C-IV, Escala: 1:100.000).

## ANEXOS E APÊNDICES









Freitas, L.C.B – Qualidade das Águas Subterrâneas - Área no Município de Caucaia, Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará.

ANEXO I - Cadastro Geral dos Poços Tubulares na Área de Pesquisa

Nº	LOCALIDADE	LAT. (UTM)	LONG. (UTM)	URD	UTILIZAÇÃO DO POÇO	FINALIDADE	ANO	SISTEMA VEREDA	PROF. (M)	REVESTIMENTO	RE (M)	NO (M)	VAZÃO (m³/d)	CAPAC. RESERVA	ATENDIMENTO	CONDUZ. ELÉTR.	STD (m³/d)
204	CALEGUA	203733	537027	PR2800	EM USO	DOMESTICO		CRISTALINO	40,00	PESTENO			0,00	1,00		300,00	300,00
205	CALEGUA	203733	537028	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1985	CRISTALINO	20,00	PESTENO			0,00	3,00			
206	CALEGUA	203843	537142	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1985	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		480,00	200,00
207	CALEGUA	203843	537143	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			4,50	5,00	30 FAMILIAR		
208	CALEGUA	203843	537144	PR2800	EM USO	DOMESTICO		CRISTALINO	30,00	PESTENO			18,00	10,00		267,00	242,00
209	CALEGUA	203843	537145	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			15,00	10,00		300,00	501,00
210	CALEGUA	203843	537146	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.100,00	701,00
211	CALEGUA	203843	537147	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		2.880,00	2.880,00
212	CALEGUA	203843	537148	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		2.200,00	1.950,00
213	CALEGUA	203843	537149	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.750,00	1.100,00
214	CALEGUA	203843	537150	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		450,00	207,00
215	CALEGUA	203843	537151	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
216	CALEGUA	203843	537152	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
217	CALEGUA	203843	537153	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
218	CALEGUA	203843	537154	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
219	CALEGUA	203843	537155	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
220	CALEGUA	203843	537156	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
221	CALEGUA	203843	537157	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
222	CALEGUA	203843	537158	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
223	CALEGUA	203843	537159	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
224	CALEGUA	203843	537160	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
225	CALEGUA	203843	537161	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
226	CALEGUA	203843	537162	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
227	CALEGUA	203843	537163	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
228	CALEGUA	203843	537164	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
229	CALEGUA	203843	537165	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
230	CALEGUA	203843	537166	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
231	CALEGUA	203843	537167	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
232	CALEGUA	203843	537168	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
233	CALEGUA	203843	537169	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
234	CALEGUA	203843	537170	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
235	CALEGUA	203843	537171	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
236	CALEGUA	203843	537172	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
237	CALEGUA	203843	537173	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
238	CALEGUA	203843	537174	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
239	CALEGUA	203843	537175	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
240	CALEGUA	203843	537176	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
241	CALEGUA	203843	537177	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
242	CALEGUA	203843	537178	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
243	CALEGUA	203843	537179	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
244	CALEGUA	203843	537180	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
245	CALEGUA	203843	537181	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
246	CALEGUA	203843	537182	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
247	CALEGUA	203843	537183	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
248	CALEGUA	203843	537184	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
249	CALEGUA	203843	537185	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
250	CALEGUA	203843	537186	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
251	CALEGUA	203843	537187	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
252	CALEGUA	203843	537188	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
253	CALEGUA	203843	537189	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
254	CALEGUA	203843	537190	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
255	CALEGUA	203843	537191	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
256	CALEGUA	203843	537192	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
257	CALEGUA	203843	537193	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
258	CALEGUA	203843	537194	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
259	CALEGUA	203843	537195	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
260	CALEGUA	203843	537196	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
261	CALEGUA	203843	537197	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
262	CALEGUA	203843	537198	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
263	CALEGUA	203843	537199	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
264	CALEGUA	203843	537200	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
265	CALEGUA	203843	537201	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
266	CALEGUA	203843	537202	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
267	CALEGUA	203843	537203	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
268	CALEGUA	203843	537204	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
269	CALEGUA	203843	537205	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
270	CALEGUA	203843	537206	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
271	CALEGUA	203843	537207	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00
272	CALEGUA	203843	537208	PR2800	EM USO	DOMESTICO	1986	CRISTALINO	30,00	PESTENO			0,00	10,00		1.300,00	1.040,00

















