

**HIDROQUÍMICA E VULNERABILIDADE NATURAL À
CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO MUNICÍPIO DE
SÃO JOÃO DA BARRA, RJ**

FLAVIO COSTA DE CERQUEIRA

UNIVERSIDADE ESTADUAL NORTE FLUMINENSE - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ

NOVEMBRO 2014

**HIDROQUÍMICA E VULNERABILIDADE NATURAL À
CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO MUNICÍPIO DE
SÃO JOÃO DA BARRA, RJ**

FLAVIO COSTA DE CERQUEIRA

“Dissertação de Mestrado apresentado ao Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.”

Orientador: Prof^a. Maria da Glória Alves

Campos dos Goytacazes, RJ

Novembro 2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCT /UENF

55/2014

Cerqueira, Flavio Costa de

Hidroquímica e vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea no município de Campos dos Goytacazes, RJ / Flavio Costa de Cerqueira. – Campos dos Goytacazes, 2014.

xvi, 126 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia Civil. Campos dos Goytacazes, 2014.

Orientador: Maria da Glória Alves.

Área de concentração: Geotecnia.

Bibliografia: f. 108-118.

1. HIDROQUÍMICA 2. VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO 3. ÁGUA SUBTERRÂNEA I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia Civil II. Título

CDD 546.22

**HIDROQUÍMICA E VULNERABILIDADE NATURAL À
CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO MUNICÍPIO DE
SÃO JOÃO DA BARRA, RJ**

FLAVIO COSTA DE CERQUEIRA

"Dissertação de Mestrado apresentado ao Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil."

Aprovado em: 03/19/2014

Comissão Examinadora:



Prof. Gustavo de Castro Xavier (D.Sc., Geotecnia) – UENF



Prof. Rodrigo Martins Reis (D.Sc., Geotecnia) - UENF



Prof. José Augusto da Costa Gonçalves (D.Sc, Geologia Ambiental) - UFES



Orientadora: Prof^ª. Maria da Glória Alves (D.Sc., Geologia) – UENF

Dedico aos meus pais Fernando Romeiro de Cerqueira e Damacy Costa de Cerqueira, meus irmãos Filipe e Fernanda e minha noiva Simone Correa Azine.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por tudo.

Aos meus pais, pessoas maravilhosas que são minha fortaleza e exemplos de vida. Sem eles não seria nada.

A minha amada noiva que tanto me dá forças e me ajuda a superar as dificuldades.

A Profa. Maria da Glória Alves não só pela orientação e discussões técnicas fundamentais, mas também pela compreensão e carinho em todos os momentos.

Aos colegas e amigos Rayssa Mendonça, André Carneiro, Zélia Chrispim, Felipe Fraga e Lyndemberg Correia que tanto me ajudaram durante este percurso na UENF.

Aos meus amigos Geólogos Marcelo Favoreto Silva e Bernardo Smarzaro pela companhia e ajuda durante os trabalhos de campo.

E por fim, agradeço a todos aqueles, que o momento não me permite lembrar, mas que participaram de alguma forma ao longo caminho percorrido.

A todos muito obrigado, pois sem vocês nada disso seria possível.

“Não ganhe o mundo e perca sua alma;
sabedoria é melhor que prata e ouro..”

Boby Marley

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURA.....	ix
LISTA DE TABELA.....	xi
LISTA DE SIGLAS	xii
RESUMO.....	xiii
<i>ABSTRACT</i>	xv
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	1
2. OBJETIVO.....	2
2.1. Objetivo geral	2
2.2. Objetivos específicos	2
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	3
3.1. Histórico	3
3.2. Localização	5
3.3. Caracterização do meio físico	6
3.3.1. Clima	6
3.3.2. Geologia.....	7
3.3.3. Geomorfologia.....	13
3.3.4. Pedologia	14
3.4. Hidrogeologia	16
3.5. Abastecimento de água.....	21
4. REVISÃO DE LITERATURA	23
4.1. Águas Subterrâneas.....	23
4.2. Água e saúde	25
4.3. Hidroquímica e Qualidade da água subterrânea.....	26
4.3.1. Principais constituintes iônicos.....	29
Cátions	29
Ânions.....	31

4.4. Vulnerabilidade de Aquíferos.....	34
4.5. Fontes potenciais de contaminação da água subterrânea.....	36
5. METODOLOGIA.....	36
5.1. Levantamento de dados	37
5.2. Levantamento de Campo.....	37
5.3. Estudo Hidroquímico.....	42
5.4. Elaboração dos mapas de localização e distribuição de concentrações dos parâmetros estudados	44
5.6. Elaboração do Mapa de vulnerabilidade do aquífero livre	44
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
6.1. Levantamento e Cadastramento dos Poços	48
6.2. Hidroquímica das Águas dos Poços Rasos e Profundos.....	53
6.2.1. Parâmetros Físicos e Químicos.....	53
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	53
Condutividade Elétrica (CE)	56
Temperatura.....	62
6.2.2. Análises Laboratoriais das Águas dos Poços Rasos e Profundos .	65
Avaliação da Qualidade dos Resultados	66
Alcalinidade Total em CaCO ₃	67
Silício.....	70
Íons Principais das Águas Subterrâneas	71
Íons Tóxicos e Carcinógenos	86
6.2.3. Diagrama de Piper	88
6.2.4. Diagrama de Stiff	90
6.2.5. Classificação da Água para Irrigação	94
6.2.6. Vulnerabilidade Natural à Contaminação do Aquífero Livre.....	100
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	105
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108

ANEXOS 119

LISTA DE FIGURA

Figura 3-1 - Localização do Município de São João da Barra (UENF/LECIV/OFIGEO, 2014).	5
Figura 3-2 - Médias Mensais de Temperatura. Fonte: Estudo de Impacto Ambiental do Distrito Industrial de São João da Barra (2011).	6
Figura 3-3 – Carta estratigráfica da Bacia de Campos (Rangel et al, 1994)	12
Figura 3-4 – Extensas faixas pantanosas intercaladas às cristas arenosas ao longo dos cordões litorâneos, próximo ao poço raso P42.	14
Figura 3-5 - Perfil Hidrogeológico da Bacia de Campos. Fonte: Capucci (2003).	17
Figura 3-6 – (a) Poço raso tipo cacimba com bomba elétrica de baixa capacidade em Atafona; (b) Detalhe do poço raso tipo cacimba; (c) Poço raso com revestimento de PVC muito comum na região; (d) Poço raso com revestimento de PVC e bomba elétrica. Água utilizada para irrigação de hortaliças.	21
Figura 3-7 - (a) Poço raso com bomba manual rural; (b) Poço raso com bomba manual na Zona Rural; (c) Poço raso com bomba manual na sede de São João da Barra; (d) Visualização da bomba manual. Água utilizada para consumo humano... ..	22
Figura 3-8 – (a) Poço profundo da CEDAE com bomba submersa em Barra do Açu; (b) Poço profundo da CEDAE com bomba submersa em Barra do Açu.	22
Figura 5-1 - GPS, medidor de nível d'água, de pH, de condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e termômetro.	39
Figura 5-2 - Medição do nível d'água	40
Figura 5-3 - Medição da condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, pH e temperatura.	40
Figura 5-4 - Coleta de amostra em poço raso com bomba elétrica para análise laboratorial. É possível ainda observar o recipiente da análise físico-química.	41
Figura 5-5 - Amostra coletada em poço raso com bomba manual na sede do município de São João da Barra.	42
Figura 5-6 - Esquema de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos pelo método GOD (Foster et al, 1988).	47
Figura 6-1 - Localização dos Poços Rasos cadastrados no Município de SJB.	49
Figura 6-2 - Mapa de Localização dos Poços Profundos levantados no município de SJB.	52
Figura 6-3 - Classificação da água com base no STD das amostras dos poços rasos.	55

Figura 6-4 - Classificação da água dos poços profundos.....	55
Figura 6-5 - Fossas instaladas a poucos metros do poço P43.....	57
Figura 6-6 - Distribuição dos valores de CE no município de São João da Barra.	59
Figura 6-7 - Distribuição dos valores de pH no município de São João da Barra.	62
Figura 6-8 - Distribuição dos valores de temperatura no município de São João da Barra.	64
Figura 6-9 - Erro do balanço iônico para as 15 amostras dos poços rasos.....	66
Figura 6-10 - Erro do balanço iônico para as 12 amostras dos poços profundos.....	67
Figura 6-11 - Valores de Dureza das águas dos 15 poços rasos amostrados.	69
Figura 6-12 - Valores de Dureza das águas dos 13 poços profundos amostrados. ...	70
Figura 6-13 - Pode ser observado o cultivo de cítricos aos fundos, bem próximo ao poço P42.	73
Figura 6-14 – Amostra do poço raso P42 na localidade de Cajueiro e P40 na Estrada do Salgado, com alto teor de ferro.	76
Figura 6-15 - Diagrama de Piper para as amostras dos 15 poços rasos coletadas na área de estudo.	89
Figura 6-16 - Diagrama de Piper para as 12 amostras dos poços profundos analisados	90
Figura 6-17 - Diagrama de Stiff para as amostras coletadas nos poços rasos.	92
Figura 6-18 – Diagrama de Stiff para as amostras coletadas nos poços profundos.	94
Figura 6-19 - Plantação de coco irrigada com água proveniente de valas escavadas para captar água do aquífero livre.....	96
Figura 6-20 - A e B – Pequenas propriedades na localidade de Água Preta que utilizam água de poços rasos para irrigação de diversas culturas como laranja, mandioca, abacaxi, quiabo, etc. Poço P37 e P38 respectivamente	97
Figura 6-21 - Diagrama utilizado para a classificação para agricultura das águas de 15 poços rasos.	98
Figura 6-22 - Diagrama utilizado para a classificação para agricultura das águas de 11 poços profundos.....	99
Figura 6-23 - Mapas (A e B) de profundidade do nível freático, de acordo com a metodologia GOD.....	102
Figura 6-24 - Mapa de Vulnerabilidade Natural à Contaminação do Aquífero Livre no município de SJB.	104

LISTA DE TABELA

Tabela 3-1 - Formações aquíferas na região. Adaptado de Caetano (2000).	18
Tabela 3-2 - Diferentes denominações dos aquíferos que ocorrem na região. Caetano (2005).	18
Tabela 5-1 - Índices GOD e classes de vulnerabilidade (Foster et al, 1988)	46
Tabela 6-1 – Relação dos Poços Profundos localizados no Banco de Dados da OFIGEO/UENF.....	51
Tabela 6-2 - Classificação das Águas pelo STD	54
Tabela 6-3 - Classificação das águas segundo a dureza (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983).	68
Tabela 6-4 - Classificação das águas utilizando o diagrama SAR do U.S. Salinity Laboratory.	95
Tabela 6-5 - Classes USSL dos 14 poços rasos monitorados.	95
Tabela 6-6 - Classes USSL dos 11 poços profundos monitorados.	99

LISTA DE SIGLAS

CE – Condutividade Elétrica

CEDAE – Companhia de Água e Esgoto do Estado do Rio de Janeiro

CIPA – Complexo Industrial do Porto do Açu

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

DRM – Departamento de Recursos Minerais

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MS – Ministério da Saúde - Brasil

OFIGEO-UENF – Laboratório de Geologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

pH – Potencial Hidrogeniônico

SJB – São João da Barra/RJ

STD – Sólidos Totais Dissolvidos

Resumo da Dissertação Apresentada ao CCT-UENF como Parte dos Requisitos para a Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil.

HIDROQUÍMICA E VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DA BARRA, RJ

Flavio Costa de Cerqueira

Orientadora: Prof^a. Maria da Glória Alves

Setembro de 2014

Palavras Chaves: Hidroquímica, Vulnerabilidade Natural à Contaminação, Água Subterrânea.

RESUMO

O presente trabalho foi realizado no município de São João da Barra, Norte do Estado do Rio de Janeiro, que se localiza na Bacia Sedimentar de Campos, representando um dos maiores potenciais hídricos subterrâneos do Estado. Grande parte do município possui abastecimento público de água, realizado através da captação de água do Rio Paraíba do Sul e de poços tubulares pertencentes à CEDAE. Ainda assim, muitas residências, indústrias, comércios e agricultores da região, utilizam a água de cacimbas e pequenos poços, captando água do aquífero freático, utilizando-a de todas as formas (sanitários, limpeza, irrigação, cozinhar, beber, etc.). Este trabalho tem como objetivo o estudo Hidroquímico, da qualidade e da vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas do município. A metodologia utilizada consistiu primeiramente na realização de um cadastro georreferenciado de 45 poços rasos, onde foram mensurados o nível d'água e as características físicas e químicas *in situ* (pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, temperatura). Foram coletadas amostras em 15 poços rasos selecionados para realização da análise laboratorial. Os dados referentes a 23 poços profundos foram coletados no banco de dados da OFIGEO-UENF, mas apenas 12 disponibilizavam parâmetros químicos suficientes. Posteriormente, de posse dos dados referentes aos poços rasos e profundos, tornou-se possível à

realização do presente estudo hidroquímico, a partir da análise de cada um dos principais elementos, além da elaboração de mapas, gráficos e diagramas para classificação e melhor entendimento dos dados. Os resultados obtidos colocaram em destaque a contaminação do aquífero livre que apresenta elevados teores de nitrato, que não podem ser explicados por processos naturais. O principal problema quanto à qualidade das águas dos poços profundos refere-se aos elevados teores de ferro e manganês encontrados na maioria dos poços analisados, uma vez que nestes, não foram encontrados indícios de contaminação por atividade humana. Quanto à classificação Hidroquímica, pôde-se constatar que as águas dos poços rasos apresentam composição bastante diversificada devido grande diversidade de ambientes que influenciam na composição destas águas. Já as águas dos poços profundos foram classificadas em sua maioria como cloretadas sódicas. Foi realizado ainda o estudo da vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero livre, e os resultados mostraram que quase todo o território do município apresenta alta vulnerabilidade, alertando assim os órgãos competentes ao eminente risco de contaminação destas águas.

*Abstract of the Thesis Presented to CCT-UENF as a Partial Fulfillment of the
Requeriment for the Degree of Master of Civil Engineering*

***HIDROCHEMICAL AND NATURAL VULNERABILITY TO CONTAMINATION OF
THE GROUND WATER IN THE COUNTY OF SÃO JOÃO DA BARRA, RJ***

Flavio Costa de Cerqueira

September 2014

Adivisor D. Sc. Maria da Glória Alves

Key-Words: *Hydrochemical, Natural Vulnerability to Contamination, Ground Water.*

ABSTRACT

This work was conducted in the area of São João da Barra, north of the state of Rio de Janeiro, and it is located in Campos's Basin Sedimentary, representing one of the largest underground water potential of the State. Most part of the county has public water supply, realized by capturing water from the Paraíba do Sul River and tubular wells managed by CEDAE. Besides this, many houses, industries, businesses and farmers in the area use water from "cacimbas" and shallow wells, capturing the water table, using it to all forms (toilets, cleaning, irrigation, cooking, drinking, etc.). So, this work aims to study the hydrochemical, quality and natural vulnerability of the groundwater contamination in the county. The methodology consists firstly in the development of a georeferenced database of 45 shallow wells, where the water level and the physical and chemical characteristics (pH, electrical conductivity, total dissolved solids, and temperature) were measured in situ. Samples were collected in 15 shallow wells selected to perform the laboratory analysis. The data from 23 deep wells were collected in the OFIGEO-UENF's database, but only 12 had sufficient chemical parameters. Subsequently, in possession of shallow and deep wells' data, it became possible to carry out the present hydrochemical study, from the analysis of each of the main elements, besides the preparation of maps, charts, and diagrams for better understanding and data classification. The results highlighted the water

table's contamination, that have showed a high concentration of nitrates, which can't be explained by natural processes. The main problem regarding the quality of deep wells' water refers to high levels of iron and manganese found in most of the analyzes. No evidence of contamination by human activity were found in these wells. Regarding hydrochemistry classification, it was noticed that the waters of the shallow wells have big diversity of composition, due to the environments diversity that influence in the composition of these waters. The waters of the deep wells were classified in their majority as sodic chlorinated. Finally, the results about the natural vulnerability to contamination of the unconfined aquifer, showed that almost all the territory of the county has a high vulnerability, alerting to the imminent risk of these waters' contamination.

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

As águas captadas de poços rasos e profundos podem apresentar uma qualidade deficiente, seja por questões naturais intrínsecas ao meio ambiente, pela influência do material geológico, ou estar contaminada pelas diversas atividades humanas. A qualidade da água é tão importante quanto à quantidade, pois a utilização e consumo de água de baixa qualidade pode gerar diversos problemas indesejáveis, seja para saúde, agricultura e para o meio ambiente.

Devido à facilidade de acesso e baixo custo, o aquífero livre é comumente explorado pela população, que utiliza as suas águas sem qualquer critério e conhecimento. É fato que na grande maioria dos municípios brasileiros, pouco se conhece sobre a qualidade das águas subterrâneas, não existindo na maioria das vezes dados disponíveis sobre esse tema.

Dentro deste contexto se encontra o município de São João da Barra (SJB), localizado na Região Norte do Estado do Rio de Janeiro, onde o presente estudo foi realizado. Este município situa-se na Bacia Sedimentar de Campos que representa o maior potencial hídrico subterrâneo do Estado do Rio de Janeiro.

Recentemente a população do município de SJB aumentou consideravelmente com a construção de um grande complexo portuário e industrial, que promete transformar o município num importante instrumento de contribuição principalmente para a indústria de petróleo. Além disso, Atafona e Grussaí desempenham funções de veraneio, sendo evidente o crescimento populacional em SJB, tanto na indústria como na agricultura e turismo, e conseqüentemente a demanda por água está aumentado drasticamente.

Atualmente o município de São João da Barra utiliza a água subterrânea como uma das principais fontes de abastecimento a população. Isso pode ser evidenciado em várias localidades que possuem poços tubulares profundos, tanto em funcionamento como em fase de construção que são administrados pela CEDAE (Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro). Além disso, muitas residências, indústrias, comércios e agricultores da região, utilizam a água de cacimbas e pequenos poços perfurados manualmente (construídos sem nenhum tipo de proteção e preocupação) para captar a água do aquífero freático, utilizando-a

de todas as formas (sanitários, limpeza geral, irrigação de hortas e pomares, cozinhar, beber e etc.).

Desta forma fica evidente a necessidade de se realizar estudos relacionados à hidrogeologia deste município, a fim de produzir informações que possam contribuir para gestão desses recursos de forma mais consciente e racional. Assim foi proposto e realizado o presente estudo, com a finalidade de avaliar alguns parâmetros que podem influenciar a qualidade das águas subterrâneas.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo geral

O objetivo principal do presente trabalho foi o de realizar um estudo ambiental do município de São João da Barra, com ênfase nos recursos hídricos subterrâneos.

A geração destas informações poderá oferecer suporte às comunidades e gestores que lidam com os recursos hídricos subterrâneos.

2.2. Objetivos específicos

Durante o presente estudo pretende-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- Elaboração de base de dados georreferenciados de poços rasos e profundos;
- Estudo Hidroquímico das águas de poços rasos e profundos;
- Análise da potabilidade segundo a portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde;
- Elaboração de mapas de distribuição dos valores de pH, STD (Sólidos Totais Dissolvidos) e temperatura do aquífero livre, obtidos através das campanhas de campo.

→ Elaboração de Mapa de vulnerabilidade do aquífero livre utilizando o método GOD;

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

3.1. Histórico

A região norte-fluminense, onde se estende o território do atual Município de São João da Barra, era habitada pelos Goitacás. Quando, em 1534, o rei de Portugal dividiu o Brasil em capitanias hereditárias, ficaram essas terras compreendidas na Capitania de São Tomé, ou Paraíba do Sul, doada a Pero Góis da Silveira (IBGE, 2008). Pero Góis só chegou ao Brasil em 1539, tomou posse de seus novos domínios e iniciou a construção de um aldeamento, que recebeu, em 1540, a denominação de Vila da Rainha. Essa povoação transformou-se mais tarde na Vila de Itabapoana, sede de um dos Distritos do atual Município (IBGE, 2008).

Estabelecido o aldeamento, o donatário cuidou do desenvolvimento de suas terras, promovendo culturas de cana-de-açúcar, mediante distribuição de mudas trazidas da Capitania de São Vicente (IBGE, 2008). Após essas primeiras medidas e no propósito de ampliar as possibilidades econômicas do núcleo, Pero Góis voltou a Portugal, em busca do material necessário à construção de engenhos para a fabricação de açúcar. Ao regressar, no entanto, encontrou as terras em abandono. O administrador por ele escolhido e os colonos haviam se retirado da região, intimidados pelos constantes ataques dos índios. Ainda assim, tentou Góis reorganizar suas plantações, mas, insatisfeito com os resultados de seus esforços e desiludido de fazer reviver a Vila da Rainha, retirou-se para a Europa (IBGE, 2008).

Voltaram os Goitacás a ocupar a terra abandonada, até serem, mais tarde, expulsos pelas expedições de bandeirantes; estas, no local onde hoje se ergue a Cidade estabeleceram um "pouso de tropas", iniciando o repovoamento da região. Por volta de 1630, espalhada a notícia da riqueza do solo, afluíram novas levas de colonizadores, que se fixaram nas imediações do primitivo "pouso de tropas" e da capela erigida nas cercanias e dedicada a São João Batista da Barra (IBGE, 2008).

Os sucessores de Pero Góis da Silveira, em face do insucesso da colonização, haviam, já então, renunciado à Capitania. Parte desta, compreendendo o local onde mais tarde seria fundada a Vila de São João da Praia, fora doada, em 1627, a Antônio Pacheco Caldeira, Antônio de Andrade e Domingos Pacheco; dessa distribuição resultou o novo surto de prosperidade (IBGE, 2008). A partir dessa época, verificou-se maior afluxo de colonos, estenderam-se as áreas exploradas, surgiram novas plantações, principalmente de cana-de-açúcar. Os autores divergem em relação à data da emancipação do Município, opinando uns pelo ano de 1674 e outros pelo de 1676 (IBGE, 2008).

Topônimo do município é igualmente objeto de dúvida, afirmando alguns haver sido criado com a atual denominação, assegurando outros ser São João da Praia a designação oficialmente adotada. Fato é que o ritmo de progresso recebeu grande impulso, até que, por Decreto de 1º de junho de 1753, o Município foi anexado à Capitania do Espírito Santo, da qual só veio a separar-se para integrar a Província Fluminense, por força de Lei ou Carta de Doação de 31 de agosto de 1832 (IBGE, 2008).

O município de São João da Barra possui, segundo o Censo Demográfico do IBGE de 2010, 32.747 habitantes, dos quais 7.057 residindo em áreas rurais, sendo que o principal distrito rural de SJB é o 5º Distrito, justamente aquele onde está sendo construído o CIPA (Complexo Industrial do Porto do Açú). Registre-se que a queda da população rural de SJB foi vertiginosa e contínua de 45.894 habitantes em 1970 para 7.054 em 2010.

De acordo com o Censo Agropecuário de 2006 há em SJB 1.627 trabalhadores ocupados em Estabelecimentos Agropecuários. Os dados sobre utilização das terras mostram a preponderância da pecuária, com 6.450 ha de pastagens naturais e 3.060 ha de pastagens plantadas. As lavouras temporárias somam 2.250ha e as lavouras permanentes apenas 329 ha. A maioria dos produtores são proprietários, 682, mas há ainda 9 arrendatários, 3 parceiros e 13 ocupantes. SJB é 2º maior produtor de abacaxi do estado do Rio, com 200ha plantados e uma produção anual de 4.600.000 frutos, segundo a Pesquisa Agrícola Municipal do IBGE de 2009. A importância de São João da Barra para a produção agrícola estadual era muito maior antes da emancipação de São Francisco do

Itabapoana, que ficou com a maior parte da área agrícola do antigo município de São João da Barra e hoje destaca-se na produção de cana, abacaxi, mandioca entre outros produtos (AGB - Associação dos Geógrafos Brasileiros, 2011).

3.2. Localização

O estudo está sendo desenvolvido no Município de São João da Barra, pertencente à Microrregião de Campos dos Goytacazes e à Mesorregião Norte Fluminense do Estado do Rio de Janeiro, que fica a aproximadamente 334 Km de distância da capital do estado, possuindo 458,611 Km² de território (IBGE, 2010). O município faz divisa a sul e oeste com Campos dos Goytacazes, ao norte com São Francisco do Itabapoana e a leste com o Oceano Atlântico (Figura 3-1) e divide-se em seis distritos (Sede, Atafona, Grussaí, Cajueiro, Pipeiras e Barcelos).

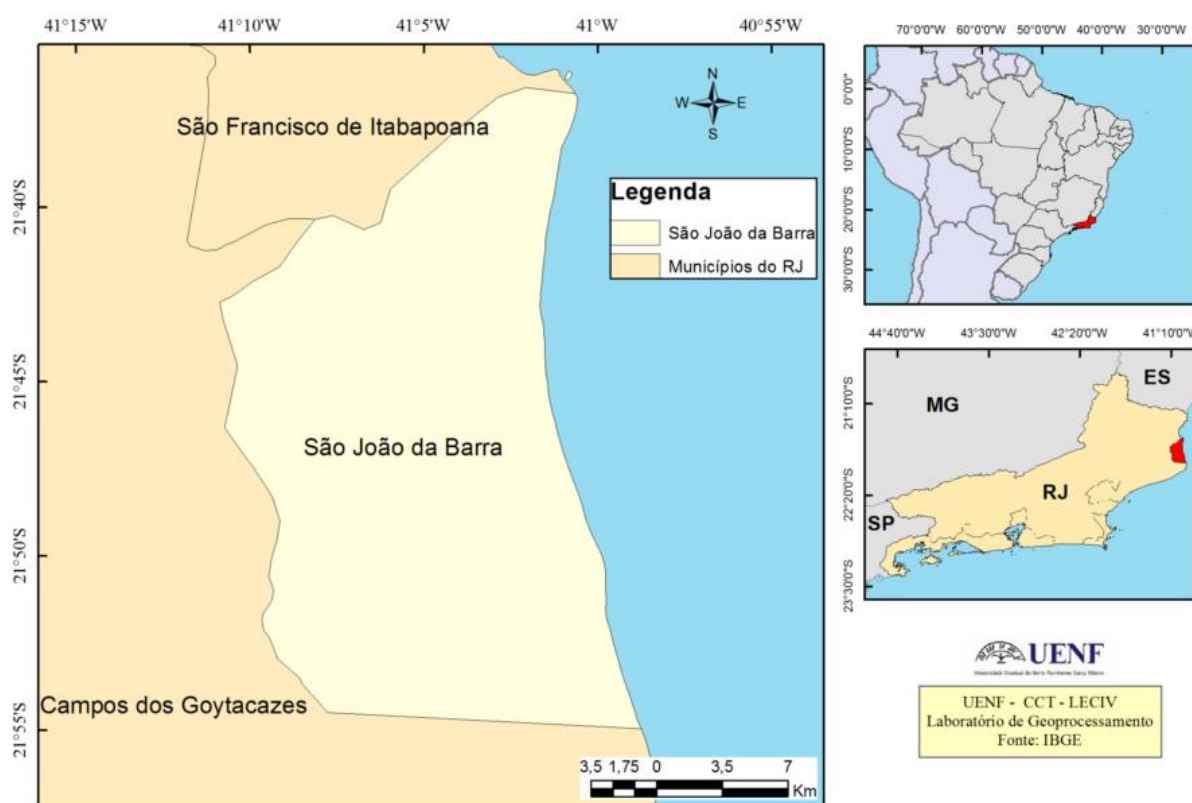


Figura 3-1 - Localização do Município de São João da Barra (UENF/LECIV/OFIGEO, 2014).

3.3. Caracterização do meio físico

3.3.1. Clima

Segundo o EIA - Estudo de Impacto Ambiental do Distrito Industrial de São João da Barra (2011), o clima da região é tropical quente e semiúmido (de quatro a cinco meses secos), sendo um resultado de fatores estáticos (localização geográfica e topografia) e dinâmicos (massas de ar). Os fatores dinâmicos que afetam o clima são de micro, meso e grande escala, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e as Frentes Frias, principais responsáveis pela precipitação na região, o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e o Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN) que, depende de suas posições, ocasionam grandes períodos de estiagem (MINUZZI *et. al.*, 2007).

Com base no Mapa Climático de Precipitação Pluviométrica Acumulada Anual (1931 – 1990) do INMET (2010), observa-se na região um total de chuvas da ordem de 1200 mm por ano, e a ocorrência de aproximadamente 130 dias de chuva por ano.

De acordo com os registros das estações meteorológicas do Aeroporto de Campos, Presidente Kennedy e MPX – Água Preta (Figura 3-2), obtidos no Estudo de Impacto Ambiental do Distrito Industrial de São João da Barra (2011), as médias mensais de temperatura apresentam um padrão sazonal, sendo maiores no verão, em torno de 27^o C, e menores no inverno, em torno de 21^o C.

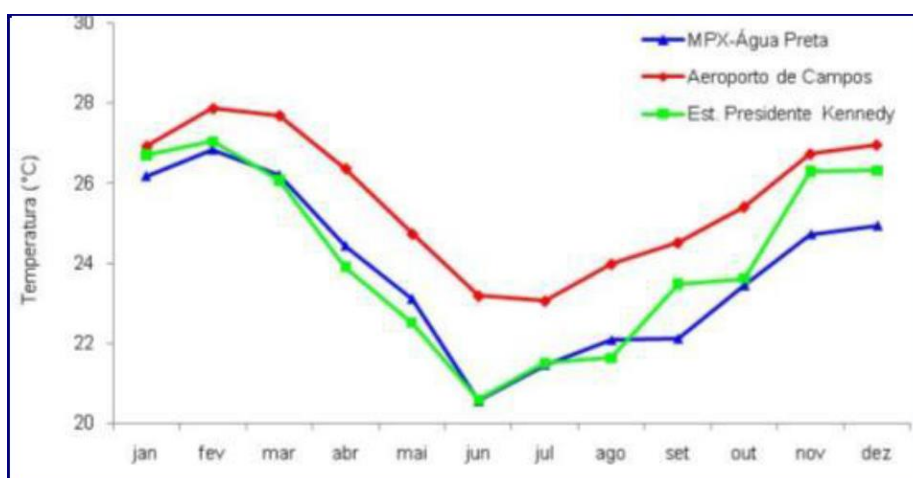


Figura 3-2 - Médias Mensais de Temperatura. Fonte: Estudo de Impacto Ambiental do Distrito Industrial de São João da Barra (2011).

3.3.2. Geologia

De acordo com Projeto Rio (CPRM, 2001) na região costeira do Estado do Rio de Janeiro onde o município de São João da Barra se insere, ocorre uma série de ambientes de sedimentação quaternária, associados a sistemas deposicionais de origem continental e transicional/marinho. Este conjunto faz contato, para o lado continental, com rochas do embasamento de diferentes litologias, e para o lado oceânico com uma ampla plataforma continental constituída por uma sedimentação marinha quaternária, onde ocorrem depósitos relictos e modernos que repousam discordantemente sobre as unidades estratigráficas terciárias da Bacia de Campos.

O desenvolvimento desta planície costeira foi, em grande parte, guiado pelas direções estruturais do embasamento, que exerceram controle sobre a formação de baías e sobre a disposição dos remanescentes rochosos interiores às antigas baías que passaram a receber sedimentos provenientes das terras altas. A parte interna da planície é marcada pelos vales de fundo plano, preenchidos por sedimentos fluviais grosseiros, que se intercalam com depósitos coluvionares de encosta, acumulados no piemonte, compondo um amplo sistema de leques aluviais coalescentes que nas suas porções distais se interdigitam com sedimentos deltaicos, lagunares e marinhos (CPRM, 2001).