ANEXO I - Cadastro Geral dos Poços Tubulares na Área de Pesquisa

Nº	LOCALIDADE	LAT. (UTM)	LONG. (UTM)	URSO	SITUAÇÃO DO POÇO	FINALIDADE	ANO	SISTEMA AEROLÓGICO	PROF. (m)	REVESTIMENTO	RE JE	NO JE	VAZÃO (m³/d)	CAPAC. RESERV.	ATENDEIMENTO	CONDUT. ELÉTRIC.	RTD (mg/L)
740		841180	150800	PRELADO	EM USO	INDUSTRIAL	1983	CRISTALINO	30,00	PVC	11,30	10,00	0,73	85,00		86,00	300,00
750		841180	152000	PRELADO	EM USO	DOMÉSTICO	3-8-2010	CRISTALINO	30,00	FERRO			0,00	1,00		96,00	600,00
751		841180	153600	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	30,00	FERRO			0,00	17,00	817 FAMILIAS	86,00	204,00
752		841180	157344	PRELADO	EM USO	DOMÉSTICO	1983	CRISTALINO	40,00	FERRO			0,00	10,00		1707,00	500,00
753		840936	159816	PUR. 200	DESAFIVADO	INDUSTRIAL	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			12,00	40,00	100 FAMILIAS		
754		841180	157392	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	30,00	PVC			11,00	10,00		48,00	270,00
755		841180	158416	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1983	CRISTALINO	30,00	FERRO			0,00	11,00	30 FAMILIAS	220,00	
756		840864	157320	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1983	CRISTALINO	37,00	FERRO			18,00	11,00		73,00	401,00
757		841180	157376	PRELADO	DESAFIVADO	INDUSTRIAL	1987	CRISTALINO	30,00	PVC			11,00	10,00		3004,00	500,00
758		840936	158736	PUR. 200	DESAFIVADO	INDUSTRIAL	1987	CRISTALINO	30,00	PVC			11,00	10,00		86,00	200,00
759		840936	159712	PRELADO	DESAFIVADO	ANIMAL	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	0,00	80 FAMILIAS	86,00	300,00
760		841180	158736	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	30,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
761		841180	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	30,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
762		841180	157376	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	37,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
763		840936	158736	PRELADO	DESAFIVADO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	37,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
764		840936	159840	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	37,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
765		841180	158880	PRELADO	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			1,00	2,00	2 FAMILIAS	410,00	200,00
766		840864	157320	PRELADO	EM USO	DOMÉSTICO	1984	CRISTALINO	40,00	PVC			1,00	1,00	01 FAMILIA	86,00	314,00
767		840936	159840	PRELADO	EM USO	DOMÉSTICO	1984	CRISTALINO	40,00	PVC			2,00	2,00	02 FAMILIAS	86,00	350,00
768		840936	159840	PRELADO	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	50,00	PVC			0,00	0,00	01 FAMILIA	170,00	271,00
769		841180	159552	PRELADO	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
770		841180	159712	PRELADO	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
771		840936	158736	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
772		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
773		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
774		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
775		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
776		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
777		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
778		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
779		841180	158736	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
780		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
781		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
782		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
783		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
784		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
785		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
786		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
787		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
788		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
789		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
790		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
791		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
792		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
793		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
794		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
795		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
796		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
797		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
798		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
799		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
800		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
801		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
802		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
803		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
804		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
805		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
806		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
807		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
808		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
809		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
810		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
811		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
812		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
813		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
814		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
815		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
816		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
817		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	10,00		86,00	200,00
818		840936	159712	PUR. 200	EM USO	DOMÉSTICO	1980	CRISTALINO	40,00	PVC			0,00	1			

Freitas, L.C.B – Qualidade das Águas Subterrâneas - Área no Município de Caucaia, Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará.