Instalados parcialmente sobre os depósitos continentais ocorre um complexo de ambientes resultantes de processos costeiros afetados pelas variações que o nível relativo do mar sofreu no Quaternário, controladas pela glácio-eustasia, que fizeram com que a planície costeira evoluísse para leste (CPRM, 2001)

Como visto no mapa Geológico do Projeto Rio (CPRM, 2001) no Anexo I, a área do município de São João da Barra é coberta em sua totalidade por Depósitos de idades Holocênicas. Apoiado, em parte, nos depósitos pleistocênicos e nas litologias do Grupo Barreiras, desenvolveu-se na região costeira durante o Holoceno, um complexo de ambientes deposicionais compreendendo depósitos flúviolagunares e depósitos praias marinhos e/ou lagunares.

De maneira geral, esses depósitos estão relacionados aos processos costeiros associados ao auge da última fase transgressiva do nível relativo do mar e sua posterior regressão. O evento possibilitou a formação de uma nova barreira arenosa próximo à antiga planície costeira pleistocênica, assim como a ingressão

marinha pelos vales preexistentes, restabelecendo boa parte dos sistemas lagunares presentes na costa que, acompanhando a posterior progradação da barreira, evoluíram para um conjunto de ambientes sedimentares (CPRM, 2001).

A ilha-barreira holocênica que constitui a geologia predominante no município (Anexo I) é composta por fácies praias marinhas com recobrimento eólico. As fácies praias marinhas são constituídas por areias quartzosas esbranquiçadas, finas a médias, bem selecionadas, apresentando estratificação plano-paralela com mergulho suave em direção ao mar. O pacote eólico que a recobre é constituído por areias com características semelhantes, de granulometria mais fina e que se apresentam na forma de depósitos eólicos mantiformes, quando ocorrentes muito próximos à linha de costa, ou na forma de dunas transgressivas, quando mais interiorizadas (CPRM, 2001).

Segundo Martin et al (1997) estes depósitos de areias marinhas holocênicas atingem vários quilômetros de largura próximos a desembocadura fluviais mais importantes, como as associadas ao rio Paraíba do Sul. Os depósitos praias lagunares, ocorrentes na região de retrobarreira, são formados pela sedimentação subaérea que margeiam os corpos aquosos costeiros. Encontram-se constituídos por sedimentos arenosos com boa maturidade textural e mineralógica, exceto quando integram margens internas adjacentes ao embasamento, quando apresentam areias arcólicas ou líticas, ricas em seixos e cascalhos. Estes depósitos encontram-se interdigitados com depósitos fluviais ou depósitos de fundo lagunar (CPRM, 2001).

Segundo Martin et al (1997), os sistemas lagunares holocênicos ocorrem nas zonas baixas, separando terraços arenosos pleistocênicos e holocênicos ou nos cursos inferiores de grandes vales não-preenchidos por sedimentos fluviais, sendo constituídos por sedimentos silticos e/ou areno-argilosos ricos em matéria orgânica, podendo frequentemente conter grande quantidade de conchas de moluscos de ambientes lagunares. Por ocasião da fase de submersão, o litoral foi invadido pelo mar, formando sistemas lagunares que se estabeleceram por detrás das ilhas-barreiras como nas desembocaduras do rio Paraíba do Sul ou nos cursos inferiores de rios, como nos casos de Macaé e São João. Após 5.1 ka, em consequência do abaixamento do nível relativo do mar, essas lagunas tenderam à ressecção, ao

mesmo tempo em que eram colmatadas e substituídas por áreas pantanosas. As subidas do nível marinho, promoveram a reocupação parcial dessas lagunas.

Evolução Geológica da Bacia de Campos

A evolução Geológica da Bacia de Campos envolve diferentes estágios, compreendendo o rifteamento de um supercontinente, a formação da crosta oceânica e o desenvolvimento do oceano Atlântico Sul. Sua origem foi dominada pelos esforços distensivos que romperam a crosta do Gondwana no Cretácio Inferior criando um sistema de *rift vales*.

Assim como as demais bacias marginais leste brasileiras, a bacia de Campos tem sua gênese relacionada a evolução tectônica do Oceano Atlântico. Asmus e Guazelli (1981) classificaram os estágios de evolução da margem continental brasileira em: estágio *pré-rift valey*, *rift valey*, proto oceano e estágio oceânico.

A primeira carta estratigráfica da bacia foi elaborada por Schaller (1973), com base nas informações de poucos poços exploratórios. A estratigrafia da bacia de Campos esta diretamente relacionada com a sua história da evolução e sedimentação da margem continental sudeste, que é caracterizada pela combinação de eventos tectônicos e inúmeros mecanismos de sedimentação (Figura 3-3).

O embasamento Pré-Cambriano apresenta natureza gnáissica, comparável aos aflorantes no estado do Rio de Janeiro. A Formação Cabiúnas designa os derrames basálticos eocretáceos que constituem o assoalho do preenchimento sedimentar da bacia de Campos (Rangel et al, 1994) Essas rochas cristalinas constituem o embasamento da bacia.

Os primeiros sedimentos depositados na bacia de Campos pertencem a Formação Lagoa Feia, que abrange um intervalo de tempo que vai do final do Neocominiano – Barremiano até o Albiano basal. No topo da formação Lagoa Feia estão depositados coquinas de ostracóides sobre os altos estruturais. Estas rochas se encontram no Membro Coqueiros e tem de 15 a 50 m de espessura. O membro Retiro é composto por espessas camadas evaporíticas contendo halita hialina e anidrita branca. Estas camadas estão remobilizadas, mostrando um padrão de estruturação (Rangel et al, 1994).

Em contato concordante com a Formação Lagoa Feia se encontra a Formação Macaé que consiste de calcirruditos, calcarenitos e calcilitos, representando os primeiros sedimentos essencialmente marinhos da bacia (Figueiredo et al, 1983 apud Souza Cruz, 1995).

O Grupo Campos foi proposto por Schaller (1973) com formação, para designar a seção clástico-carbonática sobreposta aos carbonatos da Formação Macaé, que compreende as Formações Ubatuba, Carapebus e Emborê.

A Formação Macaé é recoberta em discordância pela Formação Ubatuba, que é constituída de folhelhos e leques submarinos arenosos, os quais preenchem cânions com conglomerados e areias turbidíticas (Bruhn & Walker, 1995 apud Alves, 2002).

Intercalados com os pelitos da Formação Ubatuba, a Formação Carapebus é caracterizada por um arenito fino a conglomerático, resultante da atuação de correntes de turbidez em ambiente de talude e bacia oceânica, do Turoniano ao Holoceno. A Formação Emborê apresenta-se lateralmente interdigitada com a Formação Ubatuba e é composta por pelitos, especialmente folhelho cinza escuro esverdeado, argila e margas cinza-clara, calcilito e diamectito cinzento, que foram depositados em leques costeiros e plataforma carbonáticas (Silva et al, 2001). Foram individualizados três membros nesta Formação: Membro São Tomé, Membro Siri e Membro Grussaí.

Durante o Terciário, o aumento das taxas de sedimentação resultou em uma intensa progradação da margem continental. Este período é caracterizado por atividades tectônicas que geraram mudanças estruturais e diversas discordâncias erosivas, principalmente, no desenvolvimento do Leque Submarino de São Tomé (Gorini et al, 1993). Foi então formada uma espessa seção sedimentar, depositada em ambiente marinho aberto de águas profundas e oxigenadas, constituída de folhelhos, margas e localmente calcilitos e turbiditos arenosos com espessura variável. Estes turbiditos constituem os principais reservatórios de campos gigantes, de águas profundas da bacia de Campos (Souza Cruz, 1995)

A partir do Neo-Oligoceno a taxa de sedimentação ultrapassou a taxa de subsidência, o que ocasionou uma rápida progradação terrígena com intenso *bypass*, de sedimentos finos para águas profundas (Souza Cruz, 1995). Durante o

Oligoceno Inferior, um importante evento transgressivo, foi responsável pela formação de uma camada condensada de folhelhos afossíferos, denominada de Marco Azul (Rangel et al, 1995).

O Mioceno foi marcado também por intensa progradação sedimentar da bacia. As oscilações eustáticas do período, aliadas à tectônica do sal levaram ao desenvolvimento de uma sequência bem espessa. No final deste período, ocorreu um evento de migração do sal por toda a bacia, desenvolvendo falhas de crescimento de grandes rejeitos, colapsos de grabens e a formação de feições diapíricas proeminentes que atravessam os sedimentos mioênicos da bacia (Reis, 1994).

Durante o Mioceno médio / Mioceno Superior, através de um rebaixamento significativo do nível do mar, foi formada uma discordância erosional, denominada Marco Cinza, que demarca o fim da intensa progradação sedimentar. Sobre esta discordância, formando feições de *onlap*, é identificada uma sequência de carbonatos de plataforma, denominada Membro Grussaí da Formação Emborê (Viana et al, 1998).

A partir do Quaternário, as bordas da plataforma e do talude continental sofreram um período de intensa erosão associada à formação de cânions submarinos, ravinamentos e deslizamentos, observados até hoje. Toda a sedimentação terrígena resultante desta erosão, encontra-se depositado sobre o Platô de São Paulo e sobre o sopé continental adjacente (Alves, 2002).

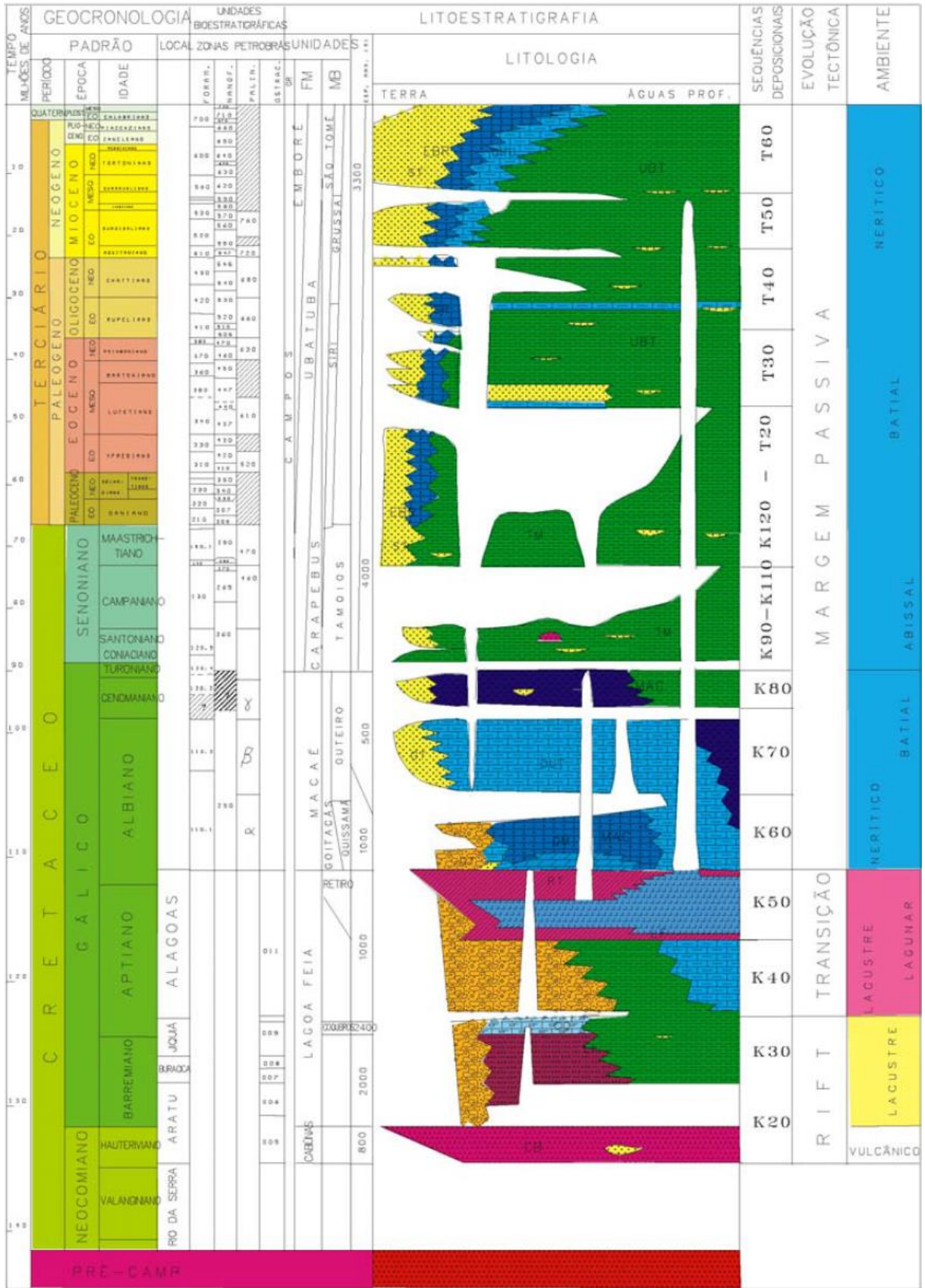


Figura 3-3 – Carta estratigráfica da Bacia de Campos (Rangel et al, 1994)

3.3.3. Geomorfologia

De acordo com o Projeto Rio (CPRM, 2001) a Unidade Geomorfológica predominante em quase todo território do município de São João da Barra é denominada de Feixes de Cordões Arenosos do Rio Paraíba do Sul.

A sedimentação marinha da planície deltaica do rio Paraíba do Sul é constituída por um empilhamento de feixes de cordões litorâneos de origem marinha, a sul da desembocadura do rio Paraíba do Sul, ou de origem fluvial e marinha, a norte da desembocadura. Essa diferenciação do padrão sedimentar nas duas porções da planície deltaica decorre do fato de que ocorre um predomínio no sentido da corrente de deriva litorânea de sul para norte. O efeito de molhe hidráulico, promovido pela descarga fluvial do rio Paraíba do Sul, acarreta deposição marinha ao sul da foz e deposição fluvial e marinha a norte da foz (Martin et al, 1984, apud CPRM, 2001).

A planície costeira estende-se entre as localidades de Farol de São Tomé e Guaxindiba, ao longo do litoral norte fluminense. A sequência de cordões arenosos (121) registra idade holocênica (Martin et al, 1997), sendo que, junto ao Farol de São Tomé, consiste em um único cordão litorâneo (antiga ilha-barreira), que isola do oceano uma extensa planície fluviolagunar alagada, que caracteriza esse trecho da Baixada Campista. No trecho mais próximo à desembocadura do rio Paraíba do Sul, os feixes de cordões arenosos registram uma sucessão de truncamentos que evidenciam o caráter dinâmico dos eventos erosivos e deposicionais numa zona de interface entre processos fluviais e marinhos. A localidade de Atafona, situada na foz do rio Paraíba do Sul, foi parcialmente destruída por ação da erosão marinha. Essa planície costeira está delimitada, a norte, pelos tabuleiros de São Francisco de Itabapoana (211), e, a oeste, pelos terrenos alagados da planície lagunar ou fluviolagunar (124) da Baixada Campista próximo ao limite oeste do município de São João da Barra com Campos dos Goytacazes. A escassa rede de canais segue encaixada nas depressões intercordões, paralelamente à linha de costa, até desaguar em pequenas lagunas, tais como as lagoas Salgada e das Ostras (CPRM, 2001).

Segundo Tomaz (2005), uma característica marcante deste setor é a presença de extensas faixas pantanosas intercaladas às cristas arenosas ao longo dos cordões litorâneos situados a norte do rio Paraíba do Sul (Figura 3-4). Segundo

Silva (1987), esta intercalação se deve ao isolamento de corpos d'água pela incorporação ao continente de ilhas-barreiras, cujo desenvolvimento está associado ao crescimento de barras submarinas até a superfície.



Figura 3-4 – Extensas faixas pantanosas intercaladas às cristas arenosas ao longo dos cordões litorâneos, próximo ao poço raso P42.

Em anexo pode ser observado o Mapa dos principais domínios geomorfológicos da planície costeira do rio Paraíba do Sul, elaborado por Tomaz (2005) (ANEXO II) e imagem do Google Earth (ANEXO III), com a localização dos poços rasos cadastrados, onde ficam bastante evidentes as características geomorfológicas dos cordões litorâneos aqui descritos.

3.3.4. Pedologia

A seguir estão descritas as principais classes de solos presentes na área do município de São João da Barra, de acordo com o Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2001).

Podzol Hidromórfico Distrófico (HPd2):

Essa é a classe de solo predominante no território do município, que compreende solos minerais hidromórficos, em geral de textura arenosa, ao longo de todo o perfil, com horizonte B espódico precedido por horizonte E álbico, ou

raramente A (Camargo et al, 1987). São, por tanto, solos com nítida diferenciação de horizontes, com sequência do tipo A-E-Bh-C (pode ocorrer também horizonte Bhs ou Bs).

Estão relacionados aos sedimentos arenosos de origem marinha que constituem os cordões litorâneos dispostos em faixas sub paralelas ao longo da costa, cuja ocorrência é mais significativa de Mangaratiba para o norte, com destaque para a região do delta do Paraíba, onde ocupam áreas mais amplas. Em sua maior parte, são recobertos por vegetação de restinga do tipo campestre ou arbóreo-arbustiva. Com menos frequência, encontram-se sob floresta de restinga, como no trecho entre Barra de São João e Armação dos Búzios, além de outras áreas bem pouco expressivas. São utilizados, em geral, como pastagem natural de baixa qualidade, além de pequenos plantios de coco.

Glei Pouco Húmico Salino Solódico (GPs1):

Esses solos são muito semelhantes aos Gleis Húmicos, dos quais se diferenciam por apresentarem horizonte superficial menos desenvolvido, do tipo A moderado (Camargo et al, 1987), com uma tendência geral a encontrarem-se em áreas relativamente menos em charcadas, mas ainda com fortes restrições de drenagem, observadas nas lagoas intercordões que podem ser observadas em algumas localidades do município.

Solos Aluviais Eutróficos (A e Z):

Essa classe compreende solos minerais pouco evoluídos, desenvolvidos a partir de depósitos aluviais recentes, referidos ao Quaternário. Caracterizam-se por apresentarem estratificação de camadas, sem relação genética entre si. Têm sequência de horizontes do tipo A-C, eventualmente com evidências de gleização em sub superfície.

As áreas de ocorrência mais expressiva desses solos são observadas no baixo curso do rio Paraíba do Sul, onde às vezes apresentam caráter solódico e mais raramente sódico ou salino, e nos altos cursos dos rios da Baixada Litorânea, sob vegetação de floresta sub perenifólia ou perenifólia de várzea, respectivamente, em geral associados a Gleissolos.

3.4. Hidrogeologia

Todo o território do município de São João da Barra localiza-se na porção emersa da Bacia Sedimentar de Campos que é composta basicamente por sedimentos continentais e marinhos de idade Terciária, que se encontram parcialmente recobertos por sedimentos quaternários. Esta região possui a maior Favorabilidade Hidrogeológica do Estado do Rio de Janeiro (BARRETO et al, 2001).

Segundo Capucci (2003), a presença de água subterrânea na Bacia de Campos está diretamente relacionada à sua evolução geotectônica, onde os principais lineamentos foram determinantes pela existência de falhas e basculamentos do cristalino na direção NE/SW. A reativação por falhas em direções aproximadamente perpendiculares a estes lineamentos levou ao reconhecimento de três blocos tectônicos: Altos Estruturais de São Francisco do Itabapoana (Norte), Quissamã (Sul) e, no centro, o bloco rebaixado de Campos e São João da Barra (

Figura 3-5).

Capucci (2003) afirma que em 23 anos de pesquisas hidrogeológicas e construção de poços tubulares profundos, os melhores resultados relacionados à vazão obtida e qualidade de água, estão relacionados à Bacia de Campos, na porção sul do Rio Paraíba do Sul e cita ainda a ocorrência de quatro sistemas aquíferos que ocorrem em Campos dos Goytacazes.

O mesmo autor sugere ainda que as características positivas encontradas em tal região estão relacionadas à evolução tectônica da Bacia, onde os grandes lineamentos geológicos que ocorrem no Sudeste Brasileiro deram origem a diversas falhas de basculamento na direção NE/SW, cuja profundidade de ocorrência já foi observada em até 1963 metros de pacote sedimentar.

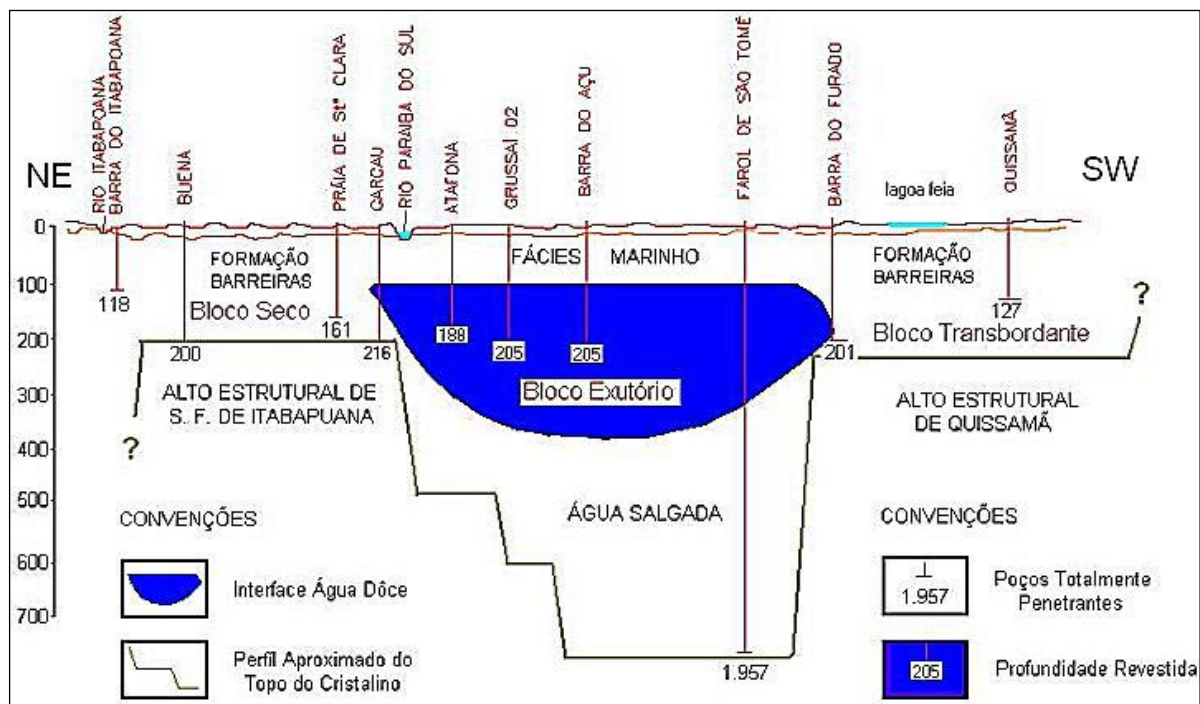


Figura 3-5 - Perfil Hidrogeológico da Bacia de Campos. Fonte: Capucci (2003).

Ao avaliar o potencial hidrogeológico da Bacia de Campos como uma opção para o abastecimento, Caetano (2000) delimitou quatro sistemas aquíferos mais representativos na região na região, sendo três sedimentares e um fraturado: Aquífero Fraturado, Terciário Formação Barreiras, Terciário Formação Emboré e Quaternário Deltáico, cujas características principais estão representadas no Tabela 3-1 abaixo.

Tabela 3-1 - Formações aquíferas na região. Adaptado de Caetano (2000).

Sistema	Composição	Capacidade Específica (m ³ /h/m)	Vazão (m ³ /h)
Aquífero Fraturado	Rochas Pré Cambrianas	0,021 a 1,35	5,73
Aquífero Barreiras	Formação Barreiras	1,09 a 2,45	34,55 e 47,17
Aquífero Emborê	Formação Emborê	3,5	70,93
Aquífero Quaternário	Solos residuais,	90	139,67
Deltáico	areias, cascalhos, argilas e siltes		

Estudos posteriores como o mapa de favorabilidade hidrogeológica (CPRM, 2001), Caetano (2000) e Capucci (2003), apresentam diferença na nomenclatura dos aquíferos da região, bem como subdivisões do aquífero denominado Terciário Barreiras, cujos comparativos são apresentados na Tabela 3-2.

Tabela 3-2 - Diferentes denominações dos aquíferos que ocorrem na região. Caetano (2005).

Caetano, 2000	(CPRM, 2001)	Capucci, 2003
Terciário Formação Barreiras	Formação Barreiras	F. Barreiras Primitiva
	São Tomé I	Formação Barreiras Recente
	São Tomé II	
Terciário Formação Emborê	Emborê	Emborê
Quaternário Deltáico	Flúvio Deltáico	Aluviões de Campos

As principais características dos aquíferos existentes estão relacionadas no Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2001) como sendo:

Aquífero Flúvio Deltáico: Aquífero livre, localizado a sudoeste da cidade de campos, na margem direita do Rio Paraíba do Sul, em uma área de aproximadamente 304 Km². É constituído por sedimentos aflorantes de idade Quaternária, compostos por areias e arenitos de granulometria fina a média, com matriz siltosa e bandas argilosas, com espessuras variando entre 60 e 90m,

sobreposto ao embasamento cristalino e sedimentos mais antigos. As águas são de boa qualidade, ocasionalmente ferruginosas.

Aquífero Emborê: É um aquífero confinado, constituído por sedimentos não aflorantes de possível idade terciária, compostos por arenitos conchíferos variados, com feldspato; argilitos impuros e argilas orgânicas, com espessuras de até 200m, localiza-se nas proximidades do Farol de São Tomé, ocorrendo em uma área de aproximadamente 350m². As águas apresentam boa qualidade e comumente baixo teor de sólidos totais dissolvidos.

Aquífero São Tomé II: É um aquífero confinado, totalmente coberto por sedimentos quaternários, com espessura de aproximadamente 230m, sendo que nas proximidades de Farol de São Tomé pode atingir até 2.000m, localiza-se em toda a parte leste da porção emersa da bacia de Campos, em uma área de aproximadamente 910 km². É composto por arenitos avermelhados, lateríticos com argilas cálcicas, sobre arenitos consolidados argilosos. As captações deste aquífero normalmente encontram-se entre 80 e 160 m de profundidades. Ocorrem águas ferruginosas com valor de sólidos totais dissolvidos entre 200 e 600 mg/l.

Aquífero São Tomé I: Ocorre em uma área de aproximadamente 380 km², formando uma faixa alongada no sentido NE-SW, na parte central da porção emersa da Bacia de Campos. É constituído por sedimentos não aflorantes, de idade terciária, totalmente recobertos por sedimentos quaternários. Esse sistema é composto por arenitos avermelhados, lateríticos com argilas calcíticas, sobre arenitos consolidados argilosos. É um aquífero confinado com espessura de até 160 metros, sobreposto ao embasamento cristalino. Em relação a qualidade, podem ocorrer águas ferruginosas e os STD variam entre 500 e 1.800 mg/l.

Aquífero Barreiras: Ocorre em uma área de aproximadamente 1.630 km², localizado na borda oeste da Bacia de Campos, é constituído por sedimentos terciários, aflorantes, compostos por argilas lateríticas e areias com óxido de ferro. É um aquífero livre e com águas normalmente ferruginosas.

Cabe ainda ressaltar, que na maior parte do território do município de São João da Barra, os sedimentos da Bacia de Campos encontram-se recobertos por depósitos marinhos, com espessura média de 40m (podem chegar a 90m), correspondentes a uma sucessão de paleo-restingas e paleo-lagoas. Estes sedimentos constituem o aquífero livre superficial, e possui grande importância, pois é captado por muitos moradores, se tornando em alguns casos a única forma de obtenção de água pela população. Com a falta de recursos este é o único aquífero que pode ser captado pela população de baixa renda, que em sua grande maioria, constroem poços manualmente, de pequenas profundidades, com auxílio de ferramentas simples, e sem cuidados básicos, como será abordado durante o trabalho (Figura 3-6).

Estes sedimentos possuem conexão direta com o sistema de canais litorâneos e lagoas, sendo estas, juntamente com oceano, os seus enxutórios. Portanto este sistema é diretamente responsável pela qualidade das águas dos canais e lagoas. (EIA do Distrito Industrial de São João da Barra, 2011).



a)



b)



c)



d)

Figura 3-6 – (a) Poço raso tipo cacimba com bomba elétrica de baixa capacidade em Atafona; (b) Detalhe do poço raso tipo cacimba; (c) Poço raso com revestimento de PVC muito comum na região; (d) Poço raso com revestimento de PVC e bomba elétrica. Água utilizada para irrigação de hortaliças.

3.5. Abastecimento de água

O Município de São João da Barra é abastecido pelos seguintes mananciais: Rio Paraíba do Sul e Poços (CEDAE, 2008).

Os sistemas de abastecimento são a Estação de Tratamento de Água (ETA) – São João da Barra e as Unidades de Tratamento de Atafona, Degredo, Barra do Açu e Barcelos (CEDAE, 2008).

Apesar da maioria dos distritos de São João da Barra possuírem abastecimento público de água, existem alguns que ainda não estão neste contexto. Desta forma persiste em diversas localidades do município o consumo de água de poços particulares e comunitários, em sua grande maioria, rasos manuais ou não (Figura 3-7 e Figura 3-8), verificados em diversas localidades, inclusive na área urbana da sede. Estes poços são mais vulneráveis a diversos tipos de poluição e/ou contaminação e apresentam um frágil sistema de vedação.



a)



b)



c)



d)

Figura 3-7 - (a) Poço raso com bomba manual rural; (b) Poço raso com bomba manual na Zona Rural; (c) Poço raso com bomba manual na sede de São João da Barra; (d) Visualização da bomba manual. Água utilizada para consumo humano.



a)

b)

Figura 3-8 – (a) Poço profundo da CEDAE com bomba submersa em Barra do Açu; (b) Poço profundo da CEDAE com bomba submersa em Barra do Açu.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Águas Subterrâneas

A água subterrânea é um recurso natural vital para o abastecimento econômico e seguro de água potável nos meios urbano e rural, que desempenha papel fundamental para o bem-estar tanto dos seres humanos como de muitos ecossistemas aquáticos (GW-MATE, 2006).

A água subterrânea corresponde à parcela mais lenta do ciclo hidrológico e constitui nossa principal reserva de água, ocorrendo em volumes muito superiores aos disponíveis na superfície. No Brasil, grande parte de nossos rios só se mantém perenes por terem seus níveis de base mantidos pelos aquíferos nas épocas de seca (MMA, 2001).

A maior parte da água subterrânea se origina a partir do excesso de chuva que se infiltra na superfície do solo, de forma que as atividades que se desenvolvem na superfície podem ameaçar sua qualidade. A poluição dos aquíferos ocorre nos pontos em que a carga contaminante gerada no subsolo por emissões e lixiviados produzidos pela atividade humana é inadequadamente controlada e, em certos componentes, excede a capacidade de atenuação natural dos solos e das camadas de cobertura (FOSTER, 2002).

A água subterrânea encontra-se nas zonas saturadas, onde os poros, fraturas ou espaços vazios da matriz sólida estão completamente preenchidos por água. Assim, como fazem parte do mesmo contexto, o que ocorrer com o solo repercutirá nas águas subterrâneas, podendo resultar em alterações de sua qualidade. Desta forma, a migração dos poluentes através do solo, para as águas superficiais e subterrâneas, constitui uma ameaça para a qualidade dos recursos hídricos utilizados em abastecimento público, industrial, agrícola, comercial, lazer e serviços (CETESB, 2001).

Aquíferos ou reservatórios naturais de água subterrânea são formações rochosas ou camadas geológicas que armazenam e transmitem água com capacidade de extração. (CAPUTTI et al, 2001).

Ainda de acordo com os mesmos autores, podemos diferenciar três tipos de aquífero com base na formação rochosa que o mesmo está inserido:

- ✓ **Aquíferos granulares ou porosos** – aqueles em que a água está armazenada e flui nos espaços entre os grãos em sedimentos e rochas sedimentares de estrutura granular. Exemplos: arenitos e aluviões.
- ✓ **Aquíferos fissurais** – aqueles nos quais a água está presente nas fraturas e fendas das rochas cristalinas. Exemplos: granitos, gnaisses e diabásio.
- ✓ **Aquíferos cársticos ou cavernosos** – aqueles nos quais a água se faz presente em cavidades produzidas pela dissolução causada pelas águas. Exemplos: calcários e mármore.

As formas de captação da água subterrânea estão associadas à implantação de poços, que de acordo com a cartilha FIESP/ABAS (2005), podem ser:

Poço tubular profundo - Obra de engenharia geológica de acesso a água subterrânea, executada com Sonda Perfuratriz mediante perfuração vertical com diâmetro de 4” a 36” e profundidade de até 2.000 metros, para captação de água.

Poço raso, cisterna, cacimba ou amazonas - Poços de grandes diâmetros (1 metro ou mais), escavados manualmente e revestidos com tijolos ou anéis de concreto. Captam o lençol freático e possuem geralmente profundidades na ordem de até 20 metros.”

Caputti et al (2001) na publicação referente a poços tubulares e outras captações de água subterrânea: orientações aos usuários; adota a nomenclatura de poço doméstico para qualquer captação rasa que aproveite o lençol freático, construído manualmente, utilizando-se anéis de concreto ou tubo de PVC de pequeno diâmetro.

Estes mesmos autores, afirmam ainda que este tipo de captação, comumente utilizados por populações de periferia e interior, é responsável por doenças de veiculação hídrica por ingestão de água contaminada.

Segundo Albuquerque e Oliveira (1999, apud CAPUTTI et al 2001), poços mal locados, construídos e operados sem manutenção, a falta de controle governamental relacionado a abertura de poços e a falta de estudos hidrogeológicos básicos, podem ser listados como fatores de risco para utilização das águas subterrâneas.

Água Subterrânea em Zonas Costeiras

Nas regiões costeiras, os aquíferos chegam a uma interface importante no ciclo hidrológico, em que descarregam suas águas nos oceanos. Existe um equilíbrio dinâmico entre as águas subterrâneas, de baixo conteúdo salino, e as águas subterrâneas que saturam as rochas e os sedimentos sob o mar. Quando esse equilíbrio é quebrado, com o bombeamento de poços, por exemplo, há invasão de água salina no interior do aquífero, causando sua degradação (Hirata et al, 2009).

A água do mar é mais densa que a subterrânea, o que faz com que a cunha de água salgada se posicione sob a água doce do aquífero.

Obviamente, o formato preciso dessa cunha, bem como suas dimensões, vai depender de diversos fatores, tais como:

- Fluxo da água subterrânea;
- Gradiente hidráulico do aquífero;
- Variação do nível do mar;
- Efeito de maré;
- Heterogeneidade e anisotropia do aquífero.

E outro caso a ser considerado e se existi a intervenção do ser humano (Hirata et al, 2009).

4.2. Água e saúde

As características químicas das águas subterrâneas refletem os meios por onde percolam, guardando uma estreita relação com os tipos de rochas drenados e com os produtos das atividades humanas adquiridos ao longo de seu trajeto. Em áreas industrializadas encontra-se uma forte marca das atividades humanas na

qualidade química das águas. Nas proximidades dos grandes centros urbanos temos problemas associados às seguintes descargas de poluentes: efluentes líquidos industriais e domésticos, vazamentos de depósitos de combustíveis, chorumes provenientes de depósitos de lixo doméstico, descargas gasosas e de material particulado lançado na atmosfera pelas indústrias e veículos. Nas áreas onde se desenvolve algum tipo de agricultura, a química da água pode estar fortemente influenciada pelos produtos químicos utilizados: inseticidas, herbicidas, adubos químicos, calcário, entre outros (Ferreira Júnior, 2002).

Existem padrões muito bem conhecidos de relacionamento entre a incidência de moléstias no homem e nos animais, com a abundância ou deficiência de elementos maiores, menores e traços no meio ambiente, particularmente nas águas. Exemplos são: a relação entre o bócio (hipertrofia da tireóide) e a deficiência em iodo; anemias severas, nanismo e hiperpigmentação da pele e a deficiência em zinco; fluorose esquelética e dentária e excesso de flúor; maior incidência de cáries dentárias e deficiência em flúor; anencefalia e mercúrio; inapetência e selênio. Outras correlações com aceitação controversa ocorrem, como por exemplo, entre a dureza da água e algumas moléstias cardiovasculares; entre o chumbo e a esclerose múltipla, entre o cádmio e a hipertensão e arteriosclerose; entre uma gama ampla de elementos e diversos tipos de câncer. Contudo estes relacionamentos são possíveis quando as manifestações clínicas são evidentes por estarmos diante de exposições anormais a produtos resultantes de atividades humanas. Muitas vezes o desequilíbrio em elementos traços se manifesta em debilitações subclínicas, sendo de difícil diagnose (Ferreira Júnior, 2002).

4.3. Hidroquímica e Qualidade da água subterrânea

A Hidrogeologia é um dos ramos da Hidrologia que estuda o movimento, volume, distribuição e qualidade das águas subterrâneas.

De acordo com a litologia, a água nela armazenada se comporta de maneiras diferentes. Por exemplo, em rochas porosas o deslocamento e a capacidade de armazenamento são maiores que em rochas cristalinas. Assim a hidrogeologia permite verificar a vazão, a recarga do aquífero e outras informações necessárias ao bom proveito e conservação destes aquíferos. O ramo da

Hidrogeologia que trata da caracterização e migração das substâncias químicas presentes nas águas subterrâneas é a Hidroquímica.

Na ótica da engenharia ambiental, o conceito de qualidade da água é muito mais amplo do que a simples caracterização da água pela fórmula molecular H₂O. Isto porque a água, devido às suas propriedades de solvente e à sua capacidade de transportar partículas, incorpora a si diversas impurezas, as quais definem a qualidade da água (VON SPERLING, 2006).

Para caracterizar uma água, são determinados diversos parâmetros, os quais representam as suas características físicas, químicas e biológicas. Esses parâmetros são indicadores da qualidade da água e constituem impurezas quando alcançam valores superiores aos estabelecidos para determinado uso (MOTA, 2003).

A água utilizada em ambientes sanitários, vestiários, cozinhas, refeitórios, bebedouros, equipamentos de segurança ou em qualquer utilidade doméstica com contato humano direto, pode ser considerada para consumo humano (FIESP/ABAS, 2005).

A portaria do Ministério da Saúde 2.914/2011 em seu capítulo II artigo 5º, incisos I, II e III, considera que:

I - água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem;

II - água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido nesta Portaria e que não ofereça riscos à saúde;

III - padrão de potabilidade: conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade da água para consumo humano, conforme definido nesta Portaria;

Assim o estudo hidroquímico objetiva identificar e qualificar as principais propriedades e constituintes das águas subterrâneas e superficiais, procurando estabelecer uma relação com o meio físico.

A água que infiltra no reservatório subterrâneo, ao lixiviar os solos e as rochas, se enriquece em sais minerais, provenientes da dissolução destas espécies no meio. Estas reações são favorecidas pelas baixas velocidades de circulação das águas subterrâneas, maiores pressões e temperaturas a que estão submetidas e pela facilidade de dissolver CO_2 ao percolar o solo não saturado. Por essa razão, as águas subterrâneas têm concentrações de sais superiores às das águas continentais superficiais em geral (AGUIAR, 1999).

A interação geoquímica entre água percolante e as rochas que compõem o aquífero, ao longo da zona de recarga e a zona de descarga são fatores determinantes para definição de suas características químicas. Assim, quanto mais tempo a água permanecer em contato com materiais solúveis que constituem o aquífero, maior será o seu conteúdo de sólidos totais dissolvidos. A tipologia da água também pode ser afetada por misturas de águas de diferentes aquíferos (MANASSÉS, 2009).

Alguns dos constituintes iônicos, os principais, estão presentes em quase todas as águas subterrâneas e a sua soma representa mais de 90% dos sólidos dissolvidos destas águas. No grupo dos cátions destacam-se o sódio (Na^+), o potássio (K^+), o cálcio (Ca^{2+}) e o magnésio e dentre os ânions, têm-se os cloretos (Cl^-), os sulfatos (SO_4^{2-}) e os carbonatos (CO_3^{2-}) e bicarbonatos (HCO_3^-). (SENA, 2011).

Na água quimicamente pura, os íons H^+ , estão em equilíbrio com os íons OH^- e seu pH é, neutro, ou seja, igual a 7,0. Os principais fatores que determinam o pH da água são o gases carbônicos dissolvido e a alcalinidade. O pH das águas subterrâneas varia geralmente entre 5,5 e 8,5, quando inferiores a esse intervalo favorecem os processos de corrosão e quando superiores sugerem que possa haver incrustações de carbonatos (SENA, 2011).

Como já foi dito anteriormente, as águas subterrâneas tendem a ser mais ricas em sais dissolvidos do que as águas superficiais. Os sais, dissolvidos e ionizados transformam a água em um eletrólito capaz de conduzir a corrente elétrica e conseqüentemente conferi ao meio, características que o torna altamente corrosivo (SENA, 2011).

Águas que percolam rochas calcárias geralmente possuem alcalinidade elevada. Granitos e gnaisses, rochas comuns em muitos estados brasileiros, possuem poucos minerais que contribuem para a alcalinidade das águas subterrâneas. A alcalinidade total é a soma da alcalinidade produzida por todos estes íons presentes numa água, ou seja, são medida total das substâncias presentes numa água, capazes de neutralizarem ácidos (SENA, 2011).

4.3.1. Principais constituintes iônicos

A composição química das águas subterrâneas é determinada pela natureza geológica do solo, por exemplo, a água que circula em substratos arenosos ou graníticos é ácida e possui menos minerais, já a água que circula em solos argilosos e siltosos são alcalinos e contém bicarbonatos. (SENA, 2011).

Cátions

Sódio (Na^+)

Todas as águas naturais contêm sódio, já que é um dos elementos mais abundantes na Terra e seus sais são altamente solúveis em água, encontrando-o na forma iônica, Na^+ . Concentrações de sódio na superfície natural das águas variam consideravelmente, dependendo das condições geológicas do local, descargas de efluentes entre outros fatores.

O sódio é o íon metálico mais abundante na água do mar, com uma concentração média de 10.000 ppm (FIGUEREDO, 2010). Apresenta baixa estabilidade química dos minerais que contém, solubilidade elevada e difícil precipitação da maioria dos seus compostos químicos em solução. Quase todos os compostos contendo estes íons são solúveis. Em consequência, o sódio lixiviado das rochas ou do solo permanece em solução. Portanto, os compostos deste elemento não precipitam para formar materiais incrustantes que podem obstruir poços. A água subterrânea com elevado teor de sódio é normalmente alcalina, podendo ter pH igual a 9 ou acima disto (FIGUEREDO, 2010). O sódio em águas subterrâneas pode ocorrer juntamente com sulfatos, carbonatos e bicarbonatos, mas a forma mais comum é justamente com o cloreto (ZIMBRES, 2010).

Potássio (K^+)

O potássio nas águas subterrâneas é encontrado em baixas concentrações e geralmente está associado ao sódio. As rochas que contenham potássio são relativamente resistentes às ações do tempo. É usualmente encontrado na forma iônica e os sais são altamente solúveis. Possui participação intensa em processos de troca iônica, além da facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila é bastante utilizado pelos vegetais. As concentrações em águas naturais são usualmente menores que 10 mg/L sendo mais frequentes valores entre 1 e 5.

Suas principais fontes são os fertilizantes usados na agricultura e os minerais feldspatos potássico, mica moscovita e biotita (PINTO, 2006).

Cálcio (Ca^{2+})

O cálcio é o principal elemento responsável pela dureza de uma água. É frequentemente encontrado em águas devido à riqueza do elemento em rochas silicatadas e carbonatadas na litosfera e está geralmente sob a forma de carbonato e bicarbonato, e sua solubilidade está em função da quantidade de gás carbônico dissolvido. A quantidade de CO_2 dissolvida depende da temperatura e da pressão, que são, portanto, fatores que vão determinar a solubilidade do bicarbonato de cálcio.

As principais fontes de cálcio são calcita, aragonita, dolomita, anidrita e gesso. A água em contato com esses minerais faz com que haja liberação de cálcio que é solubilizado e lixiviado. Sua presença também pode ser decorrente das águas da chuva. O teor de cálcio nas águas subterrâneas varia, de uma forma geral, de 10 a 100 mg/L. O carbonato de cálcio é muito pouco solúvel em água pura (ZIMBRES, 2010).

Magnésio (Mg^{2+})

O magnésio é um elemento cujo comportamento geoquímico é muito parecido com o do cálcio e, em linhas gerais, acompanha este elemento. Forma sais bastante solúveis. Os minerais mais comuns fornecedores de magnésio para as águas subterrâneas são: biotita, anfibólios e piroxênios. Estes minerais estáveis diante do

intemperismo químico, do que os minerais fornecedores de cálcio, por isso seu teor nas águas subterrâneas é significativamente menor do que aquele. Em regiões de rochas carbonáticas, o mineral dolomita é um importante fornecedor de Mg^{2+} .

Nas águas subterrâneas ocorre com teores entre 1 e 40 mg/L já na água do mar o magnésio ocorre em teores de cerca 1400 mg/L, bem acima do teor de cálcio (cerca de 480 mg/L). Em águas subterrâneas de regiões litorâneas, a relação Mg^{2+}/Ca^{2+} é uma elemento caracterizador da contaminação por água marinha. O magnésio, depois do cálcio, é o principal responsável pela dureza das águas (ZIMBRES, 2010).

Ferro (Fe^{2+} e Fe^{3+})

De acordo com CUSTÓDIO e LLAMAS (1983) e Santos (1997) o ferro ocorre sob diversas formas químicas e frequentemente aparece associado ao magnésio devido a sua afinidade geoquímica. Pode estar presente com teores menores que 0,3 mg/L.

Ânions

Cloreto (Cl^-)

O íon cloreto se encontra em todas as águas naturais em concentrações variáveis. É um ânion abundante na água do mar com concentrações de até 19.000 mg/L. A água da chuva contém menos de 1,0 mg/L de cloreto. Na água subterrânea das regiões úmidas o teor é baixo, comumente inferior a 5 mg/L, a menos que o aquífero tenha sofrido intrusão de água do mar. Em águas doces, os valores variam entre 10 a 250 mg/L.

Forma compostos muito estáveis e possui uma tendência de se enriquecer, junto com o sódio, a partir das zonas de recarga das águas subterrâneas. As concentrações elevadas podem indicadores de contaminação por água do mar e por aterros sanitários (ZIMBRES, 2010).

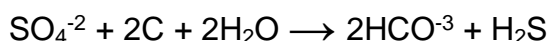
Sulfatos (SO_4^{2-})

O sulfato é um dos íons mais abundantes na natureza. Em águas naturais, a fonte de sulfato ocorre através da dissolução de solos e rochas e pela oxidação de sulfetos. As águas subterrâneas apresentam teores de sulfato na ordem de até 100 mg/L.

O enxofre pode ser encontrado na natureza em quatro estados de oxidação que se transformam entre si (sulfeto (S^{-2}), enxofre elementar (S^0), sulfito (SO_3^{-2}), sulfato (SO_4^{-2})).

Em águas muito ácidas, com pH menor que 2 ocorre predomínio de Bissulfato HSO_4^- devido a dissociação de ácido sulfúrico (HEM, 1985 apud MANASSÉS, 2009). O ânion sulfato forma produtos químicos iônicos solúveis em água, exceto o sulfato de cálcio ($CaSO_4$), sulfato de estrôncio ($SrSO_4$), e o sulfato de bário ($BaSO_4$) que são poucos solúveis.

É importante o controle do sulfato na água tratada, pois a sua ingestão provoca efeito laxativo. Já no abastecimento industrial, o sulfato pode provocar incrustações nas caldeiras e trocadores de calor. E na rede de esgoto, em trechos de baixa declividade onde ocorre o depósito da matéria orgânica, o sulfato pode ser transformado em sulfeto através da sua redução provocada por bactérias redutora de sulfato, e assim ocorrendo a exalação do gás sulfídrico, que resulta em problemas de corrosão em coletores de esgoto de concreto e odor, além de ser tóxico. Na reação a seguir podemos ver um exemplo de redução de sulfato a sulfeto em meio anaeróbico pelas bactérias do gênero *Desulphovibrio desulphuricans*. (ZIMBRES, 2010).



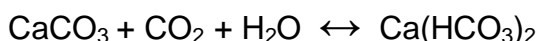
Carbonato (CO_3^{2-})

A quantidade relativa de íons de carbonato é função do pH e do conteúdo de gás carbônico (CO_2). Em águas naturais doces a quantidade de carbonato será muito baixa em comparação com a de bicarbonato.

O carbonato é indesejável em águas para irrigação, pois sua presença na forma de carbonato de sódio é altamente tóxica para os vegetais (FEITOSA & FILHO, 2000). Em águas subterrâneas a alcalinidade é devida principalmente aos carbonatos e bicarbonatos.

O controle do carbonato é importante para a indústria, pois a supersaturação desse íon combinada com os íons cálcio e magnésio e a ajuda de altas temperaturas formam compostos insolúveis como o carbonato de cálcio e/ou de magnésio (ZIMBRES, 2010).

Dióxido de carbono aumenta a solubilidade do carbonato de cálcio devido à formação de um bicarbonato mais solúvel (como pode ser observado na reação a seguir), mas com qualquer mudança no meio como o aumento da temperaturas favorece a liberação de CO₂ desloca esse equilíbrio para a esquerda, ocasionando a precipitação do carbonato de cálcio (ZIMBRES, 2010).



Esses compostos insolúveis tendem a se acumular nas paredes das tubulações, formando incrustações e acarretando prejuízos, pois podem obstruir tubulações, ocultar corrosões, provocando a parada de equipamento entre outros problemas (ZIMBRES, 2010).

Bicarbonato (HCO₃⁻)

Os íons bicarbonato não se oxidam nem se reduzem em águas naturais, porém podem precipitar com muita facilidade como bicarbonato de cálcio (CaCO₃). Varia entre 50 e 350 mg/L em águas doces, podendo chegar a 800 mg/L. A água do mar possui teores da ordem de 100 mg/L. É benéfico aos vegetais, principalmente na forma de bicarbonato de cálcio (FEITOSA & FILHO, 2000).

Segundo SCOPEL et al (2005), as concentrações de HCO₃⁻ podem resultar da dissolução dos feldspatos sódico e calcário.

Nitrato (NO₃⁻)

De acordo com CUSTÓDIO e LLAMAS (1983) e SANTOS (1997) o nitrato representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica e teores acima de 5 mg/L podem ser indicativos de contaminação da água por atividade humana (esgotos, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitério, adubos nitrogenados, resíduos de animais, etc.)

4.4. Vulnerabilidade de Aquíferos

O conceito de vulnerabilidade natural é baseado na ideia de que o ambiente físico é um protetor da água subterrânea. Os solos agem como filtros naturais e o contaminante ou água superficial que infiltram no solo são naturalmente purificados ou retidos pelos materiais existentes na zona não saturada. A capacidade de atenuação ou purificação desses materiais consiste na integração de processos físicos, químicos e biológicos e de parâmetros hidrogeológicos no sistema solo – rocha- água subterrânea (FOSTER e HIRATA, 1991).

Rojas et al (2008) ao estudarem a vulnerabilidade a contaminação de um aquífero no Vale de Cauca, Colômbia concluiu que a umidade influencia no tempo que o contaminante leva para percolar o solo. Este autor afirma que ao contrário que se pode esperar, um solo com camadas de argila na zona não saturada (não em todos os casos), não é garantia de proteção para o aquífero; sem considerar a localização do lençol freático, pois um contaminante pode levar menos tempo para um solo argiloso rico em camadas e com alta umidade, quando comparado com solo arenoso, profundo e com um baixo teor de umidade, neste o contaminante leva um tempo maior de percolação.

Os mapas de vulnerabilidade do aquífero visam fornecer uma primeira indicação geral do perigo potencial de contaminação da água subterrânea. Assim, os profissionais de regulação, planejamento e desenvolvimento territorial e ambiental estarão mais bem municiados para avaliar novas propostas de desenvolvimento e prioridades no controle da contaminação e no monitoramento da qualidade da água subterrânea. Esses mapas, portanto, se baseiam nas melhores informações disponíveis à época em que foram produzidos e necessitam de atualizações periódicas FOSTER et al 2002.

Apesar da existência de uma ampla gama de atividades humanas que geram certa carga contaminante, que são as responsáveis pelos riscos de contaminação das águas subterrâneas em uma área específica. Por isso é fundamental identificar essas atividades e fazer a distinção de contaminação por fontes pontuais (que são mais fáceis de reconhecer), por fontes difusas e lineares (IG /CETESB/DAEE 1997 apud FREITAS 2003).

Existem diversos métodos de obtenção do índice de vulnerabilidade sendo utilizados no mundo, porém poucos caracterizam a vulnerabilidade relacionada a qualquer tipo de contaminante.

Hirata (1994), afirma que grande parte dos trabalhos norte-americanos se propunha a uma análise da interação entre a vulnerabilidade natural do aquífero e a carga contaminante de forma conjunta, associando o risco de contaminação a atividades específicas. Dentre os métodos que podem ser utilizados para qualquer tipo de contaminante, destacam-se o GOD, *Drastic* e AVI.

O método *Drastic* (ALLER et al, 1987) utiliza a interação de sete valores, que são: Profundidade da água, recarga do aquífero, meio aquífero, solo, topografia, característica litológica da zona e condutividade hidráulica.

O Método AVI (*Aquifer Vulnerability Index*), quantifica a vulnerabilidade do aquífero que pelo uso de dois parâmetros físicos: espessura de cada camada sedimentar acima da parte saturada do aquífero e condutividade hidráulica de cada uma das camadas (VAN STEMPVOORT et al, 1992).

No método GOD (FOSTER, 1987; FOSTER e HIRATA, 1988), são utilizados 3 parâmetros: tipo de aquífero, litologia da zona não saturada e profundidade da água subterrânea.

De acordo com Foster et al (2002), a metodologia empírica proposta pelo método GOD envolve 3 estágios distintos:

- A identificação do tipo de confinamento da água subterrânea, com a adoção de um parâmetro na escala de 0,0 a 1,0, de acordo com a existência ou não de camada confinante no topo do aquífero.
- Especificação dos estratos de cobertura da zona saturada em termos de grau de consolidação e tipo de litologia, variando na escala de 0,4 a 1,0, conforme as características sedimentológicas encontradas.
- Estimativa da profundidade até o lençol freático (para aquíferos não confinados) ou da profundidade do primeiro nível principal de água subterrânea (para aquíferos confinados), com classificação na escala de 0,6 a 1,0, de acordo com os níveis piezométricos medidos. Sendo o índice final, o produto destes três parâmetros.

4.5. Fontes potenciais de contaminação da água subterrânea

São diversas as formas de poluição da água, podendo ter origem natural ou serem resultantes das atividades antrópicas. De acordo com Barros et al (1995), existem essencialmente três situações de poluição, cada uma delas característica do estágio de desenvolvimento social e industrial:

- Primeiro estágio: **poluição patogênica**. Neste estágio, as exigências quanto à qualidade da água são relativamente pequenas, tornando-se comuns as enfermidades de veiculação hídrica. O uso de estações de tratamento de água e sistemas de adução pode prevenir os problemas sanitários neste estágio;
- Segundo estágio: **poluição total**. Define-se como aquele em que os corpos receptores tornam-se realmente afetados pela carga poluidora que recebem (expressa como sólidos em suspensão e consumo de oxigênio). Este estágio normalmente ocorre durante o desenvolvimento industrial e o crescimento das áreas urbanas. Os prejuízos causados ao corpo receptor e, em consequência, à população podem ser reduzidos com a implantação de sistemas eficientes de tratamento de água e de esgotos;
- Terceiro estágio: **poluição química**. Este estágio é o da poluição insidiosa, causada pelo contínuo uso da água. O consumo de água aumenta diretamente proporcional ao crescimento da população e da produção industrial. Cada dia é maior a quantidade de água retirada dos rios e maior e mais variada a poluição neles descarregada.

5. METODOLOGIA

Para a realização do presente estudo foi efetuada a caracterização e análise hidroquímica das águas de poços rasos e profundos, verificando sua qualidade e padrões de potabilidade. Além disso, gerou-se o mapa de vulnerabilidade natural de contaminação do aquífero livre.

Para isto foram desenvolvidas as seguintes etapas de trabalho descritas a seguir:

5.1. Levantamento de dados

Para elaboração da presente pesquisa, primeiramente desenvolveu-se o levantamento de material disponível. A reunião das informações foi realizada em diversos locais e entidades, entre estes a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), órgãos públicos (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE), Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMADS, Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais – CPRM, Departamento de Recursos Minerais – DRM-RJ, Prefeitura Municipal de São João da Barra, Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE), Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ), livros, dissertações, teses e artigos de revistas e congressos, pela internet.

Estes dados estão sendo utilizados para melhor entendimento e descrição das características gerais do município, além de estarem sendo armazenados, a fim de alimentar nossa base de dados da OFIGEO-UENF, facilitando assim a integração desses dados para elaboração de mapas temáticos necessários ao estudo.

5.2. Levantamento de Campo

O levantamento de campo está sendo realizado basicamente em duas etapas descritas abaixo:

➤ Cadastro de poços rasos

O cadastro de poços rasos foi realizado com o auxílio do GPS para obter as coordenadas de cada ponto e com máquina digital para melhor reconhecimento de cada ponto cadastrado.

Foram cadastrados um total de 45 poços rasos durante as campanhas de campo realizadas em núcleos urbanos e em áreas rurais distribuídas por todo o território do município. Em quase todos os poços, quando possível, foram registrados dados como localização geográfica, localidade, situação (ativo ou

abandonado), ano de construção, nível d'água, profundidade e observações da localidade, além da medição em campo do pH, condutividade elétrica, temperatura e sólidos totais dissolvidos, com auxílio dos equipamentos ilustrados abaixo (Figura 5-1).

Já os dados dos poços tubulares profundos localizados no município, foram levantados no banco de dados da OFIGEO-UENF. Foram localizados um total de 23 poços tubulares profundos já cadastrados.

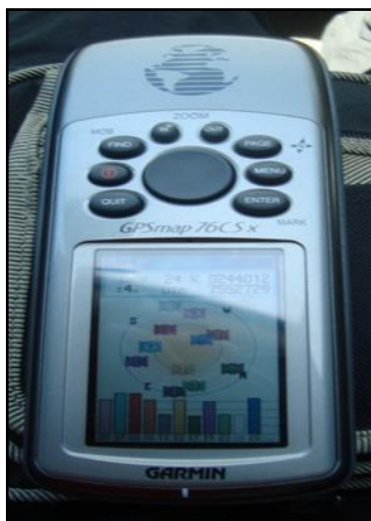




Figura 5-1 - GPS, medidor de nível d'água, de pH, de condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e termômetro.

➤ **Coleta de amostra de água para análises laboratorial**

Nesta segunda fase dos trabalhos de campo, foram coletadas amostras de água em 15 poços rasos cadastrados na etapa descrita anteriormente. Os poços foram selecionados de forma que estes pudessem ser os mais representativos possíveis, recobrando homogeneamente todo o território. Além deste critério para seleção dos pontos de coleta, quando possível, foram observados os aspectos físicos do município (geologia, geomorfologia, pedologia, hidrografia, etc.), e deu-se prioridade aos poços de uso público e utilizados para consumo humano (Figura 3-7).

Durante esta fase também foi realizado o monitoramento dos parâmetros medidos anteriormente, como condutividade elétrica, pH, sólidos totais dissolvidos e temperatura, além do nível d'água e observações (Figura 5-2 e Figura 5-3).

Os dados referentes as análises físico-químicas e laboratoriais dos poços tubulares profundos foram obtidas durante o levantamento de informações, como citado anteriormente.



Figura 5-2 - Medição do nível d'água



Figura 5-3 - Medição da condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, pH e temperatura.

As análises físico-químicas completas foram realizadas pelo laboratório de águas da PUC-RJ- Rio de Janeiro. Os ânions (F^- , Cl^- , Br^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}), cátions (Na, K, Ca, Mg) e os metais (Al, Sb, As, Ba, Be, B, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Sc, Sn, Sr, Fe, Li, Mn, Hg, Mo, Ni, Ag, Se, SiO_2 , Ti, W, U, V e Zn) foram determinados por Cromatografia de Íons, utilizando as metodologias ASTM 4327-11 (para os ânions), ASTM D6919-09 (para os cátions) e EPA 200-8 (para metais).

Além destes parâmetros, foram também determinados pelo laboratório os parâmetros: cor, turbidez, STD, turbidez, pH a $25^{\circ}C$, condutividade, Dureza, Alcalinidade, Carbonato e Bicarbonato.

Procedimentos da coleta (Figura 5-4 e 5-5):

- Desprezou-se os primeiros jatos de água por aproximadamente 3 minutos e em seguida fez-se a coleta;
- Com a água do poço, lavou-se uma das garrafas de polietileno com capacidade de 250 ml, por três vezes, com agitação.
- Encheu-se com água do poço até o gargalo e esta foi tampada bem;
- Preencheu-se todos os dados no rótulo do frasco;
- Acondicionou-se as amostras de forma adequada em caixa de esopor com gelo e forma enviados rapidamente para o laboratório.



Figura 5-4 - Coleta de amostra em poço raso com bomba elétrica para análise laboratorial. É possível ainda observar o recipiente da análise físico-química.



Figura 5-5 - Amostra coletada em poço raso com bomba manual na sede do município de São João da Barra.

5.3. Estudo Hidroquímico

➤ Cálculo do erro das análises:

O primeiro passo para a análise química é a realização do balanço iônico, onde se verifica o erro analítico admissível para cada amostra. Numa análise hidroquímica completa e correta, a soma dos cátions deve ser aproximadamente igual a soma dos ânions para uma mesma amostra. Segundo Fenzl (1986) os valores acima do erro permitido podem indicar:

- Erro analítico ou de cálculo (erros acumulados em cada uma das determinações individuais);
- A presença de íons menores (já que só são analisados os íons maiores) ou águas pouco mineralizadas, tais como águas de chuvas, etc.

Os métodos analíticos padrões são menos precisos para baixas concentrações iônicas podendo assim levar a valores elevados de erro permitido e sem que isso indique necessariamente um erro de análise ou de cálculo (FENZL,1986).

Para a realização do balanço iônico e consecutivo cálculo de erro, utilizou-se a técnica definida por Logan (1965), segundo a expressão:

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

- Classificação hidroquímica e análise da qualidade da água para consumo humano e irrigação:

Para descrever os tipos de água, em um aquífero, que difere na sua composição química é usado o termo “fácies hidroquímica” (*hydrochemical fácies*) (CUSTÓDIO & LIAMAS,1983).

Para a classificação do tipo químico das águas subterrâneas de acordo com o conteúdo iônico dominante, resultante da interação água-rocha, foram elaborados os diagramas de PIPER e STIFF, e utilizando o Programa *Qualigraf* (MÖBÜS,2009).

Os principais constituintes iônicos estão em quase todas as águas subterrâneas, representando assim, suas características e concentrações e podem ser usados para uma análise hidroquímica inicial na área de estudo.