Nº do Poço	Especificação da Amostra	pH (a 25°C)	CE (µS/cm)	Cálcio (mg/L Ca <sup>2+</sup> )	Magnésio (mg/L Mg <sup>2+</sup> )	Sódio (mg/L Na <sup>+</sup> )	Potássio (mg/L K <sup>+</sup> )	Cloreto (mg/L Cl <sup>-</sup> )	Sulfato (mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Bicarbonato (mg/L HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Carbonato (mg/L CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	Fluoreto (mg/L F <sup>-</sup> )	Ortofosfato (mg/L P-PO4-3)	Nitrogênio Amomiacal (mg/L N-NH <sub>3</sub> <sup>4</sup> )	Nitrato (mg/L N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Silica (mg/L SiO <sub>2</sub> )	Ferro 2 <sup>+</sup> (mg/L Fe)	Alcalinidade Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Dureza Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	STD
259	<b>CA0341</b>	6,33	306	5,5	6,45	52,7	3,9	45,65	7,14	69,56	-	-	-	-	9,05	-	0,03	-	40,3	200,19
85	<b>CA0557</b>	6,73	1723	52,69	41,32	230	10,92	458,5	4,43	137,9	-	-	-	-	17,68	-	0,07	-	301,8	953,53
305	<b>CA0823</b>	6,92	464	20,45	3,82	85,19	3,9	67,99	9,98	150,1	-	-	-	-	2,98	-	0,15	-	66,84	344,6
747	<b>CA0541</b>	6,48	1237	15,73	24,84	93,78	4,88	257,4	24,33	251,4	-	-	-	-	3,82	-	0,71	-	141,6	676,96
83	<b>CA0555</b>	6,88	2070	53,48	59,48	49,16	17,16	552,7	4,8	186,7	-	-	-	-	7,16	-	0,21	-	378,5	930,86
228	<b>CA0560</b>	6,85	1386	37,75	48,73	81	9,9	330,3	7,04	192,8	-	-	-	-	4,47	-	0,09	-	294,9	712,07
253	<b>CA0592</b>	6,89	466	10,22	17,2	51,51	4,88	110,7	5,38	52,47	-	-	-	-	2,16	-	0,22	-	96,33	254,86
781	<b>CAC/CE 6</b>	6,52	784	16,48	19,07	104,8	7,88	169	6,74	105	-	-	-	-	22,94	-	0,1	-	119,7	454,33
782	<b>CAC/CE 7</b>	6,55	484	14,13	17,16	52,94	5,88	112,7	6,64	65,9	-	-	-	-	4,45	-	0,07	-	106	283,51
783	<b>CAC/CE 8</b>	6,1	631	9,42	12,87	99,07	6,88	124,3	19,57	92,75	-	-	-	-	18,79	-	0,07	-	76,52	385,4
693	<b>CAC/CE 17</b>	4,84	816	14,91	27,18	90,63	14,02	129,2	23,08	9,76	-	-	-	-	129,2	-	0,47	-	149,1	440,55
696	<b>CAC/CE 20</b>	6,42	831	31,39	37,9	71,8	9,9	181,6	3,77	156,2	-	-	-	-	9,91	-	0,05	-	134,5	505,24
703	<b>CAC 157</b>	5,24	192	3,14	4,29	28,85	2,91	42,74	8,44	19,53	-	-	-	-	4,45	-	0,48	-	25,51	116,68
543	<b>CA 0397</b>	6,67	419	29,82	12,4	31,03	7,88	40,8	15,46	134,4	-	-	-	-	10,41	-	0,01	-	125,6	283,23
458	<b>CA 0400</b>	5,72	584	10,99	14,3	75,73	16,1	102	44,19	44,81	-	-	-	-	22,03	-	0,03	-	86,33	331,46
548	<b>CA 0401</b>	6,66	571	16,48	12,4	71,8	16,1	92,28	42,25	62,24	-	-	-	-	20,84	-	ND	-	92,21	335,31
467	<b>CA0403</b>	6,36	568	14,91	11,2	85,13	5,88	109,8	30,81	42,32	-	-	-	-	26,99	-	0,05	-	83,39	327,92
457	<b>CA0404</b>	6,56	647	12,56	15,49	94,83	2,91	113,7	34,35	44,81	-	-	-	-	39,57	-	0,23	-	95,16	360,35
544	<b>CA0406</b>	6,22	388	29,82	10,49	29,93	4,88	44,68	18,27	77,17	-	-	-	-	19,96	-	0,05	-	117,7	235,15
795	<b>CA0407</b>	6,39	274	16,09	6,91	28,85	3,9	39,82	45,51	57,17	-	-	-	-	13,79	-	0,22	-	68,67	213,1

— Não analisado

Apêndice I – Parâmetros físico-químicos das amostras de águas subterrâneas da área de estudo, município de Caucaia (2º etapa, Novembro de 2006)