No diagrama de Piper são plotados os valores dos principais constituintes iônicos do grupo dos cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{++} e o Mg^{++}) e dos ânions, (NO_3^- , Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- e CO_2^-). Nesse diagrama pode-se distinguir três campos onde são plotados os valores percentuais das concentrações dos principais constituintes iônicos para os cátions e para os ânions, permitindo identificar a fácies hidroquímica. O cruzamento do prolongamento dos pontos na área do losango define sua posição e classifica a amostra de acordo com suas fácies.

Para o estudo hidroquímico, também foi realizado o tratamento estatístico dos dados referentes aos principais elementos analisados, de forma que pudessem ser descritos e analisados isoladamente nos resultados encontrados. Para isso utilizou-se os Programas *Qualigraf* (MÖBÜS,2009) e Microsoft Excel 2010.

Também foi verificada a qualidade da água e o padrão de potabilidade segundo a Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde e realizou-se a classificação de águas para irrigação, segundo o diagrama do U.S. Salinity Laboratory, utilizando o Programa *Qualigraf* (MÖBÜS,2009).

5.4. Elaboração dos mapas de localização e distribuição de concentrações dos parâmetros estudados

Após o cadastramento dos 45 poços rasos realizado durante as campanhas de campo e o recolhimento no banco de dados do Laboratório de Geologia da UENF das informações referentes aos poços profundos localizados no município de São João da Barra, foi possível confeccionar os mapas de localização de todos os poços.

O mapa foi elaborado com auxílio do ArcGis 10.1, sendo acrescentado ao banco de dados as principais informações referentes aos poços.

Para elaboração dos mapas de distribuição dos parâmetros pH, condutividade elétrica e temperatura referentes ao aquífero livre, foi utilizado o software SURFER 8, onde foram lançadas as coordenadas de cada poço acompanhada dos valores de cada parâmetro. Posteriormente estes dados foram interpolados para gerar o mapa de distribuição destes parâmetros.

5.6. Elaboração do Mapa de vulnerabilidade do aquífero livre

Existe hoje um grande número de métodos para avaliar a vulnerabilidade natural do aquífero. Esses métodos variam de simples a mais trabalhoso, nos quais irão também depender dos dados disponíveis. O método mais adequado de mapeamento da vulnerabilidade das águas subterrâneas deve fazer uso de técnicas simples, baseados em um número de dados restritos, mais confiáveis. A utilização de metodologias complexas, que emprega interações de muitos parâmetros, para áreas extensas, apresenta dificuldades para sua utilização e tem pouca relação com a realidade local, devido, principalmente, à distribuição espacial irregular e/ou falta de dados técnicos, faz com que estas metodologias não sejam aplicáveis na área do município de São João da Barra.

Desta forma, foi utilizado para a confecção do mapa de vulnerabilidade natural do aquífero livre do município de São João da Barra o método GOD, desenvolvido por Foster (1988), onde são considerados 3 parâmetros:

- **G (Groundwater occurrence)** - forma de apresentar-se a água subterrânea (aquífero livre, semi-confinado, confinado ou não há aquífero);
- **O (Lithology of the Overlying layers)** - caracterização global do aquífero quanto ao grau de consolidação e natureza litológica das camadas superiores (zona não saturada);
- **D (Depth of Groundwater)** - profundidade até o nível freático ou topo do aquífero confinado.

O cálculo do seu valor resulta de um conjunto de operações sequenciais definidas em Foster (1988). O método empírico engloba sucessivamente três fatores a serem determinados em fases distintas. A primeira fase consiste na identificação do tipo de ocorrência da água subterrânea, num intervalo de 0 - 1. A segunda fase trata da especificação dos tipos litológicos acima da zona saturada do aquífero, com a discriminação do grau de consolidação (presença e ausência de permeabilidades secundárias) e das características da granulometria e litologia; este fator é representado numa escala de 0,3 a 1,0. A terceira fase é a estimativa da profundidade do nível da água (ou do teto do aquífero confinado), numa escala de 0,4 a 1,0. O produto destes três parâmetros é o índice de vulnerabilidade, expresso numa escala de 0 a 1, em termos relativos.

Os resultados são expressos em termos qualitativos, em índices de vulnerabilidade extremo, alto, médio, baixo e nulo (Figura 5-6).

A tradução destes índices para a realidade se torna clara, quando o seu significado físico é expresso da seguinte forma: uma vulnerabilidade **nula** indica que não existe aquífero, quer pela ausência de água em quantidades aproveitáveis, quer pela baixa qualidade natural. O índice **baixo** significa que o aquífero é vulnerável a apenas compostos extremamente móveis e persistentes, como sais, nitratos e alguns solventes organo-sintéticos. Um aquífero de índice **médio** é susceptível a contaminantes moderadamente móveis e persistentes, como hidrocarbonetos halogenados ou não e alguns metais pesados. Sais menos solúveis são também incluídos nesse grupo. O índice **alto** indica aquífero vulnerável a muitos contaminantes exceto aqueles que são muito absorvíveis e/ou facilmente

transformáveis e finalmente o índice **extremo** é aplicável ao aquífero que possui sensibilidade para contaminantes degradáveis, como bactérias e vírus, sendo vulnerável a maioria dos contaminantes da água com um impacto relativamente rápido em muitos cenários de poluição (Figura 5-6).

Primeiramente seleciona-se o parâmetro G (tipo de aquífero), multiplicando-se em seguida pelo valor atribuído ao parâmetro O (litologia). O resultado desta operação será multiplicado finalmente pelo valor atribuído a D (Distância à água). Esses valores serão divididos em 5 classes a que correspondem graus de vulnerabilidade diferentes (Tabela 5-1).

Todo este procedimento para elaboração do mapa de vulnerabilidade foi realizado com auxílio do software ArcGIS 10.1.

Tabela 5-1 - Índices GOD e classes de vulnerabilidade (Foster et al, 1988)

Índice GOD	Grau de vulnerabilidade
0,7 – 1,0	Extrema
0,5 – 0,7	Alta
0,3 – 0,5	Moderada
0,1 – 0,3	Baixa
0,0 – 0,1	Desprezável

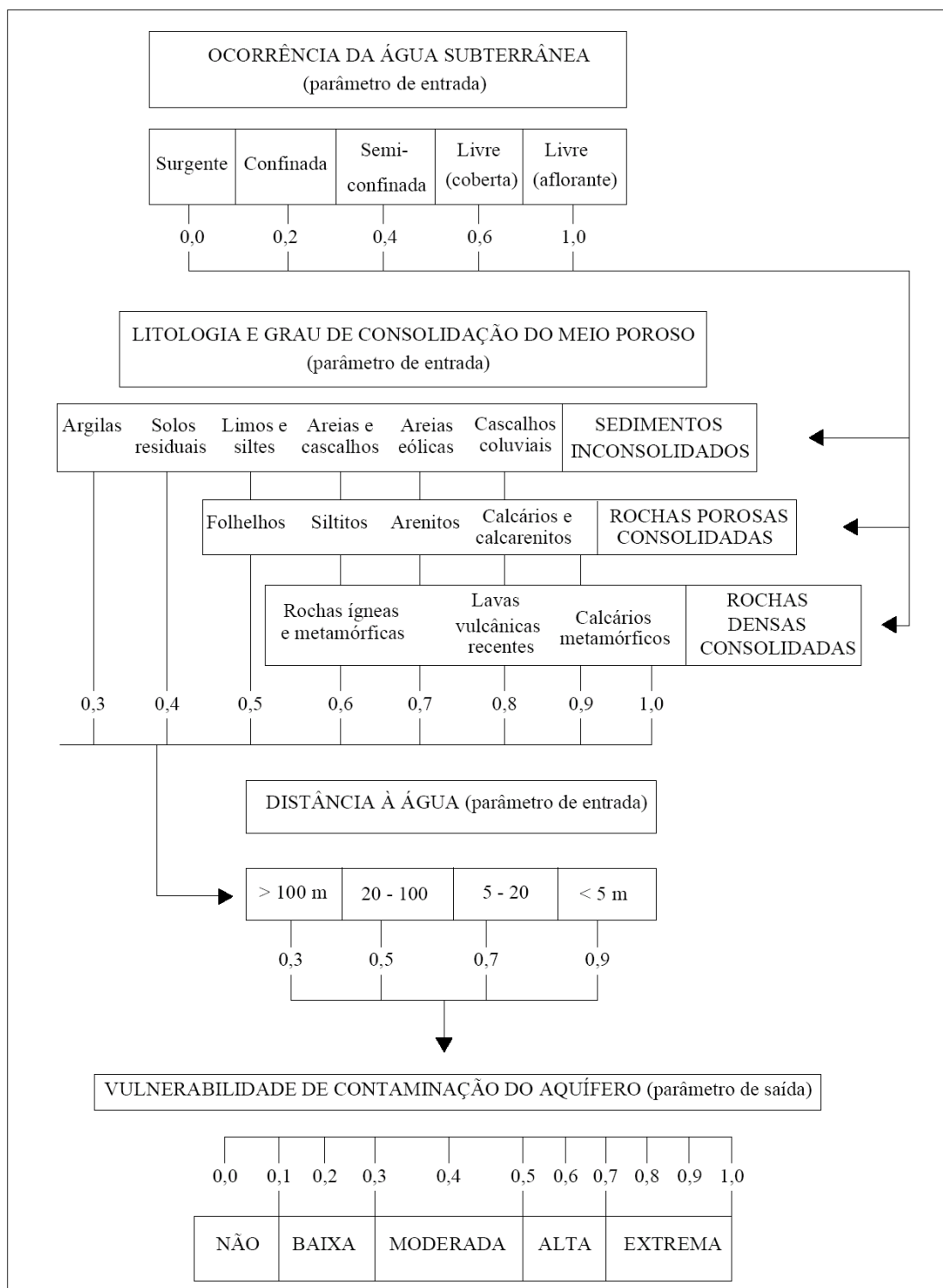


Figura 5-6 - Esquema de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos pelo método GOD (Foster et al, 1988).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Levantamento e Cadastramento dos Poços

Poços Rasos

Como pode ser visto no mapa a seguir (Figura 6-1) e na imagem do Google Earth (ANEXO III), foram cadastrados durante as campanhas de campo realizadas nos anos de 2012 e 2013 um total de 45 poços rasos distribuídos por todo o território do município de SJB, incluindo áreas urbanas e rurais, sendo a maioria deles localizados em residências e utilizados para diversos fins. Durante o cadastramento foram adotados os procedimentos já descritos no capítulo da metodologia.

Os poços rasos cadastrados possuem em sua maioria entre 4 a 12 m de profundidade, e são construídos de forma manual, quase sempre utilizando trados manuais. Geralmente são revestidos com cano de PVC com ranhuras para permitir a passagem da água, sem laje para proteção sanitária, e possuem bombas elétricas de pequena capacidade, ou bombas manuais.

Dentre os 45 poços cadastrados, foram selecionados 15 poços onde foram coletadas amostras, durante campanhas de campo realizadas em dezembro de 2013 e janeiro de 2014. Como serão descritas a seguir, as análises foram realizadas pelo laboratório de caracterização de águas da PUC-Rio.

O cadastramento dos poços permitiu a análise dos dados, e ainda a elaboração de um banco de dados georreferenciado, alimentado com informações sobre diversos aspectos e parâmetros de cada poço, de forma que seja possível o futuro monitoramento e acompanhamento destes poços.

A tabela com a relação dos poços cadastrados e os parâmetros físico-químicos medidos em campo pode ser observada no ANEXO IV.

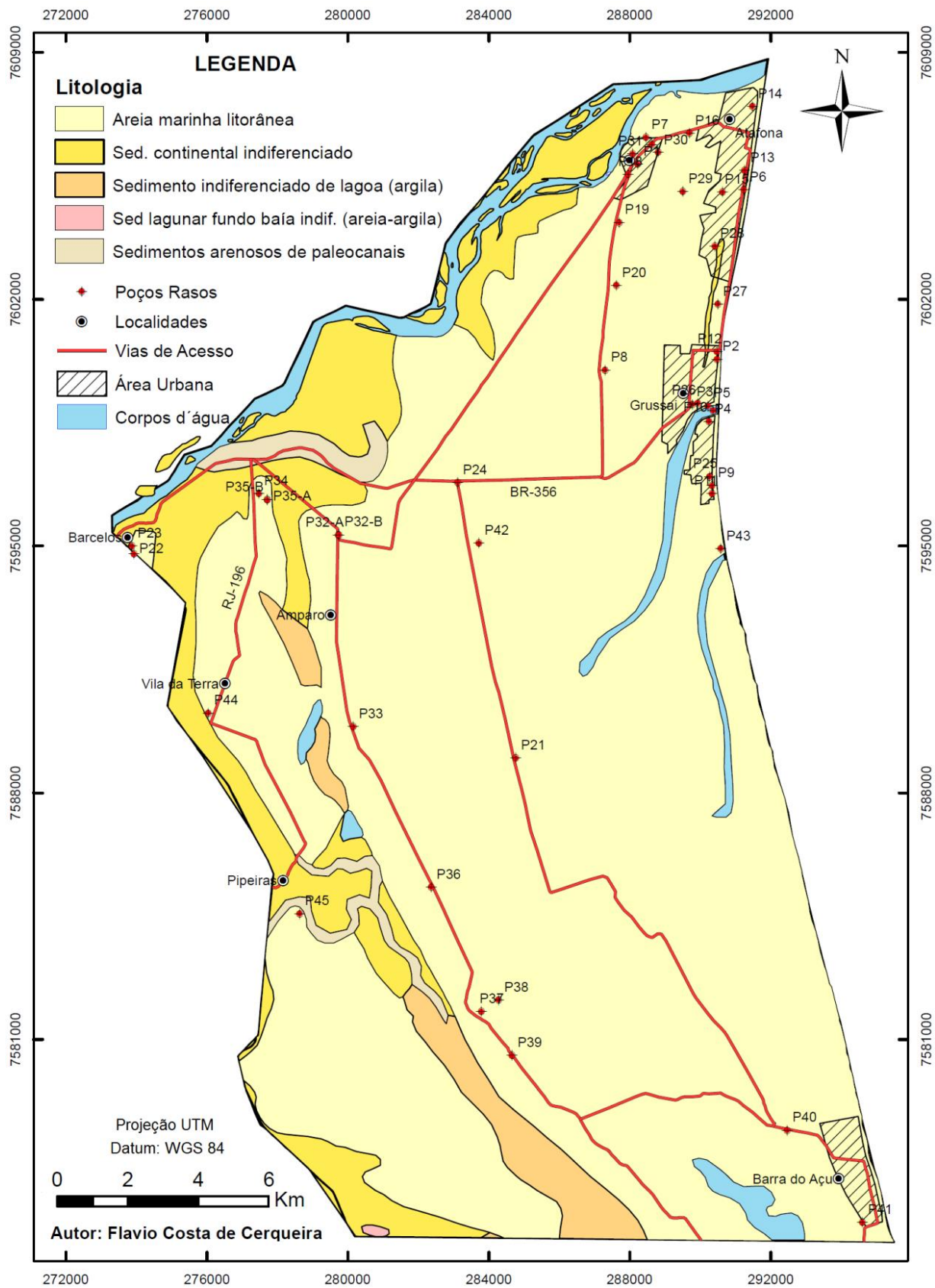


Figura 6-1 - Localização dos Poços Rasos cadastrados no Município de SJB.

Poços Profundos

Como pode ser observado no mapa de localização a seguir (Figura 6-2), foram identificados no banco de dados da OFIGEO/UENF, a localização de 23 poços tubulares profundos distribuídos por diversas localidades do município de SJB, pertencentes em sua maioria à Prefeitura, a CEDAE e a empresas privadas, cujas características referentes a produção, podem ser observadas na Tabela a seguir.

Observa-se que estes poços encontram-se distribuídos por todo o território do município, principalmente nas sedes dos distritos de SJB (SJB, Grussaí, Atafona, Barra do Açu, Praia do Açu, Pipeiras, Cajueiro, Barcelos e Distrito Industrial).

Como pode ser observada na Tabela 6-1 – Relação dos Poços Profundos localizados no Banco de Dados da OFIGEO/UENF. A seguir, a profundidade média destes poços é de 198,4 m, sendo o poço PP19, localizado em Barcelos o que possui a menor profundidade (20 m), e o poço PP23, localizado no Distrito Industrial o que apresenta a maior profundidade (270 m). Apenas o poço PP14 não disponibiliza a profundidade. Os poços PP7, PP8, PP9 e PP15 são poços jorrantes. A média da Vazão (Q) entre os poços profundos analisados é de 55,9 m³/h, sendo a maior vazão correspondente ao poço PP3 localizado em Barcelos (150 m³/h), e a menor correspondente ao poço PP19, localizado também em Barcelos (10 m³/h). Os poços PP10, PP11 e PP15, não disponibilizam valores de vazão.

A média dos valores de transmissividade entre os poços analisados é de 3,95 m³/h/m, sendo a maior, correspondente ao poço PP23 (18,67 m³/h/m), e a menor, correspondente ao poço PP8, localizado em Atafona.

Tabela 6-1 – Relação dos Poços Profundos localizados no Banco de Dados da OFIGEO/UENF.

Poços Profundos	Local	Profundidade (m)	NE (m)	ND (m)	Q Vazão (m ³ /h)	Rebaixamento (m)	Capacidade Específica (m ³ /h/m)	Transmissividade (m ² /d)
PP1	Estrada Grussaí - SJB	144,00	4,62	13,89	72,00	36,60	1,34	41,85
PP2	São João da Barra	200,00	7,50	47,60	40,00	60,10	0,67	-
PP3	Barcelos	158,00	3,50	11,00	150,00	14,30	10,49	-
PP4	Grussaí	203,00	6,00	16,56	32,70	22,56	1,45	-
PP5	Grussaí	176,00	1,60	39,89	48,94	47,50	1,03	87,26
PP6	Barcelos	152,00	3,30	7,07	64,26	10,80	5,98	590,83
PP7	Grussaí	205,00	Jorrante	42,35	72,00	-	-	-
PP8	Atafona	210,00	Jorrante	67,75	18,00	67,75	-0,27	6,28
PP9	Atafona	198,00	Jorrante	30,85	61,31	30,85	-2,15	13,38
PP10	Atafona	210,00	-	-	-	-	-	-
PP11	Barra do Açu	205,00	-	28,78	-	-	-	-
PP12	Grussaí	161,00	1,60	-	30,00	44,52	0,67	40,00
PP13	Cajueiro	176,00	0,68	4,34	48,70	-	-	-
PP14	Grussaí	-	-	7,45	40,00	44,52	0,67	40,00
PP15	Pipeiras	210,00	Jorrante	-	-	-	-	-
PP16	Mato Escuro	234,00	8,20	22,78	87,90	-	-	-
PP17	Barra do Açu	240,00	5,16	32,84	67,20	-	-	-
PP18	Barra do Açu	262,5	-	135	102	134,8	0,76	-
PP19	Barcelos	20	-	6,53	10	3,29	3,34	-
PP20	Fazenda Saco Dantas	268	-	10,91	40,1	6,91	5,8	-
PP21	Barra do Açu	220	-	135	52	132,2	0,39	-
PP22	Praia do Açu	242	-	8,47	40	4,83	9,55	-
PP23	Distrito Industrial	270	-	69,95	42	2,25	18,67	-

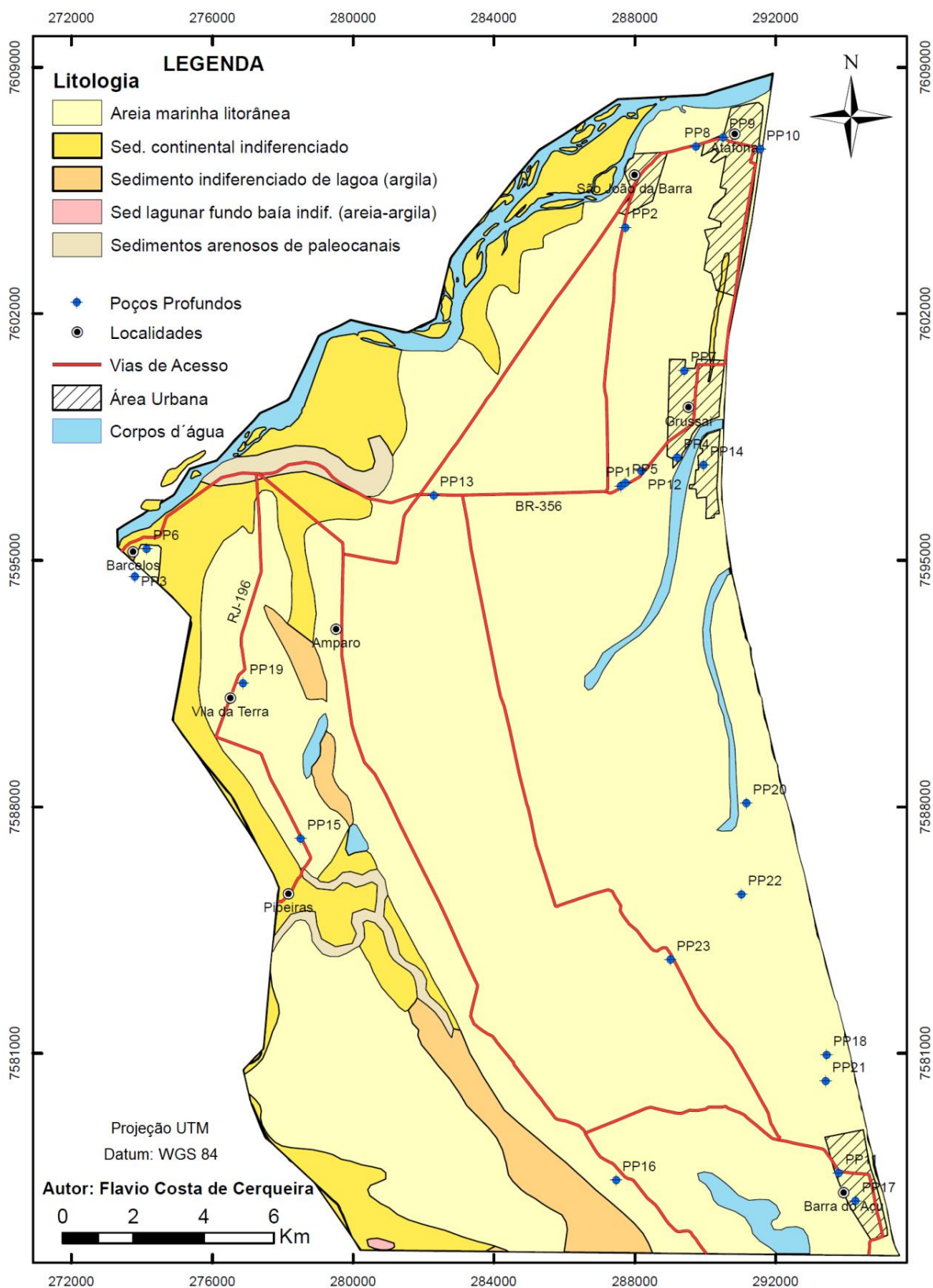


Figura 6-2 - Mapa de Localização dos Poços Profundos levantados no município de SJB.

6.2. Hidroquímica das Águas dos Poços Rasos e Profundos

6.2.1. Parâmetros Físicos e Químicos

Foram cadastrados um total de 45 poços rasos durante as campanhas de campo, sendo determinado in situ, os valores de pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e temperatura, em 44 dos poços cadastrados.

Identificou-se no banco de dados do Laboratório de Geologia da UENF a localização de 23 poços tubulares profundos distribuídos por diversas localidades do município de SJB, pertencentes em sua maioria à Prefeitura, a CEDAE e a empresas privadas. Apesar do grande número de poços profundos, muitos destes não possuíam disponíveis informações referentes aos parâmetros que serão analisados e descritos a seguir.

Com o objetivo de melhor visualizar e caracterizar hidroquimicamente as águas subterrâneas do município de São João da Barra, aplicou-se o estudo estatístico básico para os parâmetros físico-químicos analisados, cujos dados serão discorridos a seguir.

Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Os sólidos totais dissolvidos (STD) representam a concentração de todo o material dissolvido na água, podendo ser ou não volátil. Esses teores indicam uma relação direta com a composição mineralógica da rocha-reservatório e com o tempo de percolação/residência das águas subterrâneas no interior do sistema aquífero.

A unidade é o mg/L e expressa o grau de salinidade das águas. Existe uma relação aproximadamente linear entre STD e CE, de conformidade com:

$$\text{STD} = k_e \text{ C E}$$

O fator de correlação k_e varia de 0,55 a 0,80 para águas subterrâneas e necessitam ser determinado especificamente em cada área de estudo. O valor de k_e de 0,65 é considerado aceitável para uma região de clima quente.

A resolução CONAMA 20/1986 classifica as águas do território nacional, com base nos valores estimados de STD, em doces, salobras ou salgadas segundo os seguintes critérios da Tabela 6-2, abaixo descritos:

Tabela 6-2 - Classificação das Águas pelo STD

Classe de águas	STD (mg/L)
Doce	0 – 500
Salobra	500 – 30.000
Salgada	> 30.000

Poços Rasos

As águas analisadas apresentaram fraca mineralização como característica principal, com os valores obtidos de STD para os 44 poços rasos, apresentando uma concentração média de 267 mg/L, variando entre o mínimo de 41 mg/L no poço P35 (localidade de Caetá) e o máximo de 669 mg/L no poço P4 (Próximo a Lagoa de Grussaí). Todas as amostras estão de acordo com os padrões aceitos pela Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde, que estabelece o Valor Máximo Permitido (VMP) para STD de 1.000 mg/L para água potável.

Alguns dos maiores valores de STD identificados nos poços P3 (465 mg/L), P4 (669 mg/L) e P5 (411 mg/L) e P26 (408 mg/l), parecem estar associados, sobretudo, a presença das Lagoas de Grussaí e Iquipari, que possivelmente exercem influência na qualidade das águas do aquífero livre.

Lançando no Software QualiGraf 9 (Mobus 2009) os valores de condutividade elétrica, que automaticamente são convertidos para valores de STD, foi possível classificar essas águas de acordo com o grau de salinidade (Figura 6-3).

O resultado dessa classificação mostra que as águas do aquífero livre no município são predominantemente doces, sendo que do total de 44 amostras, 75% (33) foram classificadas como água doce e 25% amostras (11) como água salobra. Observa-se ainda que nenhuma amostra analisada foi classificada com água salgada.

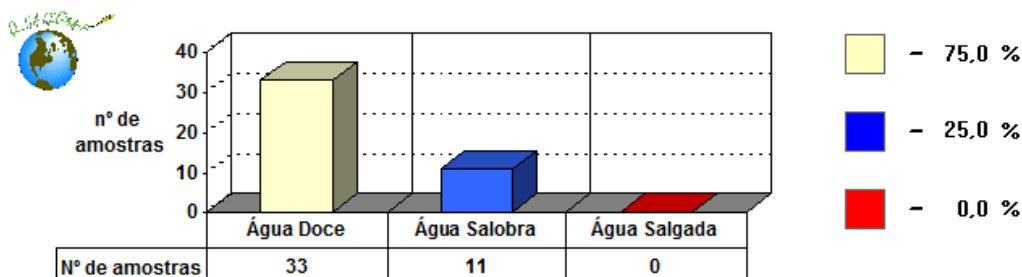


Figura 6-3 - Classificação da água com base no STD das amostras dos poços rasos.

Poços Profundos

Apenas 11 dos 26 poços tubulares profundos levantados apresentam dados referentes aos valores de STD. Essas águas também apresentam fraca mineralização como característica principal, apresentando uma concentração média de 392 mg/L, variando entre o mínimo de 208 mg/L no poço PP21 (poço de 220m de profundidade da OSX em Barra do Açu) e o máximo de 644 mg/L no poço PP22 (poço de 242 m localizado na Praia do Açu). Todas as amostras estão de acordo com os padrões aceitos pela Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde, que estabelece o Valor Máximo Permitido (VMP) para STD de 1.000 mg/L para água potável.

Lançando no Software QualiGraf 9 (Mobus 2009) os valores de condutividade elétrica disponíveis apenas de 12 dos 26 poços profundos, que automaticamente são convertidos para valores de STD, foi possível classificar essas águas de acordo com o grau de salinidade (Figura 6-4). Para os poços profundos, o resultado dessa classificação mostra que 58,3% (7 amostras) das amostras apresentam águas doces e 41,6% (5 amostras) água salobra. Observa-se ainda que nenhuma amostra analisada foi classificada com água salgada.

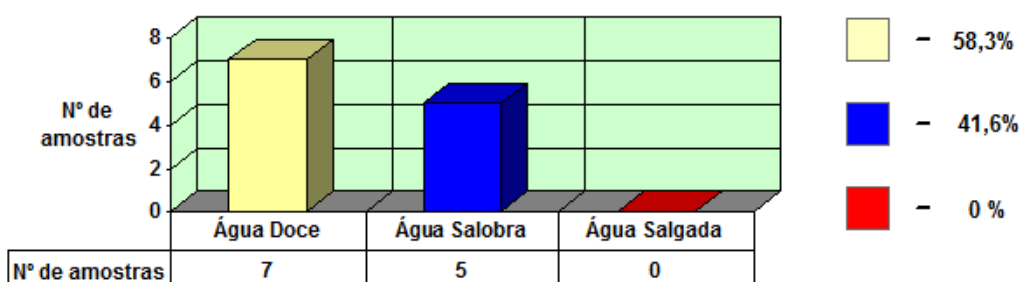


Figura 6-4 - Classificação da água dos poços profundos.

Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica (CE) é uma grandeza diretamente proporcional à concentração iônica na água, permitindo avaliar, de forma rápida e global, o seu grau de mineralização. Este fato resulta da relação existente entre o teor em sais minerais dissolvidos na água e a resistência que ela oferece à passagem da corrente elétrica.

A condutividade fornece informações sobre as condições do sistema aquífero, desde a disponibilidade de nutrientes minerais e orgânicos, até à existência de possíveis fontes poluidoras. Segundo Mendes e Oliveira (2004) os sais existentes na água possuem origens diversas, podendo resultar de processos de lixiviação do solo, de carbonatos, bicarbonatos, cloretos, nitratos e outros solúveis, ou podem provir de efluentes e resíduos agrícolas e/ou industriais, que contaminam essas águas.

Poços Rasos

Observa-se que a condutividade elétrica nos 44 poços rasos avaliados na área de estudo, situa-se na média de 535 $\mu\text{S}/\text{cm}$, variando entre o mínimo de 84 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no poço P35 (no distrito de Caetá) e o máximo de 1.338 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no poço P4 (próximo a Lagoa de Grussaí). Os maiores valores de CE podem estar relacionados a recarga deste aquífero. Não se pode descartar ainda a influência da contaminação antrópica, principalmente através do aporte de efluentes domésticos lançados de forma inadequada (fossas, etc.), situadas nas proximidades de alguns poços.

A Figura 6-5 a seguir mostra a situação do poço P43, próximo à lagoa de Iquipari. Como pode ser visto bem próximo ao poço foram instaladas 3 fossas, construídas de forma totalmente inadequada, utilizando caixas d'água de pvc enterradas. Cabe ressaltar que o poço encontra-se inativo no momento, pois o estabelecimento não está em funcionamento, porém poderá ser utilizado no futuro.



Figura 6-5 - Fossas instaladas a poucos metros do poço P43.

A legislação brasileira não determina um valor máximo permitido para a CE. Contudo, a literatura técnica recomenda que a condutividade de uma boa água potável seja inferior a $750 \mu\text{S}/\text{cm}$ (LOGAN, 1965; MENDES & OLIVEIRA, 2004). Valores superiores podem trazer sabor desagradável a água, afetando sua capacidade de uso para consumo. Foram identificados 11 poços com valores acima de $750 \mu\text{S}/\text{cm}$ (P33, P28, P26, P23, P20, P19, P12, P10, P5, P4 e P3).

Com o intuito de analisar o comportamento espacial da salinidade das águas do aquífero livre do Município de SJB, foi confeccionado um mapa de isolinhas da condutividade elétrica representado pela Figura 6-6. Considerando que as amostras coletadas são de poços rasos, o mapa gerado para a representação espacial da condutividade elétrica permitiu a análise da área estudada como um todo. Utilizou-se para a confecção do mapa dados de 44 poços rasos.

Os valores de condutividade elétrica para cada ponto amostrado foram obtidos diretamente no campo, através de um condutímetro, e foram utilizados para a confecção do mapa de condutividade elétrica do aquífero livre.

O traçado das curvas de isovalores de CE para todo município foi feito utilizando-se os recursos do software SURFER. A interpolação dos valores de CE foi feita a partir do método de Kriging.

O mapa da Figura 6-6 mostra a distribuição da CE para o aquífero livre na área de estudo, e revela que ocorre predomínio de baixos valores de CE. Observa-se que os maiores valores estão localizados na porção nordeste do município, na localidade de Grussaí, onde fica evidenciada a influência das lagoas na qualidade das águas do aquífero livre.

Poços Profundos

De um total de 23 poços profundos localizados nos bancos de dados da OFIGEO-LECIV, foram utilizados aqui para a análise da CE, os dados de apenas 11 poços, selecionados após investigação da disponibilidade deste parâmetro e do balanço iônico. Os valores de condutividade elétrica para os pontos amostrados foram obtidos através das análises laboratoriais, uma vez que não foi possível a medição deste parâmetro em campo.

Observa-se que a os valores da condutividade elétrica nos 11 poços profundos avaliados, situam-se na média de 752 $\mu\text{S}/\text{cm}$, variando entre o mínimo de 530 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no poço PP23 (localizado no Distrito Industrial) e o máximo de 976 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no poço PP10 (localizado em Atafona).

Como dito anteriormente, a legislação brasileira não determina um valor máximo permitido para a CE, porém, a literatura técnica recomenda que a condutividade de uma boa água potável seja inferior a 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (LOGAN, 1965; MENDES & OLIVEIRA, 2004), pois valores superiores podem trazer sabor desagradável a água, afetando sua capacidade de uso para consumo. Desta forma, 50% dos poços profundos analisados, apresentam valores acima de 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (PP1 próximo a Grussaí, PP2 na sede de SJB, PP7 em Barcelos, PP10 em Atafona, PP14 em Cajueiro e PP15 em Pipeiras).

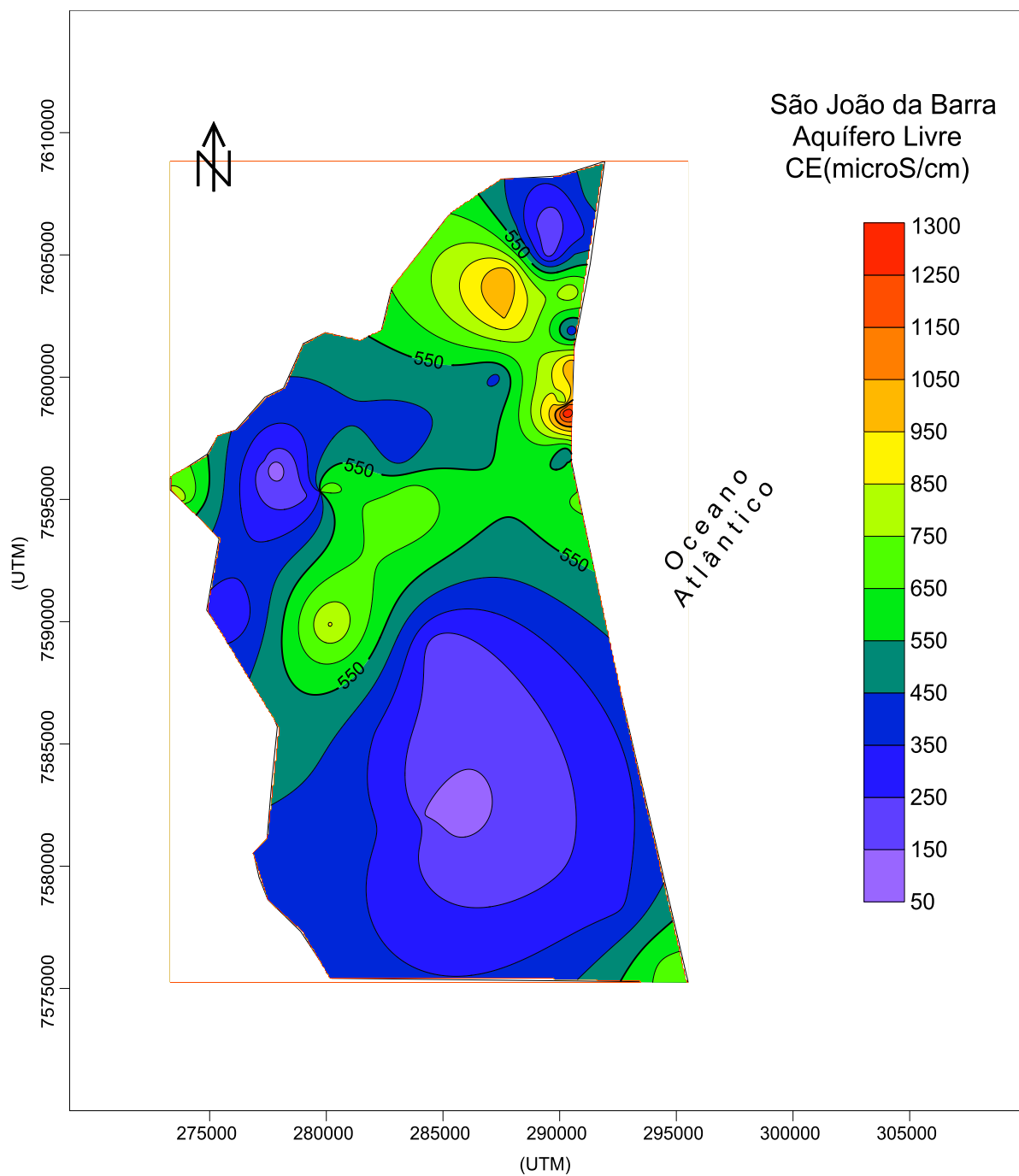


Figura 6-6 - Distribuição dos valores de CE no município de São João da Barra.

Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH de uma água representa a medida de sua acidez ou de sua alcalinidade, traduzida pela concentração hidrogeniônica. A maioria das águas subterrâneas, em seu estado natural, possuem pH entre 5,5 e 8,5.

De um modo geral, as águas de baixo pH tendem a ser corrosivas ou agressivas a certos metais, paredes de concreto e superfícies de cimento-amianto, enquanto que as águas de alto pH tendem a formar incrustações.

Poços Rasos

Na área de estudo, as medidas de pH das águas dos poços rasos mostram uma variação entre valores máximos situados em torno de 9,0 nos poços P44 e P45 (localidades de Vila da Terra e Engeitado respectivamente), e valores mínimos em torno de 6,5 no poço P21. O valor médio perante a análise de todos os pontos é de 7,9. Desta forma, todos os valores de pH encontram-se dentro dos limites estabelecido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (6,00-9,00).

Com o intuito de analisar o comportamento espacial dos valores de pH das águas do aquífero livre do Município de SJB, foi confeccionado um mapa de isolinhas do pH, representado pela Figura 6-7. Considerando que as amostras coletadas são de poços rasos, o mapa gerado para a representação espacial do pH permitiu a análise da área estudada como um todo. Utilizou-se para a confecção do mapa dados de 44 poços rasos.

Os valores de pH para cada ponto amostrado foram obtidos diretamente no campo, através de um pHmetro, sendo estes dados utilizados para a confecção do mapa de distribuição do pH do aquífero livre.

O traçado das curvas de isovalores de pH para todo município foi feito utilizando-se os recursos do software SURFER. A interpolação dos valores de pH foi feita a partir do método de Kriging.

O mapa da Figura 6-7 mostra a distribuição dos isovalores de pH medidos em campo. Observa-se que ocorre predomínio de valores de pH em torno de 7 a 7,5,

sendo os maiores valores (acima de 8) encontrados na porção nordeste próximo a Grussaí, e também na porção Oeste da área, no limite com o município de Campos dos Goytacazes. Já os menores valores de pH estão distribuídos na porção central da área.

Poços Profundos

De um total de 23 poços profundos localizados nos bancos de dados da OFIGEO-UENF, utilizaram-se aqui para a análise de pH os dados de apenas 10 poços, selecionados após investigação da disponibilidade deste parâmetro e do balanço iônico. Os valores de pH para os pontos amostrados foram obtidos através das análises laboratoriais, uma vez que não foi possível a medição deste parâmetro em campo, com exceção dos poços PP18 e PP23.

Na área de estudo, as medidas de pH das águas dos poços tubulares profundos, mostram uma variação entre valores máximos situados em torno de 8,0 nos poços PP11 e PP18 (ambos próximos a localidade Barra do Açu), e valores mínimos em torno de 6,4 no poço PP15 (na localidade de Pipeiras). O valor médio perante a análise de todos os 10 poços é de 6,98.

Desta forma, todos os valores de pH encontram-se dentro dos limites estabelecido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (6,00-9,00).

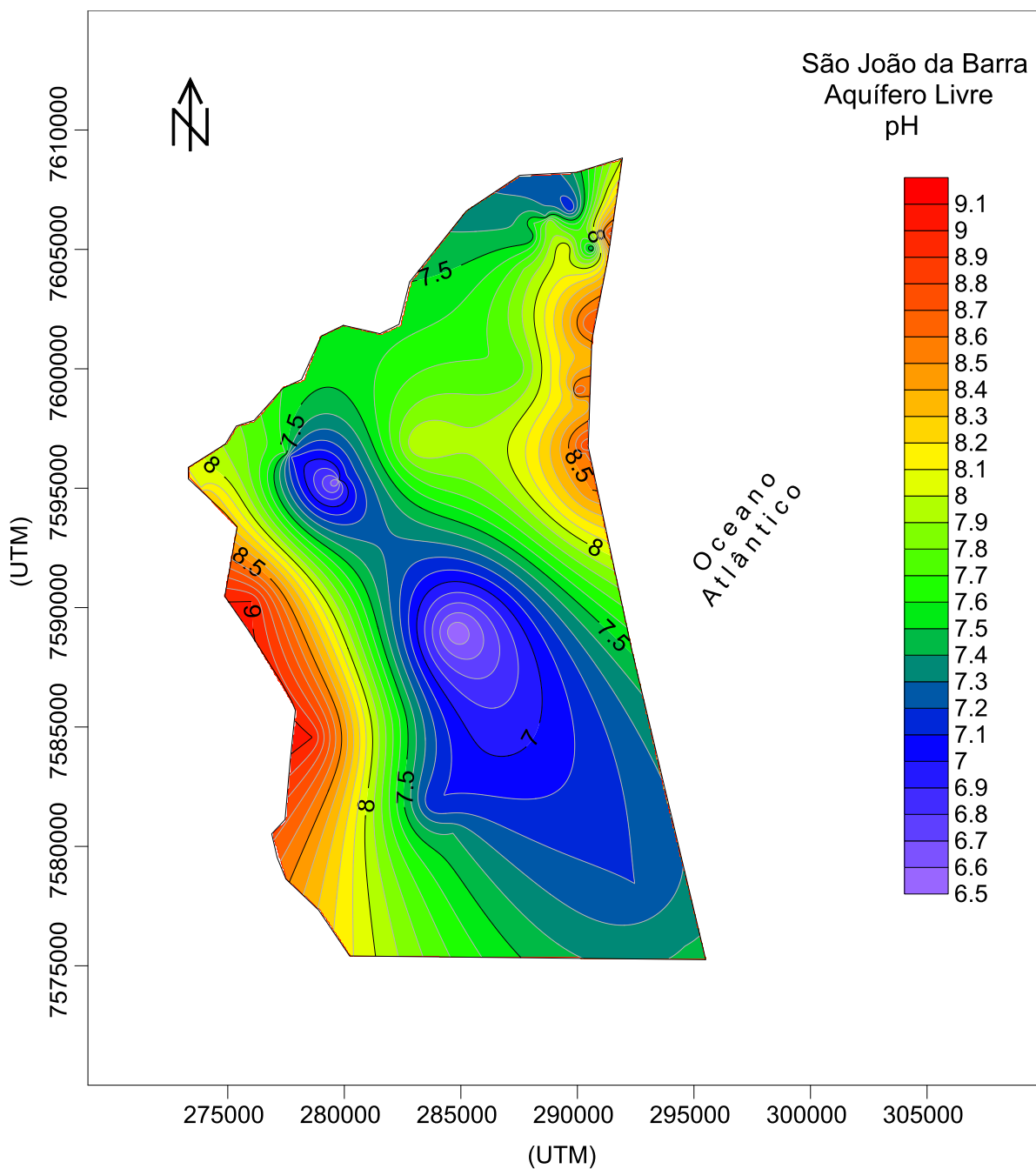


Figura 6-7 - Distribuição dos valores de pH no município de São João da Barra.

Temperatura

Em relação a qualidade das águas, a temperatura é importante por acelerar reações químicas e reduzir a solubilidade dos gases, bem como acentuar o sabor e odor das águas naturais.

No Geral as águas subterrâneas apresentam pequena variação térmica, pois sua temperatura não é influenciada pelas mudanças da temperatura atmosférica.

Exceções são os aquíferos freáticos pouco profundos. Em profundidades maiores a temperatura da água sofre influência do grau geotérmico local (em média 1°C a cada 30 m).

Poços Rasos

Na área de estudo, as medidas de temperatura mostram uma variação entre valores máximos situados em torno de 30⁰ C no poço P45, e valores mínimos em torno de 23,7⁰ C no poço P23. O valor médio perante a análise de todos os pontos é de 26,3 0 C.

Com o intuito de analisar o comportamento espacial da temperatura das águas do aquífero livre do Município de SJB, foi confeccionado um mapa de isolinhas da temperatura representado pela Figura 6-8. Considerando que as amostras coletadas são de poços rasos, o mapa gerado para a representação espacial da temperatura permitiu a análise da área estudada como um todo. Utilizou-se para a confecção do mapa dados de 44 poços rasos.

Os valores de condutividade elétrica para cada ponto amostrado foram obtidos diretamente no campo, e foram utilizados para a confecção do mapa de distribuição da temperatura do aquífero livre.

O traçado das curvas de isovalores de temperatura para todo município foi feito utilizando-se os recursos do software SURFER. A interpolação dos valores de foi realizada a partir do método de Kriging.

A Figura 6-8 mostra a distribuição espacial dos valores de temperatura no município. Observa-se que as maiores temperaturas localizam-se na porção sudoeste da área, no limite com município de São João da Barra. Observa-se ainda o predomínio de águas com temperaturas em torno de 26,5 a 27 ⁰C.

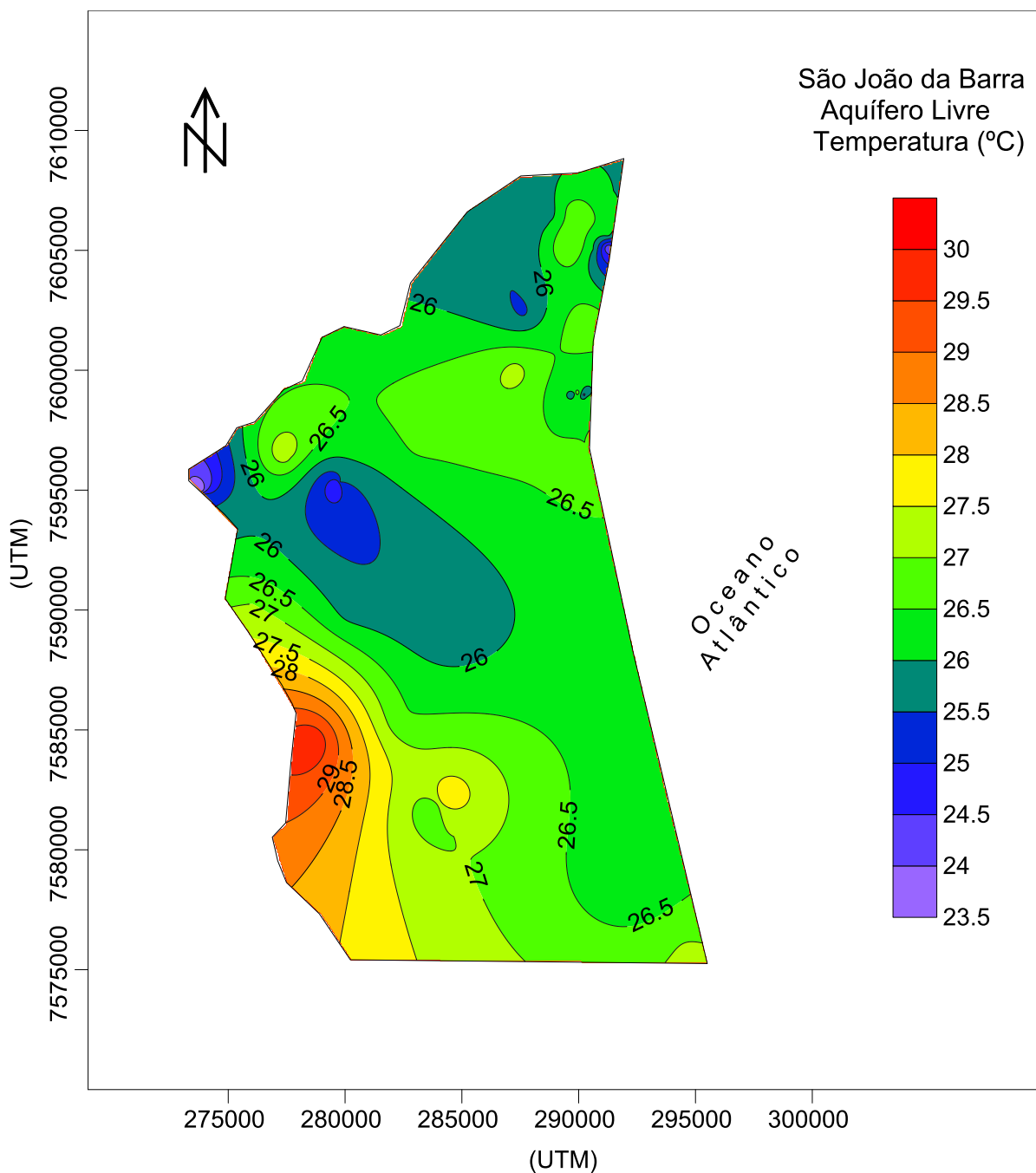


Figura 6-8 - Distribuição dos valores de temperatura no município de São João da Barra.

Poços Profundos

De um total de 23 poços profundos localizados nos bancos de dados da OFIGEO-LECIV, foram utilizados aqui para a análise da temperatura os dados de apenas 13 poços, selecionados após investigação da disponibilidade deste parâmetro. Os valores de temperatura para os pontos amostrados foram obtidos

através de medições em campo realizadas no final do mês de fevereiro e início de março de 2012, e que já estavam armazenadas no banco de dados.

Na área de estudo, as medidas de temperatura mostram uma variação entre valor máximo de 31,7 °C no poço PP16 (poço da Prefeitura na localidade de Mato Escuro), e valor mínimo em torno de 20 °C no poço PP18 (na localidade de Barra do Açu). O valor médio perante a análise de todos os pontos é de 27,41°C.

6.2.2. Análises Laboratoriais das Águas dos Poços Rasos e Profundos

Como visto anteriormente no capítulo da metodologia, foram cadastrados durante as campanhas de campo 45 poços rasos, onde foram selecionados 15 poços distribuídos pela área de estudo (zona rural e urbana), em que foram realizadas análises completas pelo Laboratório de Caracterização de Águas da PUC–Rio de Janeiro.

Também foram localizadas nos bancos de dados do OFIGEO-UENF, informações referentes a 23 poços profundos localizados no município de São João da Barra. Dentre estes, apenas 12 apresentam dados suficientes para análise Hidroquímica, sendo maior parte das análises realizadas também pelo Laboratório de Caracterização de Águas da PUC-Rio de Janeiro. Todas as amostras foram coletadas durante campanhas de campo realizadas no final de fevereiro e início de março de 2012, com exceção dos Poços PP18, PP23 e PP10 que não disponibilizavam a data da coleta. Apenas a análise do poço PP10 foi efetuada pelo Laboratório de Análises Mineraias do Serviço Geológico do Brasil (LAMIN-CPRM), e as análises dos poços PP18 e PP23 não disponibilizavam a procedência laboratorial.

Os valores de cada parâmetro analisado para os poços rasos e profundos, estão relacionados nos anexos V e VI.

Aqui, primeiramente verificou-se a qualidade dos resultados e posteriormente foram analisados a alcalinidade, a dureza, os principais cátions, ânions e principais íons tóxicos e carcinógenos.

Avaliação da Qualidade dos Resultados

Para avaliar a qualidade dos resultados realizou-se o cálculo de erro do balanço iônico (e%). Para água potável esse erro não deve ser superior a 5%, no entanto, devido ao número reduzido de amostras optou-se por aceitar até 10% de erro do balanço iônico para as análises serem consideradas confiáveis.

De um total de 15 amostras analisadas para os poços rasos, apenas 3 apresentaram erro superior a 5%. Como pode ser observado no Gráfico para os poços rasos a seguir, todas as amostras apresentam erro inferior a 10%, portanto não foi necessário a exclusão de nenhuma das análises.

Já das 12 amostras dos poços profundos analisadas, apenas 1 apresentou erro superior a 5%, o que demonstra a boa qualidade e confiabilidade dos dados, como pode ser observado nos gráficos a seguir (Figura 6-9 e Figura 6-10). Como observado no Gráfico do balanço iônico para as amostras dos poços profundos, todas as análises apresentaram erro inferior a 10%, portanto não foi necessário a exclusão de nenhuma das análises.

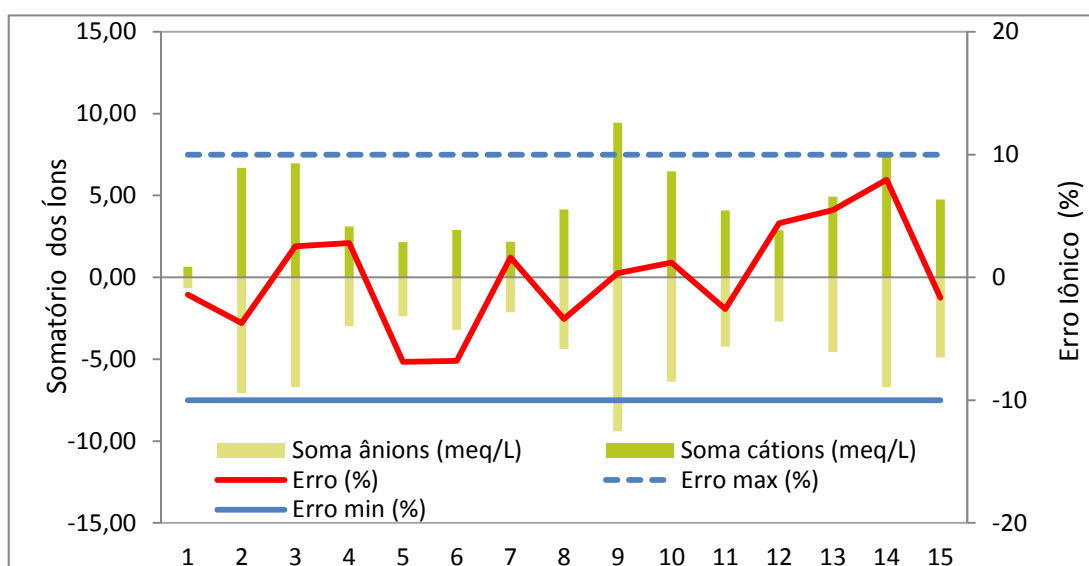


Figura 6-9 - Erro do balanço iônico para as 15 amostras dos poços rasos.

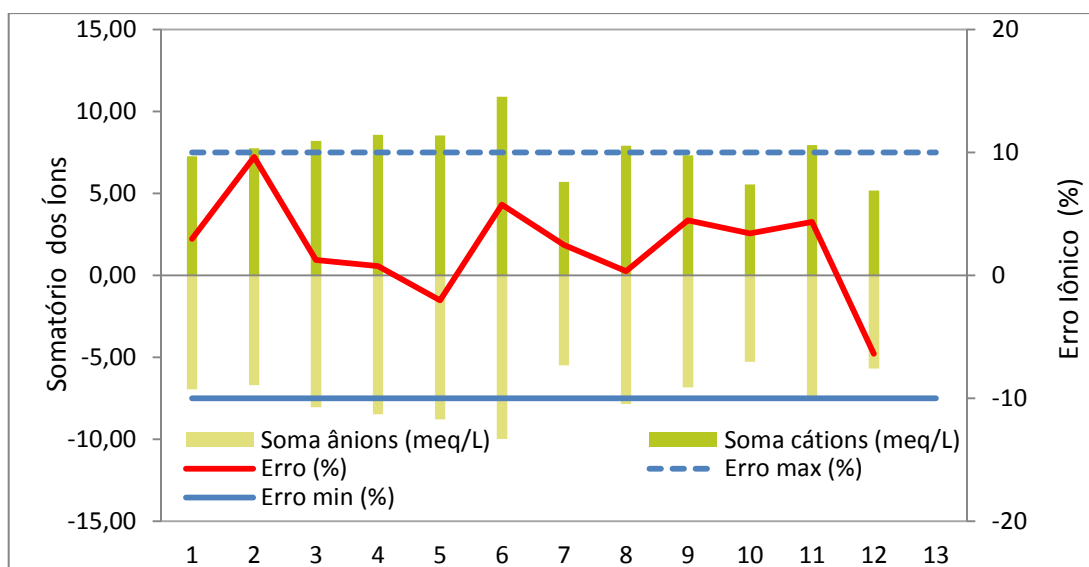


Figura 6-10 - Erro do balanço iônico para as 12 amostras dos poços profundos.

Alcalinidade Total em CaCO_3

A Alcalinidade é a medida total das substâncias presentes na água, e capazes de neutralizarem ácidos. Em outras palavras, é a quantidade de substâncias presentes na água e que atuam como tampão. Se numa água quimicamente pura ($\text{pH}=7$) for adicionada pequena quantidade de um ácido fraco seu pH mudará instantaneamente. Numa água com certa alcalinidade a adição de uma pequena quantidade de ácido fraco não provocará a elevação de seu pH , porque os íons presentes irão neutralizar o ácido.

Em águas subterrâneas a alcalinidade é devida principalmente aos carbonatos e bicarbonatos e, secundariamente, aos íons hidróxidos, silicatos, boratos, fosfatos e amônia

Se um manancial tem abundância de material tampão (alta alcalinidade), ele é mais estável e resistente às variações de pH . Se, por outro lado, volumes crescentes de ácidos (a chuva ácida, por ex.) são adicionados ao lago, a sua capacidade tampão é consumida. Se os solos e rochas do entorno acrescentam material tampão adicional, a alcalinidade pode, eventualmente, ser restaurada.

Poços Rasos

As águas dos 15 poços rasos analisados, têm valores de alcalinidade que variam de 4,32 mg/L no poço P32-A (na localidade de Amparo) a 295 mg/L no poço P26 (na localidade de Grussaí), com média 95,99 mg/L. Esses valores mostram que essas águas apresentam certa capacidade em neutralizar os ácidos que estão presentes em subsuperfície, principalmente o ácido proveniente do solo.

Poços Profundos

Os dados referentes à alcalinidade estavam disponíveis apenas para 10 das amostras que passaram pelo balanço iônico. Assim, verificou-se que os valores de alcalinidade variam de 80,82 mg/L no poço PP13 (na localidade de Cajueiro) a 253,28 mg/L no PP11 (Praia do Açú). A média dos valores de alcalinidade ficou em torno de 124 mg/L.

Dureza

A dureza de uma água pode ser avaliada pela capacidade de consumir sabão e produzir incrustações, sendo expressa em mg/L de CaCO₃. Custódio & Llamas (1983) apresentaram uma classificação para as águas subterrâneas a partir dos teores de dureza, conforme mostra a Tabela 6-3. As águas duras são incrustantes e produzem grande consumo de sabão, além de dificultar o cozimento dos alimentos.

Tabela 6-3 - Classificação das águas segundo a dureza (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983).

Tipo	CaCo₃ (mg/L)
Branda	< 50
Pouco Dura	50 - 100
Dura	100 - 200
Muito Dura	> 200

Poços Rasos

A classificação das águas dos poços rasos da área com relação a sua dureza (teor de CaCO₃ em mg/L) a partir de um universo de 15 amostras, revela que 20% delas possuem águas “brandas”, 26,7% “pouco dura”, 40% possuem características de “dura” e 13,3% possuem características de “muito dura” (Figura 6-11).

As amostras com menores valores de dureza encontram-se nos poços P32-A, P35-A e P45 com valores menores que 50 mg/L (nas localidades de Amparo, Caetá e Engeitado respectivamente). As águas dos poços P26 e P43 apresentam os maiores valores, acima de 200 mg/L. A média dos valores de Dureza na área de estudo é de 105,5 mg/L.

Nenhuma das amostras de água dos poços rasos encontra-se fora padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, que é de até 500 mg/L de CaCO₃.

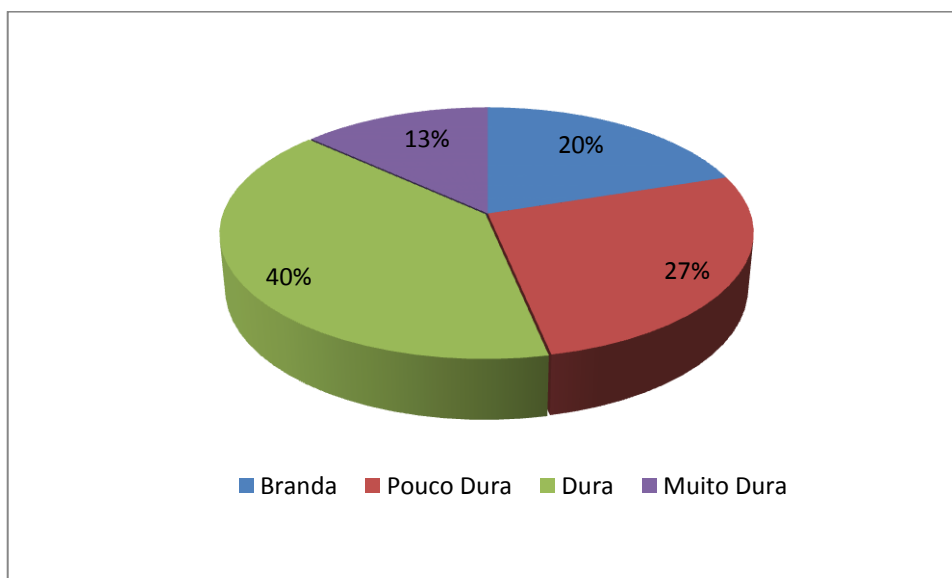


Figura 6-11 - Valores de Dureza das águas dos 15 poços rasos amostrados.

Poços Profundos

A classificação das águas dos poços profundos da área com relação a sua dureza (teor de CaCO₃ em mg/L), a partir de um universo de 12 amostras selecionadas após o balanço iônico, revela que são predominantemente “pouco

duras” (75%) e “brandas”, 69,2%, sendo que nenhuma possui características de “dura”, e “muito dura” (Figura 6-12).