Nº do Poço	Especificação da Amostra	pH (a 25°C)	CE (µS/cm)	Cálcio (mg/L Ca <sup>2+</sup> )	Magnésio (mg/L Mg <sup>2+</sup> )	Sódio (mg/L Na <sup>+</sup> )	Potássio (mg/L K <sup>+</sup> )	Cloro (mg/L Cl <sup>-</sup> )	Sulfato (mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Bicarbonato (mg/L HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Carbonato (mg/L CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> )	Fluoreto (mg/L F <sup>-</sup> )	Ortofosfato (mg/L P-PO <sub>4</sub> -3)	Nitrogênio Amomiacal (mg/L N-NH <sub>3</sub> <sup>4</sup> )	Nitrato (mg/L N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Silica (mg/L SiO <sub>2</sub> )	Ferro Total (mg/L Fe)	Alcalinidade Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Dureza Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	STD
51	P01	6,99	858	29	31	125	4	220	41	108	ND	-	-	ND	16	46	ND	89	200	200
119	P02	8,00	2240	50	87	308	28	798	8	177	ND	-	-	ND	19	61	ND	145	488	488
233	P03	7,54	881	14	32	141	28	285	18	54	ND	-	-	ND	24	17	0,06	44	168	168
304	P04	6,54	665	13	24	96	27	190	62	20	ND	-	-	0,36	18	17	ND	16	132	132
815	P05	8,24	1275	22	40	144	4	279	117	222	ND	-	-	ND	2	54	ND	182	224	224
523	P06	8,15	835	10	12	146	3	150	25	187	10	-	-	ND	2	55	0,16	170	72	72
610	P07	7,67	1096	42	49	139	4	384	2	94	ND	-	-	0,02	3	50	ND	77	308	308
745	P08	8,05	545	14	8	73	3	79	10	168	ND	-	-	ND	0,1	52	ND	137	68	68
790	P09	8,28	537	6	5	92	3	57	32	143	10	-	-	ND	1	42	ND	133	36	36

ND – Não detectado

- Não analisado

Apêndice II – Parâmetros físico-químicos das amostras de águas subterrâneas da área de estudo, município de Caucaia (3º etapa, Setembro 2007)

Nº do Poço	Amostra	pH (a 25°C)	CE (mS/cm)	Cálcio (mg/L Ca+)	Magnésio (mg/L Mg+)	Sódio (mg/L Na+)	Potássio (mg/L K+)	Cloreto (mg/L Cl-)	Sulfato (mg/L SO4-2)	Bicarbonato (mg/L HCO3-)	Carbonato (mg/L CO3-)	Fluoreto (mg/L F-)	Ortofosfato (mg/L P-PO4-3)	Nitrogênio Amoniaco (mg/L N-NH3,4)	Nitrato (mg/L N-NO3-)	Silica (mg/L SiO2)	Ferro Total (mg/L Fe)	Alcalinidade Total (mg/L CaCO3)	Dureza Total (mg/L CaCO3)	STD (mg/L)
51	L1	7,88	438	3	8	111	5	61	8	158	5	0,6	0,13	0,03	3	34	ND	137	40	361
119	L2	7,87	730	13	9	174	11	148	4	182	15	0,5	0,12	0,02	2	40	0,03	174	68	557
233	L3	7,6	1121	21	50	179	23	283	2	232	ND	0,8	0,05	0,03	1,5	38	0,03	190	260	791
304	L4	7,23	476	8	12	95	8	78	2	168	ND	0,4	0,18	0,02	3	32	ND	137	72	374
815	L5	6,58	648	13	20	111	10	163	1	30	ND	0,3	0,18	0,02	19	26	ND	24	116	367
523	L6	5,65	988	18	30	163	25	247	2	30	ND	0,3	0,05	0,02	25	18	0,01	24	168	539
610	L7	6,18	1006	30	28	149	17	209	16	104	ND	0,3	0,13	0,03	15	41	ND	85	192	567
745	L8	6,9	2580	32	125	362	25	984	4	173	ND	0,5	0,02	0,02	12	51	ND	141	600	1717
790	L9	5,12	852	16	40	122	27	186	16	25	ND	0,3	ND	0,60	23	16	0,02	20	208	456
309	L10	6,4	1111	34	69	125	20	346	3	128	ND	0,3	0,17	0,02	0,3	21	ND	105	372	724
85	L11	7	1587	32	106	253	23	718	3	173	ND	0,4	0,01	0,02	3	38	0,01	141	520	1310
128	L12	8,26	690	11	7	143	9	114	5	177	15	0,5	0,11	ND	2	39	0,01	170	56	483
721	L13	7,5	605	16	16	86	16	112	2	69	ND	0,3	0,06	0,02	16	30	0,01	57	108	333
809	L14	6,93	760	21	24	109	16	163	2	89	ND	0,4	0,07	0,03	22	32	0,01	73	152	446
810	L15	6,23	892	24	28	105	16	184	7	79	ND	0,3	0,15	0,02	15	39	0,01	65	176	457
811	L16	7,53	974	16	30	179	8	201	11	256	ND	0,5	0,30	ND	1	43	ND	210	164	703
812	L17	7,03	902	21	31	126	16	205	4	108	ND	0,3	0,17	0,02	22	55	ND	89	180	533
813	L18	6,82	997	18	28	106	16	146	2	99	ND	0,4	0,11	0,02	21	31	0,01	81	160	435
814	L19	7,6	1156	8	16	289	10	321	2	182	ND	0,4	0,08	0,03	4	47	ND	149	88	832
R2	R2	7,47	230	3	7,68	26	3	49,4	3	34,5	ND	0,3	ND	0,03	0,51	19	0,02	28,28	40	127