As amostras com menores valores de dureza, são dos poços PP1, PP13 e PP23, com valores menores que 50 mg/L (nas localidades de Amparo, Caetá e Enjeitado respectivamente). Nenhuma das águas dos poços profundos analisados apresentam valor acima de 200 mg/L. A média dos valores de Dureza na área de estudo é de 66 mg/L.

Nenhuma das amostras de água dos poços profundos encontra-se fora padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, que é de até 500 mg/L de CaCO_3 .

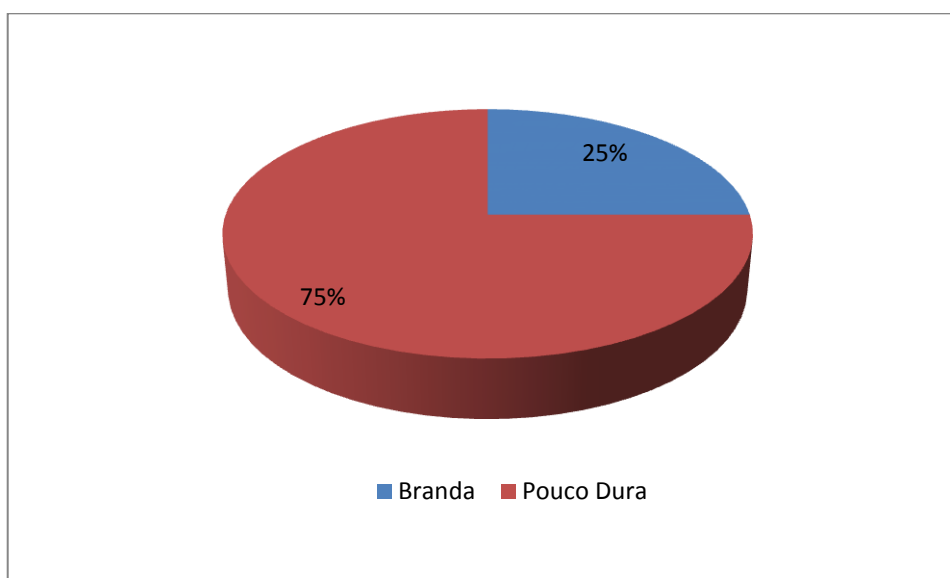


Figura 6-12 - Valores de Dureza das águas dos 13 poços profundos amostrados.

Silício

O silício é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre. O volume de sílica ocorrente nas águas subterrâneas vem do intemperismo de minerais silicatados, enquanto que a sílica cristalina (quartzo) é quase insolúvel. Concentrações muito altas de sílica são encontradas em águas com pH acima de 9 e são muito raras.

Poços Rasos

Os menores valores de silício encontrados nas 15 amostras coletadas dos poços rasos, correspondem aos poços P36 (7,57 mg/L) e P39 (7,79 mg/L) localizados nos distritos de Campo da Praia e Água Preta respectivamente. Já os maiores valores correspondem ao poço P45 (54,2 mg/L) que fica na localidade de Enjeitado, na Escola Luiz Gomes. A média dos valores de silício presente nas amostras é de 17,5 mg/L.

Poços Profundos

Os valores de SiO_2 estavam disponíveis em apenas 8 amostras das 12 que passaram pelo balanço iônico. O menor valor de sílica encontrados nas águas dos poços profundos, correspondem ao Poço PP10 (29,58 mg/L), localizado em Atafona.

Já os maiores valores correspondem as águas coletadas nos poços PP7 (63,9 mg/L) próximo a Grussaí e PP13 (63,2 mg/L) localizado em Cajueiro. A média dos valores de silício presente nas amostras de água dos poços profundos é de 55,8 mg/L.

Como esperado, observa-se que as águas dos poços profundos apresentam concentrações mais elevadas de SiO_2 . Apesar da grande estabilidade dos minerais de quartzo no ambiente, as águas dos poços profundos possuem maior tempo de residência, portanto são mais antigas, e desta forma possuem maiores concentrações deste íon.

Íons Principais das Águas Subterrâneas

Sódio

Poços Rasos

A concentração de sódio nas águas dos 15 poços rasos amostrados oscilaram de 4,62 (poço P13 na localidade de Caetá) a 119,0 mg/L (poço P26 na

localidade de Grussaí), com média em torno de 48,8 mg/L. Os poços P23, P41 e P45 (localizados em Barcelos, Barra do Açu e Enjeitado respectivamente) também apresentam valores bastante elevados com relação aos demais.

Todos os valores encontram-se dentro do limite de 200 mg/L, estabelecido pela Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde para águas potáveis.

Poços Profundos

A concentração de sódio nas águas dos 12 poços profundos amostrados oscilaram de 79,84 mg/L (poço PP23 localizado no distrito industrial), a 219,0 mg/L (poço PP12 na localidade de Grussaí, com 161m de profundidade), com média em torno de 136,8 mg/L.

Segundo a portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, o valor máximo de sódio permitido para água potável é de 200 mg/L. Desta forma, apenas o poço PP12 apresenta concentrações deste íon acima do máximo permitido pela legislação.

Como observado, as consideráveis concentrações de sódio em aquíferos litorâneos, podem estar relacionadas à intrusão da água do mar, fenômeno conhecido como intrusão salina, como abordado durante o capítulo da revisão de literatura.

A quantidade de sódio presente na água é um elemento limitante de seu uso na agricultura, como será abordado no tópico sobre a classificação das águas para irrigação. Além disso, o consumo de águas com elevadas concentrações de sódio, pode trazer problemas as pessoas que têm predisposição às doenças cardiovasculares.

Potássio

Poços Rasos

Os valores de potássio encontrados para as 15 amostras variam de 1,94 mg/L (poço P35-A na localidade de Caetá) a 95,6 mg/L no poço P42 na zona rural do município (Rua do Galinheiro). A média desses valores foi de 14,11 mg/L.

A legislação nacional não estabelece valor máximo permitido para o potássio nas águas potáveis. Nas águas subterrâneas o teor médio é geralmente inferior a 10mg/L, porém, as águas de 6 poços rasos analisados possuem concentrações de potássio acima deste valor (P8, P23, P32-A, P39 e P4).

A exemplo do poço P42, alguns dos elevados valores de potássio encontrados podem estar relacionados à utilização de fertilizantes químicos na agricultura local (Figura 6-13). Isso fica mais evidente, uma vez que a água do poço P42 apresentou também altos valores relativos de fosfato, e está contaminado por nitrato, reforçando assim a suspeita levantada.



Figura 6-13 - Pode ser observado o cultivo de cítricos aos fundos, bem próximo ao poço P42.

Poços Profundos

As análises de potássio dos 12 poços profundos analisados, apresentam valores que variam de 2,59 mg/L no poço PP13 (localidade de Cajueiro) a 10,98 mg/L no poço PP18 (localidade de Barra do Açu). A média dos valores de potássio das águas dos poços profundos é de 6,85 mg/L, e além do poço PP21, apenas PP13 (localizado em Grussaí) apresenta concentração de potássio acima de 10 mg/L.

Cálcio

O cálcio é um dos principais constituintes da água e o principal responsável pela dureza, apresentando-se, em geral, sob a forma de bicarbonato e raramente

como carbonato. A solubilidade do bicarbonato de cálcio aumenta em presença de sais de sódio e potássio. Nas águas subterrâneas (Feitosa et al, 2008)

Poços Rasos

Os menores valores de cálcio nas 15 amostras analisadas são nos poços P35-A e P45 nas localidades de Caetá e Enjeitado respectivamente. Já os maiores valores encontrados foram no poço P26 (68,9 mg/L) na localidade de Grussaí. A média dos valores de cálcio nas amostras analisadas é 31,85 mg/L.

Poços Profundos

Os menores valores de cálcio nas 13 amostras analisadas são nos poços PP13 (5,21 mg/L) e PP1 (5,7 mg/L) nas localidades de Cajueiro e Grussaí respectivamente. Já o maior valor encontrado foi poço PP2 (34 mg/L) bem próximo a sede de SJB. A média dos valores de cálcio nas amostras dos poços profundos analisadas é 13,68 mg/L.

Magnésio

Poços Rasos

Os maiores valores de magnésio obtidos foram 16 mg/L (poço P42) e 15,3 mg/L (poço P43 bem próximo a lagoa de Iquipari). Os valores mínimos foram de 1,4 mg/L (poço P45 na localidade de Enjeitado) e 1,64 mg/L (poço P35-A na localidade de Enjeitado). A média dos valores de magnésio nas amostras analisadas é de 6,3 mg/L.

Poços Profundos

Além do poço PP2 (localizado na sede SJB) onde não foi detectada a presença de magnésio, o valor mínimo entre os poços analisados é de 0,62 mg/L no poço PP12 (na localidade de Grussaí). A maior concentração de magnésio entre as

12 amostras analisadas é no poço PP15 com 17,6 mg/L (na localidade de Pipeiras). A média dos valores de magnésio entre as amostras analisadas é de 9,2 mg/L.

Ferro

O ferro ocorre geralmente associado ao manganês e confere à água um sabor amargo adstringente e coloração amarelada e turva (Figura 6-14), decorrente de sua precipitação quando oxidado. Os minerais ferromagnesianos, componentes dos diversos litotipos ou de solos lateríticos, tais como piroxênios, olivinas e biotita, são os principais minerais portadores de ferro. Nos arenitos e nos folhelhos, os óxidos, os carbonatos e os hidróxidos de ferro constituem, muitas vezes, o material de cimentação.

Poços Rasos

Os menores valores de concentração de ferro nas águas dos 15 poços rasos analisados, é de 0,005 mg/L nos poços P14 e P43 (localizados em Atafona e próximo a Lagoa de Iquipari respectivamente). Como a concentração de ferro nestas amostras não atingiu o limite de detecção do equipamento utilizado pelo laboratório, considerou-se para estes casos, que o teor deste elemento corresponde à metade do valor do limite de detecção que era de 0,01 mg/L.

Já a maior concentração de ferro detectada, de 3,93 mg/L, corresponde a amostra coletada no poço P36, localizado no Distrito de Campo da Praia. A média do teor de ferro das amostras analisadas é de 1,154 mg/L. Isso demonstra uma elevada concentração deste elemento nas águas do aquífero livre do município de São João da Barra.

O valor máximo permitido de ferro nas águas potáveis de acordo com a portaria 2914/11 do Ministério da Saúde é de 0,3 mg/L. Assim, observa-se que das 15 amostras analisadas para os poços rasos, 7 apresentam concentrações de ferro acima do máximo permitido (P8, P36, P39, P40, P41, P42 e P44) (Figura 6-14).

Os teores elevados de deste elemento no aquífero livre, podem estar associados à presença de camadas e lentes de materiais argilosos ricos em matéria orgânica, relacionados ao sistema deposicional fluvio-lagunar e marinho que deram origem aos depósitos hoje encontrados na região.



Figura 6-14 – Amostra do poço raso P42 na localidade de Cajueiro e P40 na Estrada do Salgado, com alto teor de ferro.

Poços Profundos

Apenas 11 das 12 amostras que passaram pelo balanço iônico possuíam dados referentes à concentração de ferro. O menor teor de ferro entre as amostras analisadas é de 0,019 mg/L no poço PP10 (localizado em Atafona). A amostra do poço PP15, na localidade de Pipeiras, foi a que apresentou maior concentração de ferro entre todas amostras analisadas (3,74 mg/L). A média foi de 0,633 mg/L.

O valor máximo permitido de ferro na água potável de acordo com a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde é de 0,3 mg/L. Portanto, 50% das amostras analisadas apresentam teores de ferro acima do máximo permitido (PP7 em Grussaí, PP13 em Cajueiro, PP14 em Grussí, PP15 em Pipeiras, PP16 em Mato Escuro e PP23 no Distrito Industrial).

Esses valores demonstram que apesar do grande potencial hidrogeológico de toda Bacia Sedimentar de Campos, em especial o município de São João da Barra, os estudos relacionados à hidrogeologia desta região precisam ser aprofundados, tanto nos aspectos relacionados à geologia e hidrodinâmica, quanto à qualidade das águas dos aquíferos, a fim de tentar diminuir prejuízos e problemas causados pela perfuração de poços de grande porte (que demandam grandes investimentos) sem o conhecimento hidrogeológico necessário. Apesar de ser um problema comum nesta região, as altas concentrações de ferro nas águas podem ser tratadas, tornando-as adequadas para consumo.

Como descrito no capítulo sobre a caracterização do município de SJB, na descrição hidrogeológica, a presença de ferro nas águas dos principais aquíferos

ocorrentes é comum em alguns casos devido às litologias presentes na área. Um dos principais aquíferos que ocorre no município de SJB, de acordo com os principais estudos publicados até o presente, denominado pela CPRM (2001) como Aquífero São Tomé, é composto por arenitos avermelhados, lateríticos com argilas cálcicas, sobre arenitos consolidados argilosos.

Algumas Consequências do Ferro na Água Subterrânea

Segundo Feitosa et al (2008) no corpo humano, o ferro atua na formação da hemoglobina (pigmento do glóbulo vermelho que transporta oxigênio dos pulmões para os tecidos). A sua carência pode causar anemia e seu excesso pode aumentar a incidência de problemas cardíacos e diabetes. A avaliação do ferro nas águas subterrâneas para o consumo humano se dá em função de suas propriedades organolépticas. Delvin, et al (1998) afirma que o acúmulo de ferro no fígado, no pâncreas e no coração pode levar a cirrose e tumores hepáticos, diabetes *mellitus* e insuficiência cardíaca, respectivamente. Ainda Mahan (2000) afirma que o ferro em excesso pode ajudar a gerar quantidades excessivas de radicais livres que atacam as moléculas celulares, desta forma aumentando o número de moléculas potencialmente carcinogênicas dentro deles.

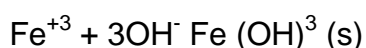
Segundo Freitas (2002), a presença de microorganismos que retiram sua fonte de energia de reações químicas de oxidação é muito comum na natureza. No caso do ferro bactérias, as fontes de energia são sais solúveis de ferro, os quais após a metabolização transformam-se em hidratos de ferro, formando precipitados de cor marrom que normalmente apresentam-se em forma de flocos. Esta atividade biológica causa sérios problemas em poços tubulares, provocando incrustações nas colunas filtrantes e nos conjuntos moto bomba submersíveis, com consequentes quedas de vazão. Também nas estações de tratamento de água (ETA), o acúmulo de flocos acarreta a colmatação prematura das unidades filtrantes, com consequente diminuição no espaçamento entre lavagens e aumento no consumo da água de lavagem.

Processos de Tratamento da Água para retirada do Ferro

Via de regra, as águas de poços exigem tratamento menos rigoroso do que as águas de superfície, porquanto estão bastante avançadas no processo natural de depuração. O objetivo do tratamento da água é melhorar a qualidade do suprimento sob os aspectos bacteriológico e químico. A utilização da água é o fator predominante na justificação do seu grau de tratamento (CETESB,1978).

No caso do ferro, existem vários processos para a remoção de seu excesso. Conforme RICHTER E NETO (1991), entre os vários processos para remoção de ferro nas águas, incluem-se a aeração seguida de contato ou filtração e a aeração seguida de coagulação, decantação e filtração. A escolha do processo dependerá da forma como as impurezas de ferro se apresentam. No caso de águas limpas que prescindem de tratamento químico, que é caso das águas subterrâneas (poços, fontes, galerias de infiltração), contendo bicarbonato ferroso dissolvido (na ausência de oxigênio) o primeiro processo é o mais indicado.

Para BAIRD (2002) a aeração é comumente usada para a melhoria da qualidade da água. As plantas municipais de tratamento promovem a aeração da água a ser bebida, extraída de aquíferos, com o objetivo de remover gases dissolvidos, como H₂S e compostos organossulfurados de odor fétido, além de compostos orgânicos voláteis, alguns dos quais podem ter um cheiro detectável. A aeração da água que está sendo potabilizada resulta também em reações que produzem CO₂ a partir do material orgânico mais facilmente oxidável. Uma outra vantagem da aeração consiste em que o aumento na concentração de oxigênio na água oxida o Fe⁺² solúvel para Fe⁺³, que forma então, hidróxidos insolúveis (e espécies relacionadas) que podem ser removidas como sólidos:



Todos os ácidos dificultam a precipitação do ferro. Para efetiva remoção do ferro contido em uma água ácida, deve ser adicionada uma base para a alcalinização anterior à filtração. Se o ferro estiver presente junto com a matéria orgânica, as águas em geral não dispensarão o tratamento químico (coagulação e

precipitação) e a filtração. A instalação completa compreenderá então as unidades clássicas de uma estação de tratamento com aeração inicial (aeração, floculação, decantação e filtração). Sempre que forem captadas águas com teores elevados de ferro, é muito importante verificar a forma e o estado em que se apresentam essas impurezas. As determinações e os ensaios de laboratório podem oferecer valiosas informações para os projetistas (RICHTER e NETO, 1991).

Outra forma de evitar os inconvenientes da precipitação de sais de ferro é usar substâncias complexantes, à base de fosfato, que encapsulam as moléculas destes sais, formando compostos estáveis, não oxidáveis nem através de forte cloração, e desta forma mantendo-as permanentemente em solução. Os fosfatos cristalinos ou polifosfatos são úteis no tratamento químico de poços porque podem, efetivamente, dispersar o hidróxido de ferro, o óxido de ferro, o hidróxido de manganês, silte e argila. Uma importante vantagem do uso de polifosfatos reside no fato de serem produtos químicos de manuseio seguro. O inconveniente deste processo é que ele não elimina o ferro presente na água, e ainda adiciona mais produto químico (fosfatos) à mesma.

Nitratos

A maioria dos solos possuem colóides (argilas) com carga negativa, esta característica explica porque o nitrogênio na forma de nitrato (NO_3^-) lixivia mais facilmente no solo, do que nitrogênio na forma de amônio (NH_4^+). O nitrato é pouco retido no solo, permanecendo como íon livre na água do solo, passível de ser lixiviado através do perfil de certos solos e sob certas condições pluviométricas.

As principais fontes de nitrato para as águas subterrâneas são de origem antrópica difusa, podendo ser citadas: aplicação de fertilizantes e insumos nitrogenados, utilização de fossas negras, vazamentos das redes coletoras de esgoto e influência de rios contaminados na zona de captação de poços. O nitrogênio de origem mineral ocorre em rochas denominadas evaporitos.

Concentrações de nitrato superiores a 5 mg/L indicam uma alteração do equilíbrio natural, principalmente por influência antrópica sobre a qualidade das águas subterrâneas.

Em concentrações elevadas, o nitrato está associado à doença da metahemoglobinemia ou síndrome do bebê azul, que dificulta o transporte de oxigênio na corrente sanguínea de bebês podendo acarretar a asfixia. Em adultos, a atividade metabólica interna impede a conversão do nitrato em nitrito, que é o agente responsável por essa enfermidade. Atualmente sabe-se que nitritos, em determinadas condições, podem-se combinar-se com aminas secundárias, formando nitrosaminas, produtos estes considerados carcinogênicos, teratogênicos e mutagênicos segundo testes experimentais realizados em animais. Outros estudos relacionam estatisticamente os cânceres gástricos e os cânceres de colo com o consumo excessivo de nitratos (BRASIL 2008).

O consumo de água com elevado teor de nitrato, além de causar danos ao homem prejudicam animais e podem causar danos ambientais, tais como a eutrofização.

De acordo com FEITOSA & MANOEL FILHO (2000, apud SANTOS, 2000), o nitrato representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica e teores elevados podem ser indicativos de contaminação da água subterrânea por atividade humana (esgoto, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados, resíduos de animais etc.).

Poços Rasos

A portaria 2914/2011 estabelece 10 mg/L como valor máximo permitido de nitrato. Sendo assim, as águas de 7 dos 15 poços rasos analisados apresentam valores maiores que o máximo permitido pela portaria.

Durante as campanhas de campo foi possível observar possíveis fontes de contaminação de nitrato em alguns poços como pode ser observado na Figura 6-5, que mostra um poço raso inativo a menos de três metros de uma fossa em um estabelecimento próximo a lagoa de Iquipari.

Os poços contaminados por nitrato são P23 na localidade de Barcelos (107,0 mg/L), P31 na sede do município de São João da Barra (61,7 mg/L), P32-A na localidade de Amparo (32,6 mg/L), P42 na localidade de Cajueiro (42,9 mg/L), P14 em Atafona (25,2 mg/L), P43 bem próximo a lagoa de Iquipari (13,0 mg/L) e P44 na

localidade de Vila da Terra em um lote do assentamento agrícola (14,1 mg/L). Cabe ressaltar que os poços rasos P31 e P32-A (Figura 5-5) que possuem bomba manual, segundo depoimento de moradores, os mesmos têm sua água captada por alguns moradores que utilizam para beber, assim como outros poços que aqui não puderam ser analisados. Os poços contaminados por nitrato representam 46,6 % do total de poços rasos monitorados.

Dentro do universo de 15 amostras, os valores de nitrato variam de 0,012 mg/L (poço P36 localizado no distrito de Campo da Praia) e 107,0 mg/L (poço P23 localizado na área urbana de Barcelos). A média dos valores de nitrato nos poços rasos analisados é de 20,51 mg/L.

Poços Profundos

Para os poços profundos, estavam disponíveis os valores de nitrato para 10 amostras das 12 que passaram pelo balanço iônico. A maior concentração de nitrato entre os poços analisados é de 0,81 mg/L no poço PP18 localizado em Barra do Açu. Já a menor concentração de 0,01 mg/L corresponde a amostra coletada no poço PP10 localizado em Atafona.

Todas as amostras dos poços profundos analisadas, possuem valores de nitrato bem abaixo do limite máximo estabelecido (10 mg/L) pela portaria 2914/11 do MS para águas potáveis.

Sulfatos

Embora largamente distribuídos nos minerais da crosta terrestre geralmente apresentam-se em pequenas concentrações nas águas subterrâneas. Consideráveis quantidades de sulfato são adicionadas ao ciclo hidrológico com as precipitações da atmosfera. Vêm do "spray" do mar, da poeira dos continentes e da oxidação de H₂S, bem como das substâncias orgânicas do solo.

Poços Rasos

Os teores observados oscilam de 2,47 mg/L (poço P36 na localidade de Campo da Praia) a 91,9 mg/L (poço P41 na localidade de Barra do Açu, a menos de 1 Km do mar), com média de 31,24 mg/L. As águas dos 15 poços rasos amostrados apresentam valores dentro do limite estabelecido pela Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde que é de 250mg/L.

Poços Profundos

Assim como nos poços rasos, todas as amostras dos poços profundos analisadas estão abaixo do limite máximo estabelecido pela portaria 2914/11 do MS para águas potáveis.

O maior valor de sulfato encontrado entre as 12 amostras analisadas corresponde ao poço PP12 localizado em Grussaí (163 mg/L). No poço PP16 em Mato Escuro (poço pertencente a prefeitura) foi encontrada a menor concentração de sulfato. A média das concentrações de sulfatos entre as amostras analisadas é de 72,9 mg/L.

Cloretos

As águas dos oceanos constituem-se na maior fonte de cloreto. Entretanto, a presença de cloreto em águas subterrâneas pode ser atribuída à dissolução de depósitos salinos, descargas de efluentes de indústrias químicas, intrusões salinas, etc.

Os íons cloreto são altamente móveis e não são retidos em rochas permeáveis. Embora largamente distribuídos nos minerais da crosta terrestre geralmente apresentam-se pequenas concentrações nas águas subterrâneas (<10 mg/L). Altas concentrações podem indicar poluição antrópica.

Poços Rasos

Os maiores valores foram observados nos poços P26 na localidade de Grussaí (117mg/L) e P43 (101 mg/L) no estabelecimento ao lado da lagoa de Iquipari. O menor valor foi observado no poço P35-A na localidade de Caetá (9,13 mg/L). A média dos valores foi de 59,94 mg/L.

A Portaria Nº 2914/2011 estabelece para as águas potáveis um valor máximo 250mg/L para cloreto. Os resultados obtidos mostram que as águas de todas as amostras analisadas estão dentro dos padrões para consumo humano.

Poços Profundos

Dentre as 12 amostras analisadas para os poços profundos, os maiores valores observados, correspondem aos poços PP7 em Grussaí (159 mg/L) e PP10 em Atafona (156,61 mg/L). Já o menor valor foi observado no poço da prefeitura PP16 na localidade de Mato Escuro (57,9 mg/L). A média dos valores foi de 116,5 mg/L.

A Portaria Nº 2914/2011 estabelece para as águas potáveis um valor máximo 250mg/L para cloreto. Os resultados obtidos mostram que as águas de todas as amostras analisadas estão dentro dos padrões para consumo humano.

Carbonatos

Poços Rasos

Com exceção dos poços P26 (21,2 mg/L) próximo a lagoa de Grussaí, P43 (13,6 mg/L) próximo a lagoa de Iquipari e P44 (38,6 mg/L) na localidade de Vila da Terra, todas outras amostras analisadas tiveram valores de carbonatos abaixo do limite de detecção de 1,5 mg/L do aparelho utilizado na análise laboratorial. Desta forma, optou-se por assumir os valores da concentração de carbonato nessas amostras, como sendo a metade do valor deste limite de detecção (0,75 mg/L).

A portaria 2914/11 do Ministério da Saúde não estabelece valor máximo permitido de carbonatos na água potável. Não estavam disponíveis os valores de carbonato para os poços profundos.

Brometos

Poços Rasos

Dos 15 poços rasos monitorados, o poço P35-A (na localidade de Caetá) foi o que apresentou a menor concentração de brometo (0,037 mg/L). Já os maiores valores observados na área de estudo, foram nas águas dos poços P45 na localidade de Grussaí (0,57 mg/L), P26 bem próximo a lagoa de Iquipari (0,55 mg/L). A média dos valores de brometo entre as amostras analisadas foi de 0,28 mg/L. A portaria 2914/11 do Ministério da Saúde não estabelece valor máximo permitido de brometo na água potável.

Poços Profundos

Dos 12 poços profundos monitorados, o poço PP16 (na localidade de Mato Escuro) foi o que apresentou a menor concentração de brometo (0,17 mg/L). Já os maiores valores observados na área de estudo, foram nas águas dos poços PP7 em Grussaí (0,57 mg/L) e PP10 em Atafona (0,53 mg/L). A média dos valores de brometo entre as amostras analisadas foi de 0,4 mg/L. A portaria 2914/11 do Ministério da Saúde não estabelece valor máximo permitido de brometo na água potável.

Manganês

Poços Rasos

Dos 15 poços rasos monitorados, os poços P44 e P45 (nas localidades de Vila da Terra e Enjeitado respectivamente) foram os que apresentaram as menores concentrações de manganês (0,004 mg/L). Já o maior valor observado na área de estudo, foi na água coletada no poço P43, próximo a lagoa de Iquipari (0,11 mg/L). A média dos valores de Manganês entre as amostras analisadas é de 0,049 mg/L.

O limite máximo permitido de manganês na água potável, de acordo com a Portaria 2914/11 do MS é de 0,1 mg/L. Portanto, apenas o poço P43, já descrito, apresenta concentrações de manganês acima deste valor.

Poços Profundos

Foram analisados aqui os valores de manganês em 10, das 12 amostras dos poços profundos que passaram pelo balanço iônico. O menor valor entre as amostras analisadas foi de 0,062 mg/L no poço PP13 localizado em Cajueiro. Já o maior valor encontrado, corresponde a amostra coletada no poço PP10 (0,65 mg/L), localizado em Atafona.

A portaria 2914/11 do MS estabelece como 0,1 mg/L o valor máximo de permitido de manganês na água potável. Assim, podemos observar que apenas o poço PP14 localizado em Cajueiro, não apresenta concentrações de manganês acima do máximo permitido pela legislação, ou seja, quase todas as amostras analisadas estão fora do padrão de potabilidade. Os poços com valores acima são: PP1 (0,12 mg/L), PP7 (0,33 mg/L), PP10 (0,65 mg/L), PP11 (0,26 mg/L), PP14 (0,22 mg/L), PP15 (0,29 mg/L), PP16 (0,39 mg/L), PP18 (0,53 mg/L) e PP23 (0,27 mg/L).

Boro

Todas as amostras dos poços rasos e profundos analisadas tiveram valores de boro abaixo do limite de detecção do aparelho (0,5 mg/L) utilizado na análise laboratorial. Desta forma, optou-se por assumir os valores da concentração de boro nessas amostras, como sendo a metade do valor deste limite de detecção (0,25 mg/L).

A portaria 2914/11 do Ministério da Saúde não estabelece valor máximo permitido de boro na água potável.

Fosfato

Poços Rasos

As maiores concentrações de fosfato entre as amostras analisadas correspondem aos poços P42 (12 mg/L) localizada na “Rua do Galinheiro” na zona rural do município (Figura 6-13) e o poço P23 (9,97 mg/L) localizada na área urbana do distrito de Barcelos. Cabe ressaltar que ambos os poços apresentam

contaminação por nitrato, o que sugere a contaminação destes poços por atividade antrópica (efluentes domésticos, agricultura, etc.).

Já o menor valor de fosfato encontrado entre as amostras analisadas corresponde ao poço P35-A na localidade de Caetá. A média dos valores de fosfato é de 2,198 mg/L.

A portaria 2914/11 do Ministério da Saúde não estabelece valor máximo permitido de fosfato para águas potáveis.

Poços Profundos

Das 12 amostras que passaram pelo balanço iônico, apenas 8 apresentavam valores referentes ao fosfato. Todas as amostras analisadas apresentaram concentrações de fosfato abaixo de 1 mg/L. O maior valor observado corresponde ao poço PP16 (0,71 mg/L), pertencente a prefeitura localizada em Mato Escuro. Já o menor valor, é representado pelo poço PP15, na localidade de Pipeiras e PP13 em Cajueiro (ambos com 0,005 mg/L). A média dos valores de fosfato entre as amostras analisadas é de 0,139 mg/L.

A portaria 2914/11 do Ministério da Saúde não estabelece valor máximo permitido de fosfato para águas potáveis.

Íons Tóxicos e Carcinógenos

Os constituintes iônicos considerados como tóxicos e carcinógenos podem induzir doenças se houver uma ingestão continuada de água com excesso destas substâncias (Feitosa, 2008).

Aqui foram analisados com relação à potabilidade, os principais elementos tóxicos e carcinógenos de acordo com Feitosa (2008), que são os elementos antimônio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, fluoreto, mercúrio e selênio.

Nenhuma das amostras coletadas nos poços profundos apresenta valores destes elementos acima do máximo permitido para águas potáveis de acordo com a portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

Já entre as amostras coletadas nos poços rasos, foi constatada valores de chumbo acima do máximo de 0,01 mg/L permitido para águas potáveis de acordo com a portaria 2014/11 do MS. Estas anomalias foram detectadas nas amostras coletadas nos poços P35-A na localidade de Caetá (0,051 mg/L) e P32-A na localidade de Amparo (0,012 mg/L).

Este é um dado preocupante, pois os dois poços contaminados são utilizados para consumo humano segundo relatos dos próprios moradores. No poço P32-A a situação é ainda pior, pois o poço é de utilização pública, e alguns moradores de baixa renda o utilizam. O poço P35-A, segundo o proprietário da residência, é utilizado apenas para captar água para beber. Desta forma, fica evidente a necessidade da realização de futuros trabalhos que possam sanar tal suspeita.

O chumbo está presente no ar, no tabaco, nas bebidas e nos alimentos, nestes últimos, naturalmente, por contaminação e na embalagem. Está presente na água devido às descargas de efluentes industriais como, por exemplo, os efluentes das indústrias de acumuladores (baterias), bem como devido ao uso indevido de tintas e tubulações e acessórios a base de chumbo (materiais de construção) (CETESB, 2001)..