ND - Não detectado

R2 – Lagoa (Parque Botânico)

Apêndice III - Parâmetros físico-químicos das amostras de águas subterrâneas da área de estudo, município de Caucaia (4º etapa, Março 2008)

Nº do Poço	Amostra	pH (a 25°C)	CF (µS/cm)	Cálcio (mg/L Ca+)	Magnésio (mg/L Mg+)	Sódio (mg/L Na+)	Potássio (mg/L K+)	Cloro (mg/L Cl-)	Sulfato (mg/L SO4-2)	Bicarbonato (mg/L HCO3-)	Carbonato (mg/L CO3-)	Fluoreto (mg/L F-)	Ortofosfato (mg/L P-PO4-3)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L N-NH3,4)	Nitrato (mg/L N-NO3-)	Silica (mg/L SiO2)	Ferro Total (mg/L Fe)	Alcalinidade Total (mg/L CaCO3)	Dureza Total (mg/L CaCO3)	STD (mg/L)
51	L1	7,43	494	6	5	100	6	66	25	168	5	1,0	0,11	0,01	ND	28	0,02	145	36	382
119	L2	7,46	836	10	12	152	7	168	20	202	5	1,0	0,11	0,01	2	32	0,02	174	76	580
233	L3	7,26	1289	40	38	161	12	296	9	222	5	1,0	0,08	0,01	2	34	0,01	190	260	785
304	L4	7,17	512	8	12	79	7	86	9	153	5	1,0	0,12	0,01	ND	27	0,02	133	72	359
815	L5	6,34	280	5	5	36	5	74	4	20	0	0,7	0,08	0,02	9	10	0,08	16	32	158
523	L6	5,95	1073	13	28	113	12	224	17	39	0	1,0	0,09	0,02	61	14	ND	32	148	508
610	L7	6,2	1084	29	29	130	10	224	26	99	0	0,8	0,11	0,05	41	31	0,01	81	194	589
745	L8	6,76	2920	66	93	370	25	880	4	143	5	1,0	0,14	0,02	48	47	ND	125	550	1634
790	L9	4,9	948	10	24	117	15	200	70	20	0	0,8	0,05	21,15	48	9	0,02	16	124	504
309	L10	6,54	1471	46	70	130	25	396	64	138	0	1,0	0,09	0,03	ND	36	0,07	113	408	870
85	L11	7,1	1830	44	50	192	25	480	5	148	5	0,8	0,11	0,02	5	45	0,02	129	320	955
128	L12	7,02	997	24	24	124	10	208	3	99	0	0,7	0,12	0,02	42	43	0,05	81	160	534
721	L13	7,2	672	14	18	77	9	130	7	69	0	0,7	0,07	0,01	36	34	0,01	57	112	362
809	L14	6,46	868	21	24	100	9	184	10	94	0	0,7	0,07	0,02	51	39	0,11	77	152	494
810	L15	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
811	L16	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
812	L17	8,00	708	8	8	130	7	118	16	160	12	1,0	0,10	0,01	2	29	0,01	152	52	461
813	L18	4,68	936	21	29	101	9	176	12	91	0	1,0	0,09	0,02	55	29	0,14	75	172	495
814	L19	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
562	L20	7,9	1051	6	8	198	7	248	6	163	10	1,0	0,097	0,02	ND	36	0,02	149	48	646

NC – Não Coletado

ND – Não Detectado