O chumbo e seus compostos também são utilizados em eletrodeposição e metalurgia. Constitui veneno cumulativo, provocando um envenenamento crônico denominado saturnismo, que consiste em efeito sobre o sistema nervoso central com consequências bastante sérias. Outros sintomas de uma exposição crônica ao chumbo, quando o efeito ocorre no sistema nervoso central, são: tontura, irritabilidade, dor de cabeça, perda de memória, entre outros. Quando o efeito ocorre no sistema periférico o sintoma é a deficiência dos músculos extensores. A toxicidade do chumbo, quando aguda, é caracterizada pela sede intensa, sabor metálico, inflamação gastrointestinal, vômitos e diarreias (CETESB, 2001).

6.2.3. Diagrama de Piper

No diagrama Piper a classificação dos tipos de água é baseada na localização do ponto plotado no triângulo dos íons, determinando assim as fácies químicas da água. A Figura 6-15 a seguir, representa esse diagrama para as 14 amostras coletadas para os poços rasos na área de estudo.

Como pode ser observado no triângulo na parte central do diagrama, que refere-se à associação de cátions e ânions, as águas coletadas nos poços P35-A, P44, P31 e P40 podem ser classificadas como Cloretadas Cálcicas. As águas das amostras P8, P36, P39 e P43 podem ser classificadas como Bicarbonatadas Cálcicas. As águas classificadas como Cloretadas Sódicas correspondem às amostras P14, P23, P32-A, P41, P42 e P45, e apenas a água da amostra P26 foi classificada como Bicarbonatada Sódica.

Apesar da maioria das amostras terem sido classificadas como cloretadas, ainda assim, uma das principais características das águas do aquífero livre do município de SJB é a grande variação composicional, como pode ser observado no diagrama anterior. Isso é explicado devido à grande diversidade e dinâmica do ambiente na área de estudo. Apesar de conterem águas jovens, o abastecimento do aquífero livre pode sofrer influências tanto das águas das chuvas, como do Rio Paraíba do Sul, das águas marinhas e ainda das lagoas salgadas (algumas vezes hipersalinas), o que explica tal diversificação.

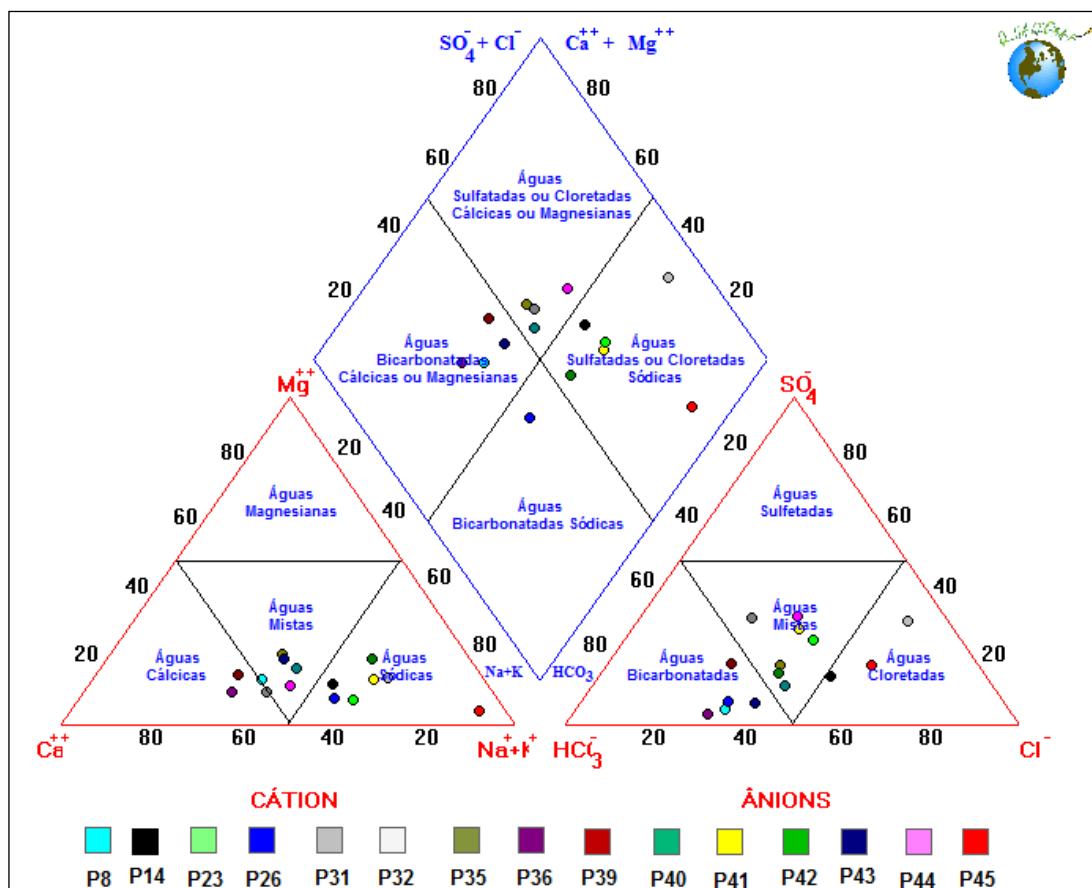


Figura 6-15 - Diagrama de Piper para as amostras dos 15 poços rasos coletadas na área de estudo.

A Figura 6-16 a seguir, representa o diagrama de Piper para as 12 amostras analisadas para os poços profundos.

Observa-se que as águas dos poços profundos analisadas são predominantemente cloretadas sódicas, com exceção dos poços PP11 e PP16 (localizados em Barra do Açú e Mato escuro, com 205 m e 234 m de profundidade respectivamente) que tiveram suas águas classificadas como bicarbonatadas sódicas.

A predominância dos íons sódio e cloro nas águas dos poços profundos, apesar de não estarem presentes em níveis tão elevados, podem estar relacionados ao fenômeno de intrusão salina, sendo necessário desta forma o monitoramento constante, além da realização de trabalhos aprofundados relacionado ao tema, a fim de nortear a utilização destes recursos de forma racional, evitando possíveis danos, dificilmente reversíveis.

Como pode ser observado anteriormente, apenas o poço PP12, localizado em Grussaí (161m de profundidade), apresenta concentrações de sódio acima do máximo permitido pela portaria 2914/11 do Ministério da Saúde.

Mesmo ocorrendo predominância de águas cloretadas sódicas, a presença de outros tipos de águas na região, pode estar relacionada também a variedade litológica da Bacia Sedimentar de Campos, como visto durante a descrição da geologia da área.

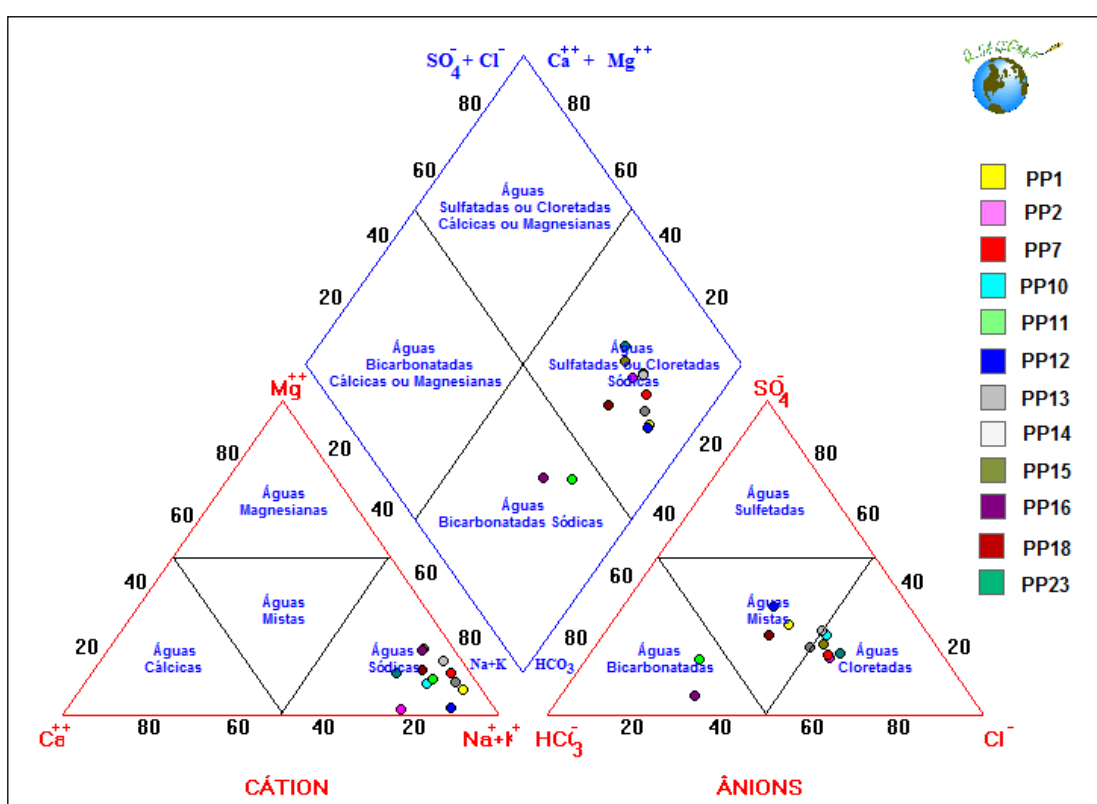


Figura 6-16 - Diagrama de Piper para as 12 amostras dos poços profundos analisados

6.2.4. Diagrama de Stiff

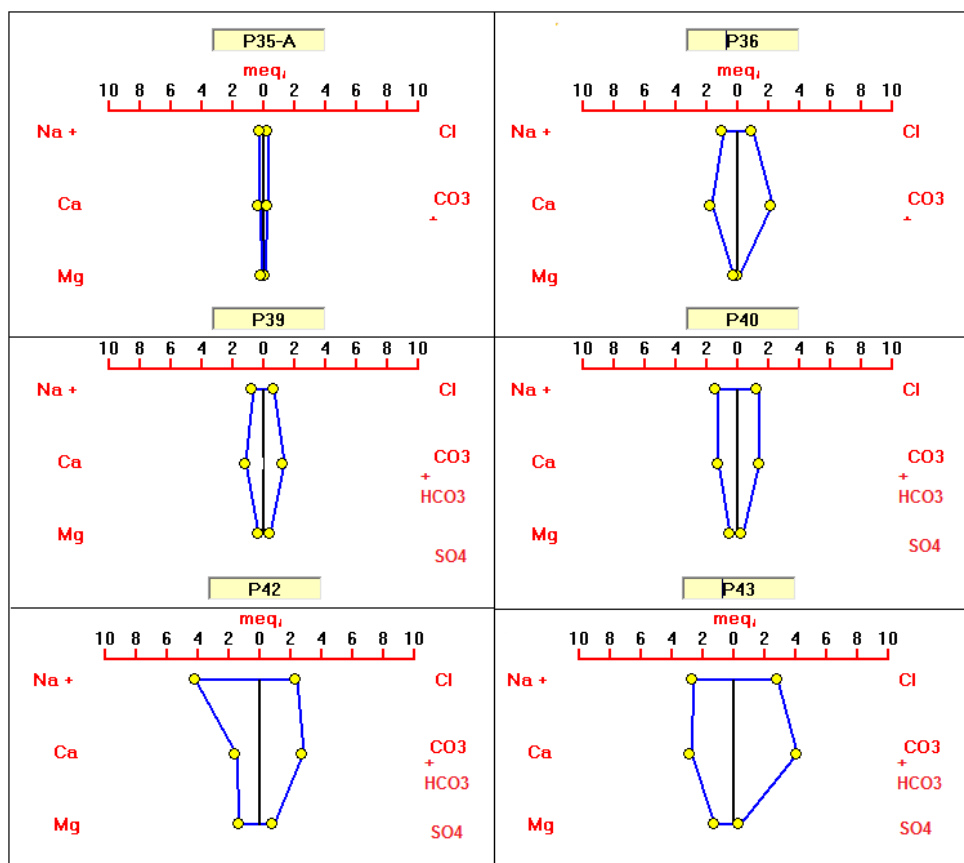
O diagrama de Stiff permite comparar distintos grupos de águas quanto aos íons predominantes, sendo de grande utilidade para comparação visual rápida entre águas de diferentes pontos amostrados. Quanto maior a área da forma poligonal, maior a concentração dos íons maiores.

Esta ferramenta foi aplicada para auxiliar na caracterização hidroquímica das amostras de água coletadas na área de estudo, sendo plotado um diagrama para cada ponto amostrado, como pode ser visto nas Figura 6-17 Figura 6-18.

Observando o diagrama a seguir é possível verificar que as águas do aquífero livre no município apresentam grande diversidade nas suas concentrações iônicas, que variam de ponto a ponto não obedecendo a um padrão composicional.

Observa-se a predominância de águas mistas fracamente mineralizadas, sem predomínio claro de um determinado íon, com exceção das amostras P23 P42, P41 e P45, onde ocorre o predomínio evidente do íon sódio. Observa-se ainda que todas as amostras apresentem baixíssimas concentrações de íons de sulfato e magnésio.

Como discorrido no tópico anterior, a recarga do aquífero livre pode sofrer influências tanto das águas das chuvas, como do Rio Paraíba do Sul, das águas marinhas e ainda das lagoas (algumas vezes hipersalinas), o que explica tal diversificação.



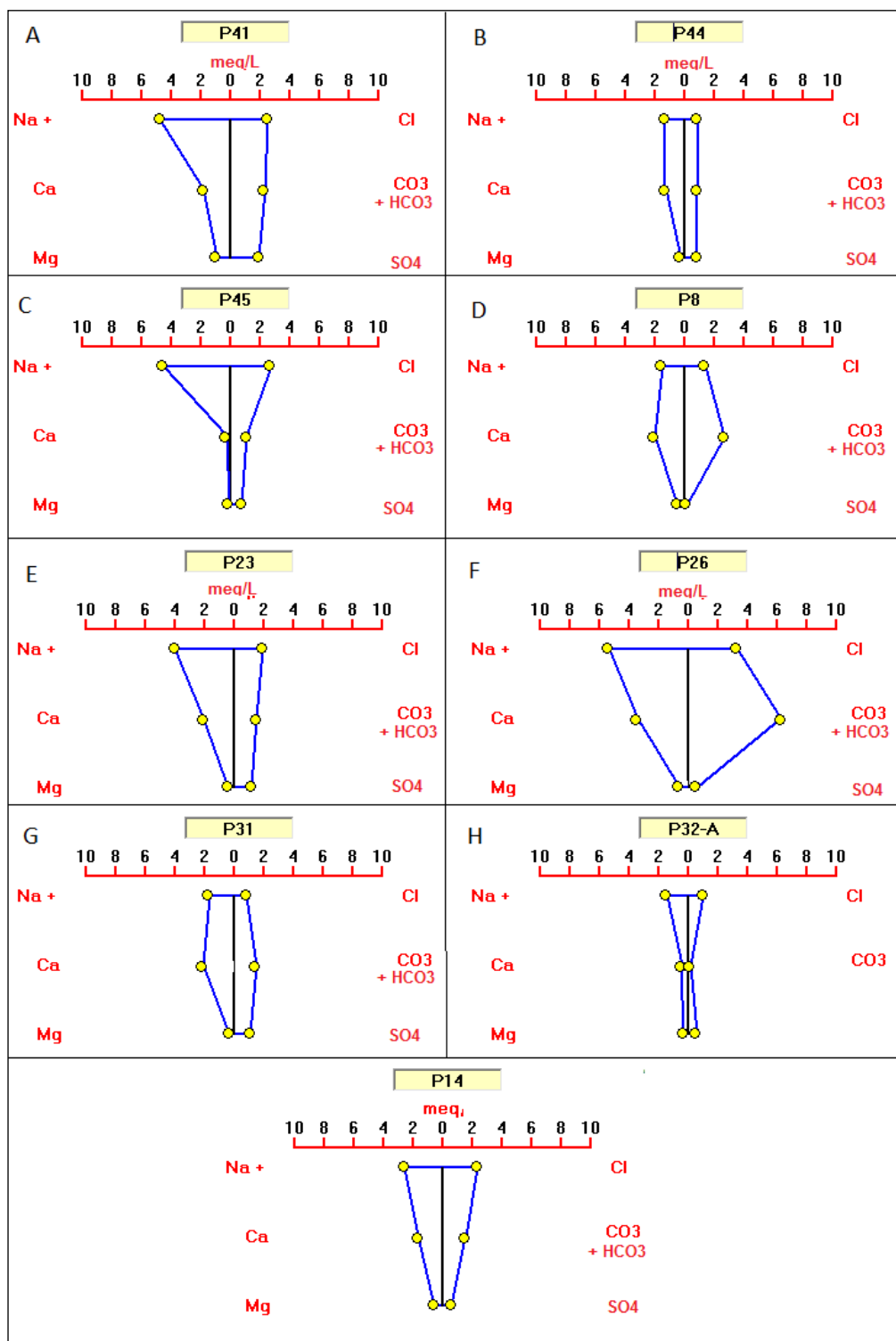
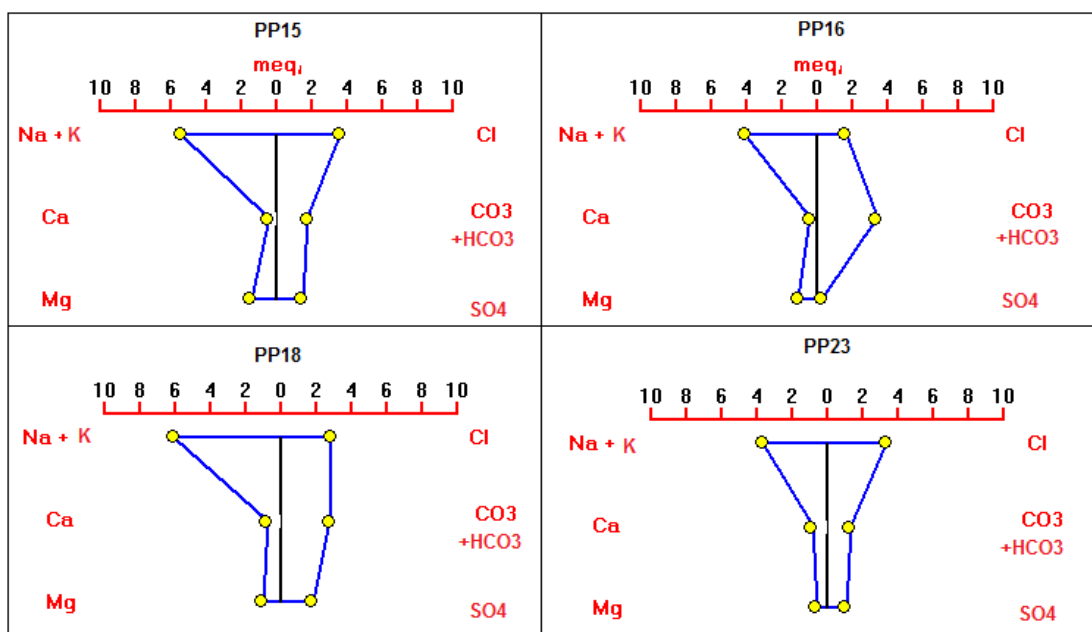


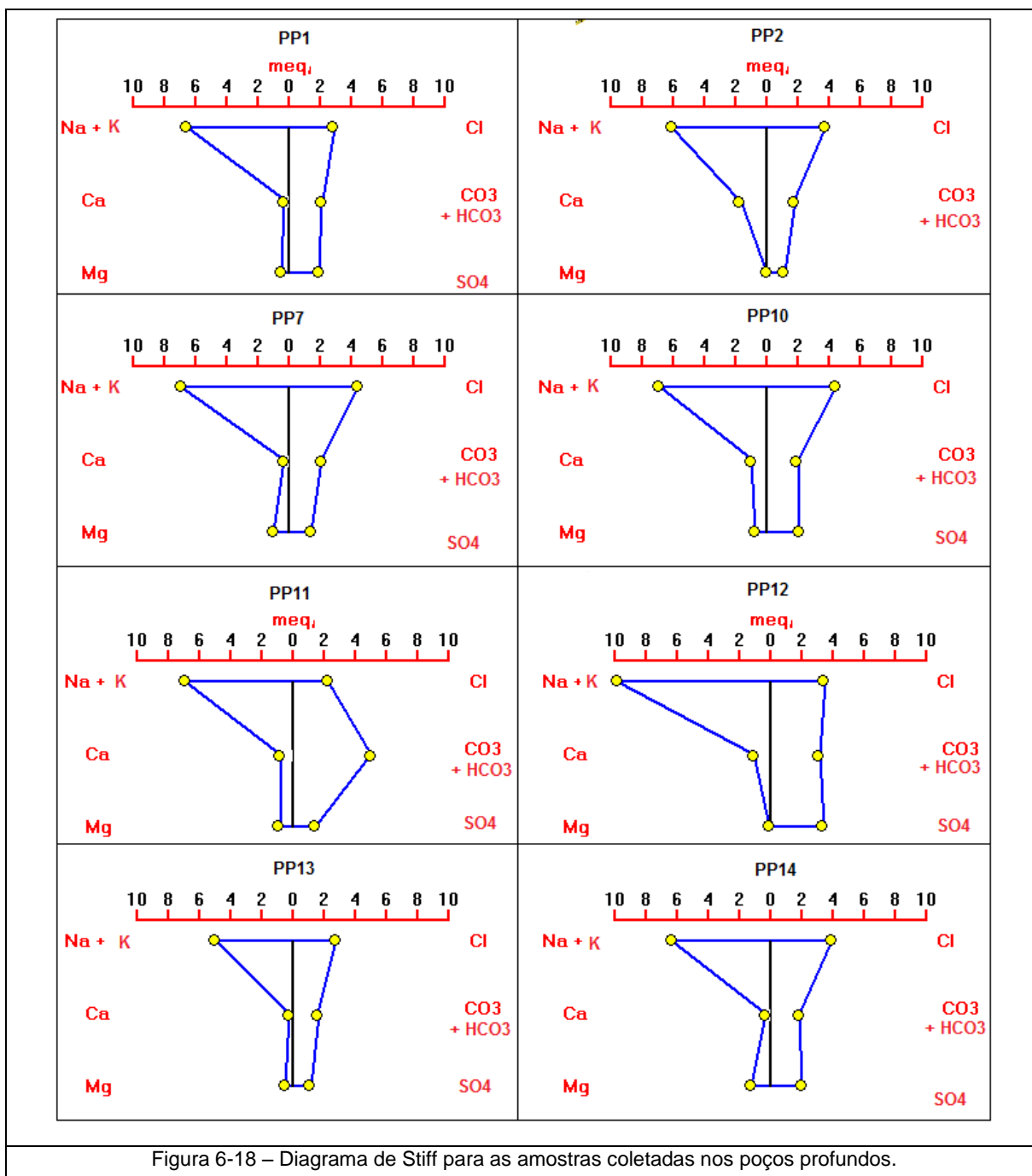
Figura 6-17 - Diagrama de Stiff para as amostras coletadas nos poços rasos.

Em uma análise geral dos diagramas a seguir (Figura 6-18 – Diagrama de Stiff para as amostras coletadas nos poços profundos.Figura 6-18), elaborados para as amostras coletadas

nos poços profundos, observa-se que essas águas apresentam um padrão composicional, onde ocorre o predomínio de íons de sódio e cloro, o que corrobora com a possibilidade da ocorrência de intrusão salina nos poços. Apesar das concentrações de sódio e cloro não serem tão elevadas (apenas o poço PP12 apresenta valor de sódio acima do máximo permitido), o processo de intrusão pode se agravar, caso haja exploração irresponsável, sem o conhecimento necessário sobre o tema.

O predomínio dos íons de sódio e cloro ocorre em praticamente todas as amostras, com exceção das amostras dos poços PP11 e PP16 (localizados em Barra do Açú e Mato Escuro respectivamente), onde ao lado do sódio, o íon predominante é o bicarbonato. No geral, observa-se que as águas dos poços profundos, apresentam pequenos teores de cálcio, Magnésio e sulfato.





6.2.5. Classificação da Água para Irrigação

A qualidade das águas para irrigação depende tanto dos seus constituintes químicos quanto dos efeitos destes sobre a cultura e solo cultivado, dependendo ainda das propriedades como a permeabilidade, os tipos de solos, os tipos de culturas a serem implantadas, os métodos de irrigação e outros.

A classificação para irrigação das águas dos 15 poços rasos analisados, segundo o diagrama do U.S. Salinity Laboratory (Figura 6-21), indica que existe uma predominância das classes C_2-S_1 (66,6%), ou seja, com baixo risco de sódio e um médio risco de salinidade (Tabela 6-4/Tabela 6-5). Como pode ser observada no Diagrama a seguir (Figura 6-21), a água do poço P35-A está na classe C_0-S_1 , ou seja, apresenta nenhum risco de salinidade e baixo risco de sódio. Já as águas dos poços P26 (na localidade de Grussaí) e P42 (na localidade de Cajueiro) estão na classe C_3-S_1 , com alto risco de salinidade e Baixo Risco de Sódio. Na classe C_2-S_2 está a água analisada do poço raso P45 (ao lado da lagoa de Iquipari). E finalmente o poço raso P39 na classe C_1-S_1 , com baixo risco de salinidade e de sódio.

Tabela 6-4 - Classificação das águas utilizando o diagrama SAR do U.S. Salinity Laboratory.

Classe	Risco de Sódio	Classe	Risco de Salinidade
S_1	Baixo	C_1	Baixo
S_2	Médio	C_2	Médio
S_3	Alto	C_3	Alto
S_4	Muito Alto	C_4	Muito Alto
		C_5	Excepcionalmente Alto

Tabela 6-5 - Classes USSL dos 14 poços rasos monitorados.

Classificação	Nº Amostras	%
C_0-S_1	1	6,6
C_1-S_1	1	6,6
C_2-S_0	1	6,6
C_2-S_1	10	66,6
C_3-S_1	2	13,3
Total	15	100

Cabe ressaltar que durante as campanhas de campo foram cadastrados alguns poços rasos que eram utilizados para irrigação de diversas culturas como pode ser observado nas Figura 6-19 Figura 6-20 a seguir.

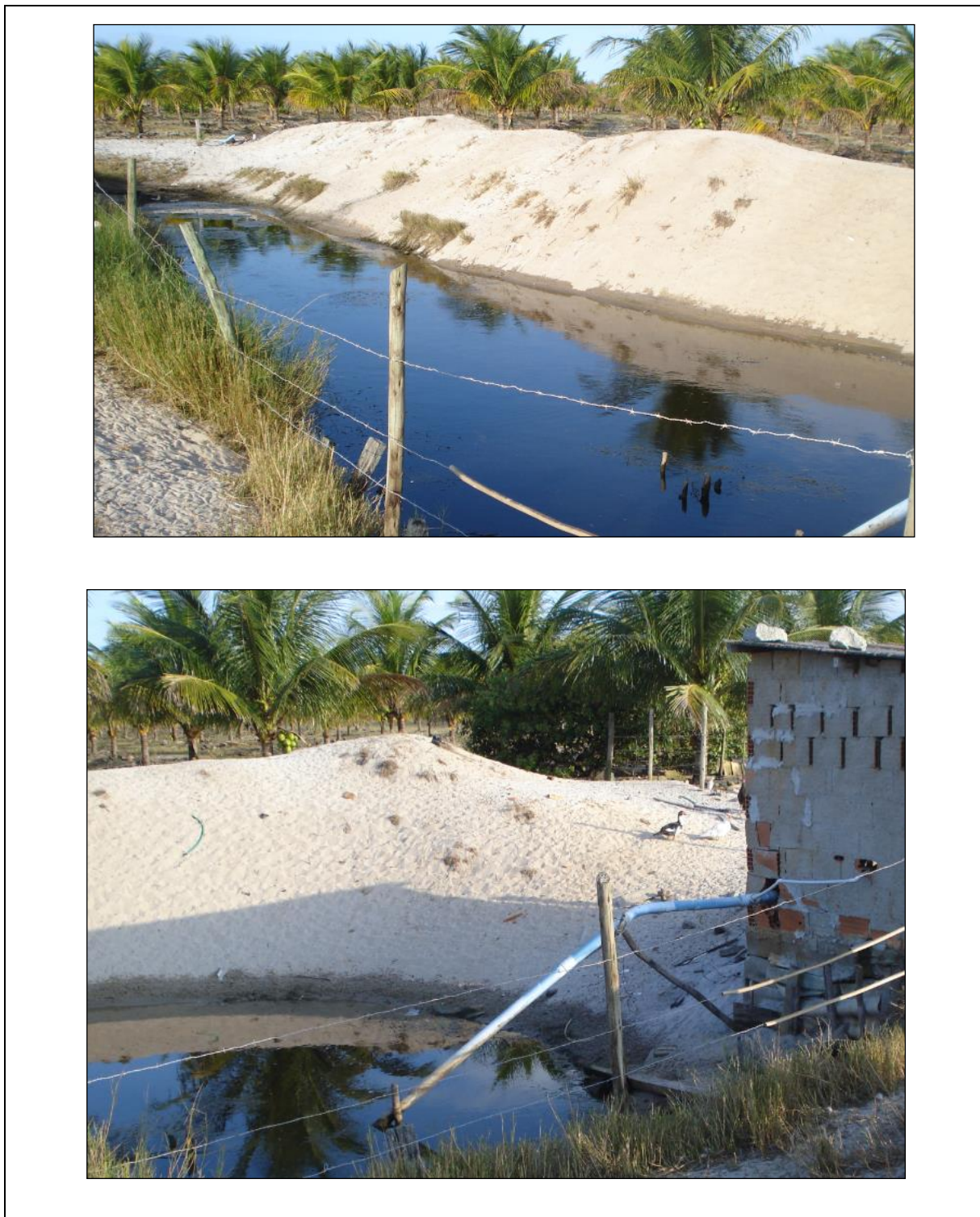


Figura 6-19 - Plantação de coco irrigada com água proveniente de valas escavadas para captar água do aquífero livre.



Figura 6-20 - A e B – Pequenas propriedades na localidade de Água Preta que utilizam água de poços rasos para irrigação de diversas culturas como laranja, mandioca, abacaxi, quiabo, etc. Poço P37 e P38 respectivamente.

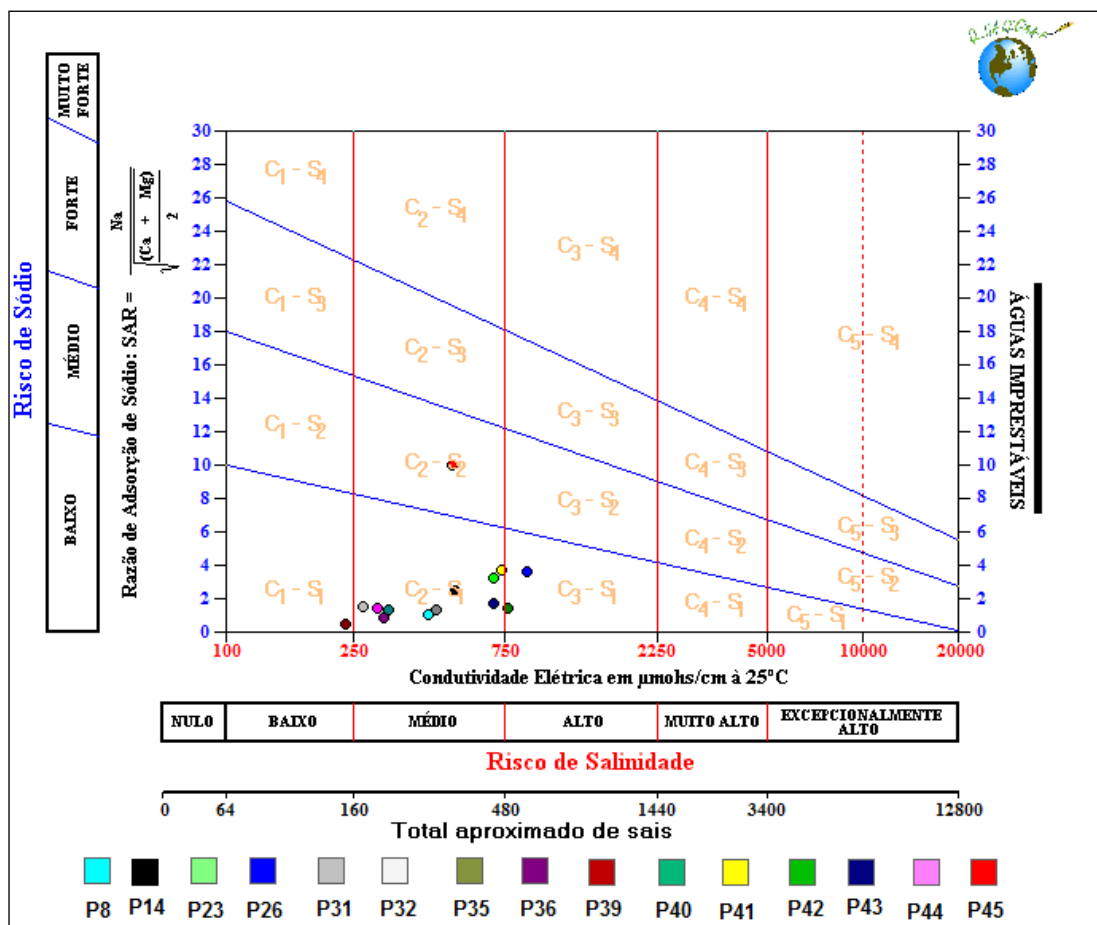


Figura 6-21 - Diagrama utilizado para a classificação para agricultura das águas de 15 poços rasos.

Foram analisados aqui, amostras de 11 poços profundos, uma vez que a amostra do poço PP12 não disponibiliza o valor da condutividade elétrica, necessário para a confecção do diagrama. A classificação para irrigação das águas dos poços profundos analisados, segundo o diagrama do U.S. Salinity Laboratory, indica que existe uma predominância da classe C3-S2 (poços PP1 (poço da curva entre SJB e Grussaí), PP2 na sede de SJB, PP7 em Grussaí, PP10 em Atafona e PP14 poço da Ilha em Grussaí), ou seja, com médio risco de sódio e um alto risco de salinidade (Tabela 6-6 e Figura 6-22).

Observa-se também um número considerável de amostras na classe C2S1 (poços PP16 da prefeitura na localidade de Mato Escuro, PP23 no distrito industrial e PP18 em Barra do Açu) com baixo risco de sódio e um médio risco de salinidade.

Além destas classes predominantes, as águas dos poços PP11 e PP13 localizados em Barra do Açu e Grussaí respectivamente, estão na classe C2-S2, ou seja, apresenta médio risco de salinidade e médio risco de sódio. Já a água do poço

PP15 (na localidade de Pipeiras) está na classe C3-S1, com alto risco de salinidade e Baixo Risco de Sódio.

Tabela 6-6 - Classes USSL dos 11 poços profundos monitorados.

Classificação	Nº Amostras	%
C ₂ -S ₁	3	27,3
C ₂ -S ₂	2	18,2
C ₃ -S ₁	1	9,1
C ₃ -S ₂	5	45,4
Total	11	100,00

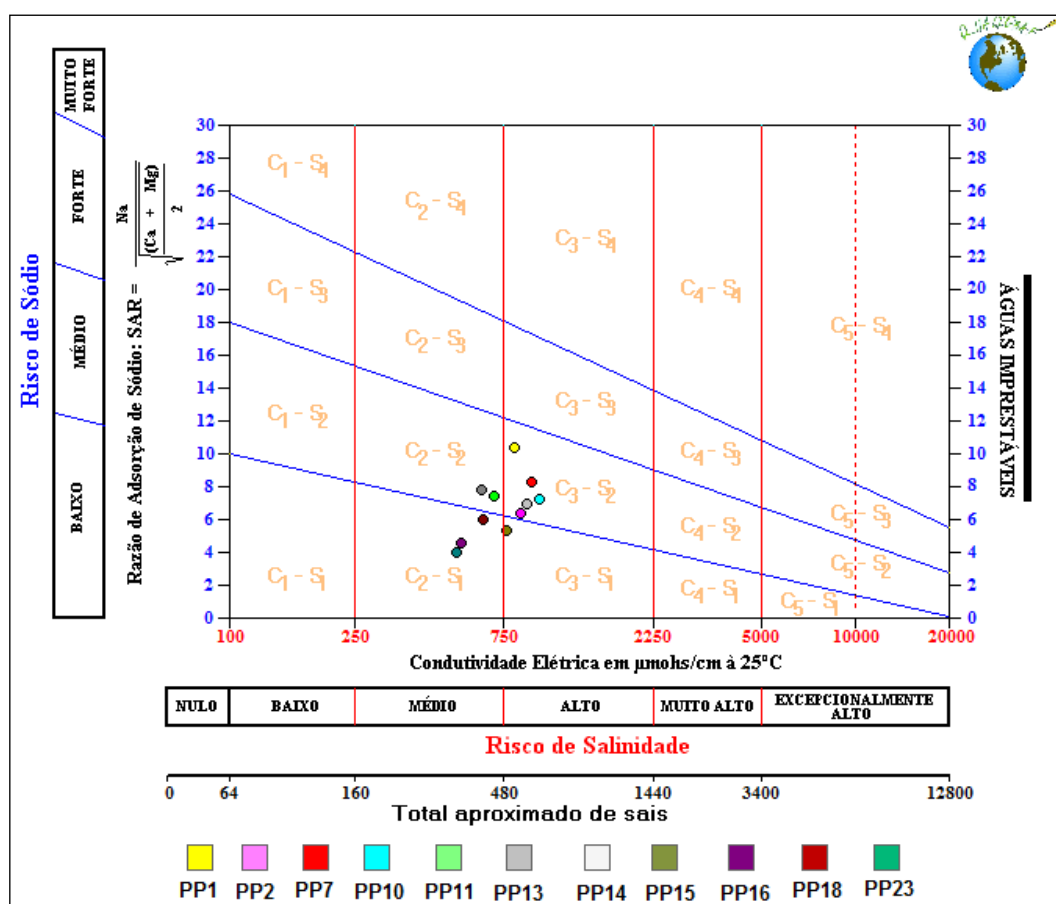


Figura 6-22 - Diagrama utilizado para a classificação para agricultura das águas de 11 poços profundos.

As águas da classe C1 podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequenos riscos de incidente quanto a salinização do solo, salvo se à permeabilidade deste último for extremamente baixa, o que não é o caso dos solos encontrados na região.

As águas da classe C2 devem ser usadas com precaução e de preferência silto-arenoso, siltosos e areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo. Os vegetais de fraca tolerância salina podem ser cultivados, na maioria dos casos, sem perigo.

As águas da classe C3, só podem ser utilizadas em solos bem drenados. Mesmo quando o solo é bem cuidado, devem ser tomadas precauções especiais de luta contra a salinização e apenas os vegetais de alta tolerância salina devem ser cultivados.

As águas da classe S1 podem ser utilizadas para quase todos os solos de com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca. Prestam-se ao cultivo de quase todos vegetais.

As águas da classe S2 apresentam perigo de sódio para os solos de textura fina e forte capacidade de troca de cátions, o que não é o caso dos solos do município. Podem ser utilizadas para solos de textura grosseira ou ricos em matéria orgânica e com boa permeabilidade.

6.2.6. Vulnerabilidade Natural à Contaminação do Aquífero Livre

Como já visto anteriormente, o presente trabalho propôs a elaboração do mapa de vulnerabilidade natural à contaminação para o aquífero livre no município de SJB, utilizando o método GOD, cuja metodologia e princípios encontram-se expostos nos capítulos anteriores da revisão bibliográfica e metodologia. Para elaboração deste mapa foi utilizado o software ArcGis 10.1.

Para isso, primeiramente foram elaborados os mapas temáticos, reclassificados de acordo com seus respectivos índices GOD.

Inicialmente, de acordo com a metodologia, foi gerado um mapa de ocorrência de tipo de aquífero (**G**), e como visto anteriormente, o presente estudo foi realizado apenas para o aquífero livre, que recebeu o índice GOD máximo, igual a 1, ou seja, este é o tipo de ocorrência mais vulnerável a contaminação.

Posteriormente, foi elaborado o mapa de litologia da zona não vadosa (**O**), utilizando para isto o mapa geológico produzido pelo DRM (2006) (Figura 6-1), que foi reclassificado de acordo com os índices GOD descritos na metodologia (Figura

5-6). As principais unidades geológicas que recobrem o território do município são os sedimentos inconsolidados descritos a seguir:

Areia marinhas litorâneas: Esta é unidade predominante na área de estudo, e recobre quase todo o território do município, tratando-se de depósitos arenosos brancos, podendo conter grandes quantidades de conchas e apresentando alinhamentos de cristas praias. Foi associado a esta unidade índice 0,7, considerando também, que estes sedimentos encontram-se em grande parte recobertos por uma fina camada de areias eólicas.

Sedimentos continentais indiferenciados (holocênicos): esta é a segunda unidade mais representativa na área de estudo, e tratam-se de sedimentos arenosos e argiloarenosos, bem desenvolvidos nos vales fluviais dos rios Paraíba do Sul. Foi associado a esta unidade o índice 0,6, que corresponde à areias e cascalhos (Figura 5-6).

Sedimentos indiferenciados de lagos e pântanos: sedimentos sílticos e/ou arenoargilosos, ricos em matéria orgânica, podendo frequentemente conter grande quantidade de conchas de moluscos de ambientes lagunares. Esses depósitos encontram-se nas zonas rebaixadas separando os terraços arenosos pleistocênicos e holocênicos ou nos cursos inferiores de grandes vales não preenchidos por sedimentos fluviais (Martin et al,1997). Foi associado a esta unidade o índice 0,5 conforme figura 5-6 no capítulo da metodologia.

Sedimentos arenosos de paleocanais fluviais (holocênicos): paleocanais preenchidos de sedimentos arenosos continentais, reconhecidos na região entre o rio Paraíba do Sul e a Lagoa Feia (Martin et al,1997). A esta unidade foi associada o índice de vulnerabilidade igual a 0,6 de acordo com a metodologia GOD (Figura 5-6).

Cabe ressaltar, que de acordo com o método GOD empregado, o índice máximo de vulnerabilidade ocorre apenas em rochas calcárias metamórficas, onde a contaminação da água subterrânea ocorre de forma direta através de condutos abertos a partir da dissolução das fraturas presentes nestes materiais. Desta forma, a vulnerabilidade extrema só será observada em regiões onde ocorrem rochas calcárias, preferencialmente metamórficas.

A próxima etapa consistiu na elaboração do mapa de profundidade do lençol freático (D), que foi possível a partir da espacialização dos poços rasos monitorados,

juntamente com a medida do nível freático. A partir daí, utilizando a ferramenta de análise espacial, os valores foram interpolados pelo método do vizinho mais próximo, permitindo assim a confecção do mapa de profundidade do lençol freático (Figura 6-23 - A).

Devido à pequena variação encontrada entre as medidas do nível freático, que em nenhum dos poços ultrapassou 5 m de profundidade, o mapa foi reclassificado de acordo com a metodologia GOD, em apenas duas classes, sendo que a primeira recebeu peso 1, correspondente a profundidade menor que 3 m, e a segunda recebeu peso 0,9, correspondente a profundidade entre 3 e 5 m (Figura 6-23 - B).

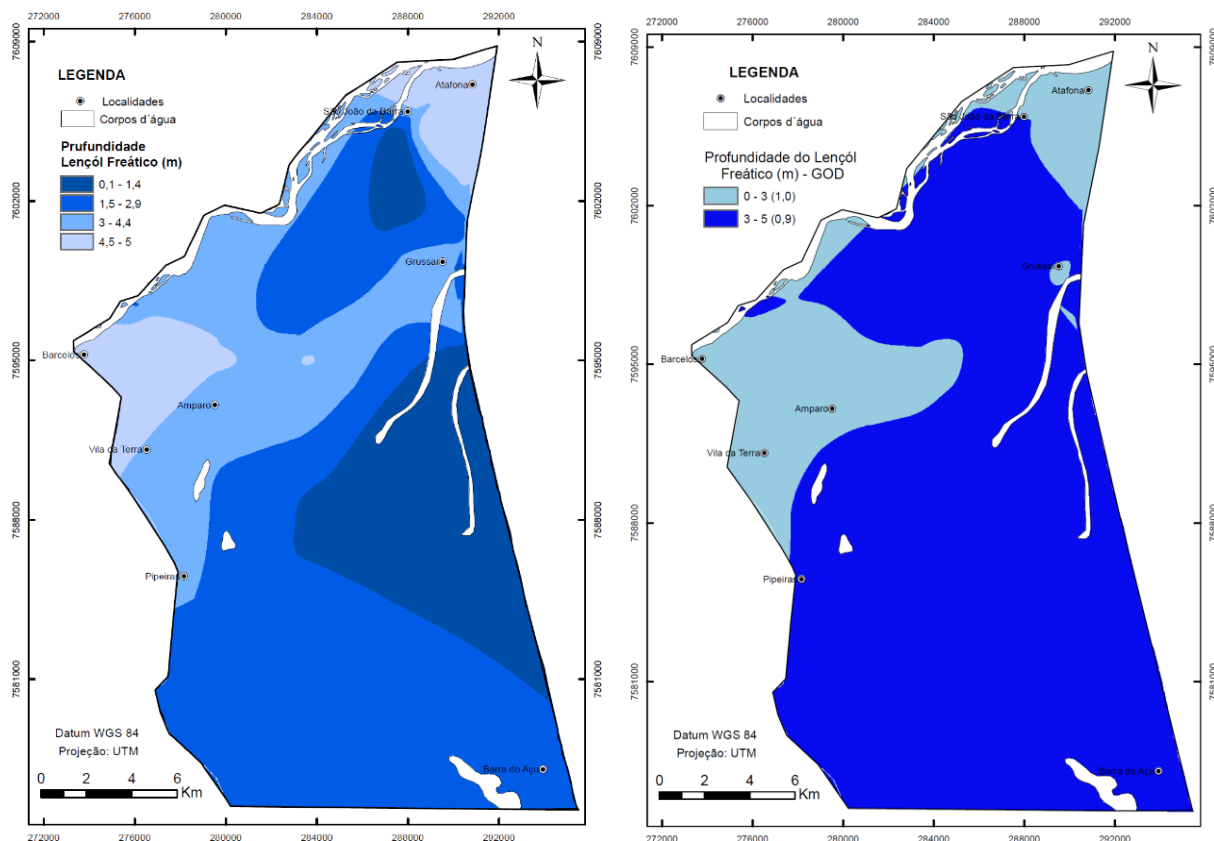


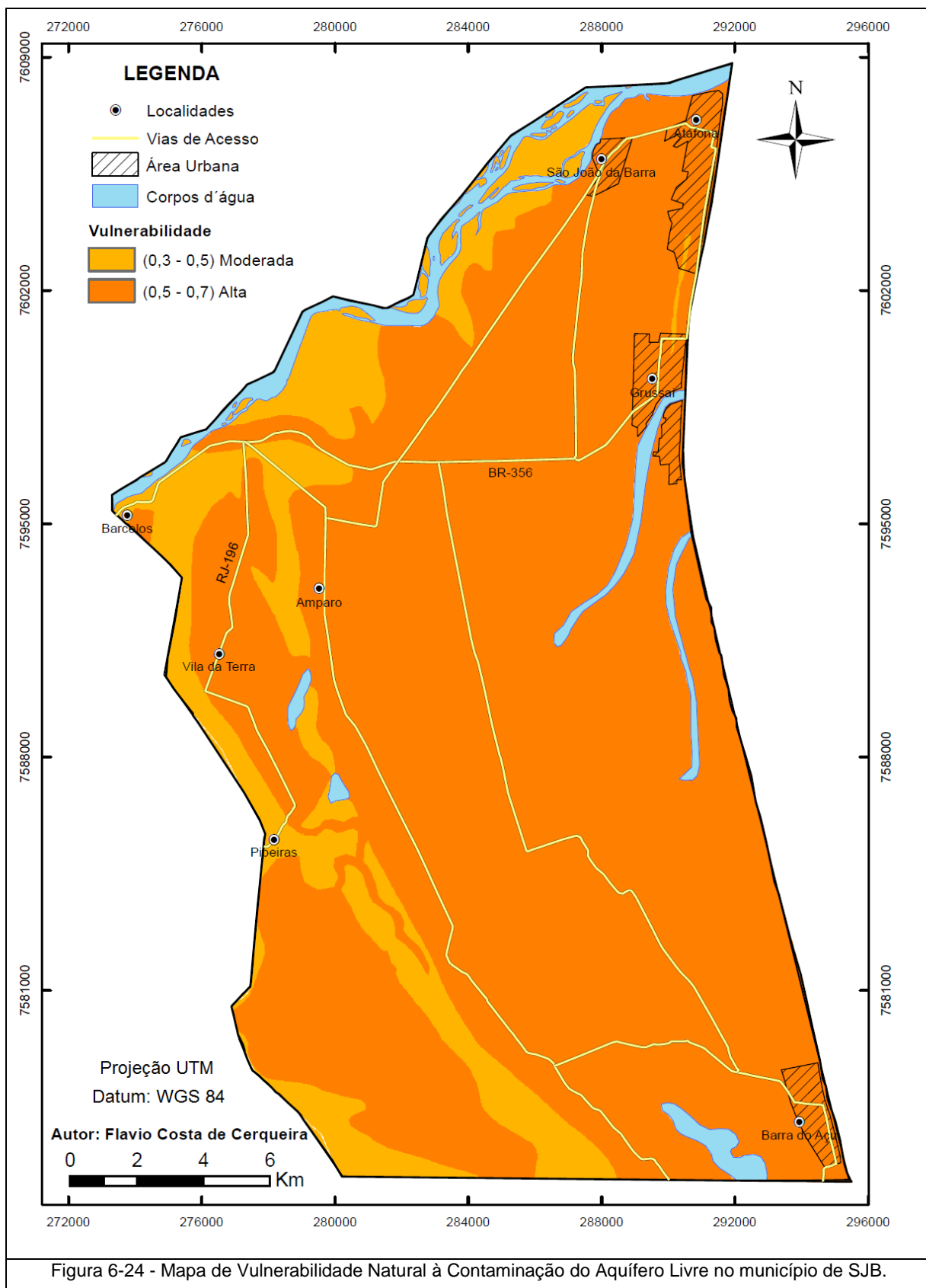
Figura 6-23 - Mapas (A e B) de profundidade do nível freático, de acordo com a metodologia GOD.

Finalmente, os mapas gerados foram cruzados dois a dois, multiplicando-se os índices de cada parâmetro que apresentavam a mesma posição geográfica. E de acordo com o resultado do cruzamento destes planos e as suas respectivas

classificações (Tabela 2), foram agrupados os índices de vulnerabilidade GOD encontrados para a área de estudo, e assim foi gerado o mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos livres do São João da Barra (Figura 6-24).

Como pode ser verificado no mapa a seguir (Figura 6-24) quase todo território do município de SJB, incluindo os principais distritos (Sede, Atafona, Grussaí e Barra do Açu), apresentam alta vulnerabilidade natural de contaminação do aquífero livre. Isso se deve ao fato da predominância de sedimentos arenosos nesta região, que são representados pelas unidades “areias marinhas litorâneas” e “sedimentos arenosos de paleocanais fluviais”, associados ainda, às pequenas profundidades dos níveis d’água observada em toda área de estudo. Nenhum dos poços monitorados apresenta profundidade do nível freático acima de 5 m.

A vulnerabilidade moderada, ocorre principalmente nas áreas localizadas próximos as atuais e antigas planícies fluviais do rio Paraíba do Sul, e isso está relacionado a presença de sedimentos mais finos, como areias impuras, siltes e argilas, correspondente as unidades “sedimentos continentais indiferenciados” e “sedimentos indiferenciados de lagos e pântanos”, como descrito. As principais localidades onde pode ser observada a vulnerabilidade moderada são Pipeiras e Barcelos.



7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os estudos hidroquímico, da qualidade e da vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas no município de São João da Barra, colocou em destaque a contaminação do aquífero livre, resultado das mais diversas atividades antrópicas sobre solos predominantemente arenosos, que facilitam a percolação da água de recarga até a zona saturada, arrastando consigo os diferentes contaminantes lançados por fontes tanto pontuais quanto difusas.

Teores anormalmente elevados de alguns constituintes como os nitratos não podem ser explicados por processos naturais, nomeadamente a interação água – rocha, havendo necessidade de considerar influências antrópicas. Aproximadamente 50% das amostras apresentaram valores de nitrato acima do valor máximo permitido pelo Ministério da Saúde para águas potáveis.

A média dos valores da condutividade elétrica entre os poços rasos analisados é igual a 535 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e dos poços profundos, igual a 752 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os maiores valores de condutividade observados localizam-se próximo a Lagoa de Grussaí, o que sugere a influência da mesma sobre a qualidade da água dos poços rasos. Os valores de pH para os poços rasos variam de 6,5 a 9,0, e dos poços profundos de 6,4 a 8,0, sendo que 40% das amostras dos poços rasos foram classificadas como águas duras e 75% das amostras dos poços profundos são consideradas águas pouco duras. Todas essas variáveis encontram-se dentro os padrões de potabilidade segundo o Ministério da Saúde.

No geral, as águas subterrâneas do município de SJB apresentam valores elevados de ferro e manganês. Entre as 15 amostras dos poços rasos analisados, 7 apresentam valores de ferro acima do estabelecido pelo Ministério da Saúde e 1 apresenta valor de manganês acima deste limite. Já para os poços profundos a situação é ainda pior, pois 90% das amostras analisadas apresentam valores de manganês acima do limite estabelecido pelo Ministério da Saúde, e 54,5% com valores de ferro também acima. Sugere-se que seja realizado tratamento para retirada do ferro e manganês para as águas que forem destinadas para consumo humana.

Com relação aos elementos tóxicos ou carcinógenos foram detectadas duas amostras dos poços rasos com valores de chumbo acima do permitido pelo Ministério da Saúde para águas potáveis. Nenhuma amostra dos poços profundos apresentou contaminação por elementos tóxicos ou carcinógenos.

De acordo com a classificação Hidroquímica a partir dos diagramas de PIPER e Stiff, é possível concluir que as águas dos poços profundos do município de SJB são predominantemente cloretadas sódicas, e apenas 2 amostras foram classificadas como bicarbonatada sódica.

Uma das principais características das águas dos poços rasos do município de SJB é a grande variação composicional, como pode ser observado nos diagramas de PIPER e Stiff. Isso é explicado devido a grande diversidade e dinâmica do ambiente na área de estudo. Apesar de conterem águas jovens, o abastecimento do aquífero livre pode sofrer influências tanto das águas das chuvas, como do Rio Paraíba do Sul, das águas marinhas e ainda das lagoas salgadas, o que explica tal diversificação.

Mesmo com a proximidade ao mar, a mineralização das águas subterrâneas em estudo não parece estar condicionada de forma significativa pelos sais marinhos, quer através de aerossóis atmosféricos, quer por meio da intrusão salina. Nenhuma amostra dos poços rasos e profundos analisadas apresentam valores de sódio, sulfato e cloreto acima do máximo permitido pelo Ministério da Saúde para águas potáveis, com exceção do poço profundo PP12, localizado em Grussaí. Sugere-se o constate monitoramento, principalmente dos poços profundos, e o aprofundamento dos estudos, a fim de melhor compreender o comportamento de uma possível intrusão salina.

O Mapa de Vulnerabilidade Natural à Contaminação do Aquífero livre do Município de São João da Barra mostram a grande sensibilidade desse aquífero, e serve de alerta aos órgãos do governo e entidades ambientais, que devem fornecer documentos técnicos relacionados ao planejamento em nível municipal do uso do solo ou mesmo aos programas de gestão dos recursos hídricos. Quase todo território do município possui alta vulnerabilidade à contaminação do aquífero livre, incluindo os principais aglomerados populacionais (Sede, Grussaí, Atafona e Barra

do Açú). Devido ao grande número de usuários que captam a água através de poços rasos, recomenda-se um estudo de vulnerabilidade específico, de acordo com a existência de fontes de contaminação já comprovadas, sendo necessário também o monitoramento e análise constante da qualidade das águas nas proximidades das fontes potencialmente contaminantes.

Tendo em vista o aumento da demanda de água, devido ao crescimento da população, da agricultura e da indústria, recomenda-se a realização de estudos relacionados à disponibilidade hídricas dos aquíferos da região, a fim de contribuir com o gerenciamento responsável destes recursos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGB – Associação dos Geógrafos Brasileiros, Seção Local Rio-Niterói, Grupo de trabalho em assuntos agrários. *Relatório dos Impactos Socioambientais do Complexo-Portuário do Açú*, Rio de Janeiro, setembro de 2011.

AGUIAR, R. B. *Impactos da Ocupação Urbana na Qualidade das Águas Subterrâneas na Faixa Costeira do Município de Caucaia – Ceará*. 1999. 88f. Dissertação (Mestrado em Geologia). Programa de Pós Graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/mestre_roberio_aguiar.pdf>. Acessado em 12 de Dezembro de 2013.

ALLER, L., BENNETT, T., LEHR, J. H., PETTY, R. H., HACKETT, G., 1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Setting. U. S. Environmental Protection Agency, EPA, Report 600/2-87-035; pp 1-445.

ALVES, E. C., 2002. Zonas de Fraturas Oceânicas e suas Relações com a Compartimentação Tectônica do Sudeste do Brasil (Rio de Janeiro). Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 233p.

ALVES, R. A., 1999. Estudo Sismoestratigráfico da Bacia do Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense. 88p.

ASMUS, H. E & GUAZELLI, W., 1981. Descrição sumária das estruturas da margem continental brasileira e das áreas continentais e oceanicas adjacentes, hipótese sobre o tectonismo causado e implicações no prognóstico de seu potencial em recursos minerais. In: Asmus, H. E., ed. Estruturas e tectonismo da

margem continental brasileira e de suas implicações nos processos sedimentares e na avaliação do potencial de recursos minerais. Rio de Janeiro, Petrobrás. (Projeto, Remac, 9) p. 187-269.

BAIRD, C. Química Ambiental; trad. Maria Angeles Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BARRETO, A. B. C., MONSORES, A. L. M., LEAL, A. de S. e PIMENTEL, J. - Projeto Rio de Janeiro - CPRM Serviço Geológico do Brasil. Rio de Janeiro: geologia, geomorfologia, geoquímica, geofísica, recursos minerais, economia mineral, hidrogeologia, estudos de chuvas intensas, solos, aptidão agrícola, uso e cobertura do solo, inventário de escorregamentos, diagnóstico geoambiental. Rio de Janeiro: CPRM: Embrapa Solos; 2001

BARROS, R. T. de V.; CASSEB, M. M. S.; CASTRO, A. A.; CHERNICHARO, C.A.L.; COSTA, A. M. L. M.; HELLER, L.; MÖLLE R, L. M.; VONSPERLIN G, E.; VONSPERLIN G, M. *Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios*. 1995. Vol. II. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 221 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. PORTARIA Nº 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

CAETANO, L.C. *Água Subterrânea no Município de Campos dos Goytacazes (RJ-BRASIL): Uma opção para o abastecimento*. 2000. 163 f. Dissertação (Mestrado em Geociências)-Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CAETANO, L. C.. A política da água mineral: uma proposta de integração para o Estado do Rio de Janeiro. 2005. Tese (doutorado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Campinas, SP.

CAMARGO, M.N; KLAMT, E; KAUFFMAN, J.H. Sistema brasileiro de classificação de solos. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 12, nº.1, p.11-33, jan./abr. 1987.

CAPUCCI, E.; MARTINS, A. M.; MANSUR, K. L.; MONSORES, A. L. M. Poços Tubulares e outra captações de águas subterrâneas – orientação aos usuários. Rio de Janeiro, Brasil: SEMADS, SEINPE, 2001. 67 p.

CAPUCCI, E. *Água Subterrânea na Baixada Campista. Anais do I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste*, 2003. Petrópolis, RJ. ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas.

CEDAE – Companhia Estadual de Água e Esgoto. Relatório Anual/ Informações aos Usuários/ São João da Barra, 2008. Disponível em: <http://www.cedae.com.br/div/RelatoriosQualidadeAgua/saojoaodabarra>. Acessado em: 20 de novembro de 2013.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo*. São Paulo, 2001.

CETESB, *Água subterrânea e poços tubulares*; trad. Publicado pela JHONSON Division, UOP, Inc., Saint Paul, Minnessota. 3 ed. São Paulo, 1978.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (2001) Ministério das Minas e Energia / Secretaria de Minas e Metalurgia. *Projeto Rio de Janeiro*, CD-ROM. Brasília

CUSTODIO, E., LLAMAS, M.R. *Hidrología Subterránea*. Barcelona: Omega, 2º ed., vol. 1, 1983. 2350p.

DELVIN T. M. et al. *Manual de Bioquímica com correlações clínicas*. Editora Edgard Blucher Ltda. 1998.

EIA - Estudo de Impacto Ambiental do Distrito Industrial de São João da Barra, 2011. Disponível em: <http://www.ceivap.org.br/downloads/eia%20rima/EIA%20-%20DISJB/>, Acessado em: 19/11/2013.

FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J. *Hidrogeologia. Conceitos e Aplicações*. 2 ed. Fortaleza, Editora Eletrônia, 2000, p. 390. Disponível em: <www.cprm.gov.br/publique/media/Errata_Permanente.pdf>. Acessado em: 12 de Dezembro de 2013.

FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 3. ed. rev. e ampl. –Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812 p.

FENZL, Norbert – *Introdução à hidrogeoquímica por Norbert Fenzl e a colaboração de J.F. Ramos*, 1986. Belém: Universidade Federal do Pará.

FERREIRA JÚNIOR, L. G. *Monitoramento e avaliação da contaminação de água potável através do método do substrato definido-cromogênico a nível municipal do SUS*. 2002. Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública – FIOCRUZ/ENSP. Rio de Janeiro - RJ. (Dissertação de mestrado).

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo/ ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. *Orientações para utilização de Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo*, 2005.

FIGUEREDO, K. S. L. *Estudo da água produzida em diferentes zonas de produção de petróleo, utilizando a hidroquímica e a análise estatística de parâmetros químicos*. 123f. Dissertação (Mestrado em Química). Departamento de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2010. Disponível em: http://bdtd.ufrn.br//tde_arquivos/35/TDE-2010-05-31T005051Z2629/Publico/KyteriaSLF_DISSERT.pdf. Acessado em 12 de Dezembro de 2013.

FOSTER, S.; HIRATA, R., 1988. *Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data*. Lima: CEPIS. Technical Report. 81 pp.

FOSTER, S.; HIRATA, G.A.; ROCHA, G.A., 1988. *Riscos de Poluição das águas subterrâneas: uma proposta metodológica de avaliação regional*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 5°. São Paulo, ABAS. P.175-185.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. *Determinacion del Riesgo de Contaminacion de Águas Subterrâneas – una metodologia basada en datos existentes*. 2ª Edição. Lima, Peru: Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente / Organizacion Mundial de la Salud, 1991.

FOSTER, S. et al. *Protección de la Calidad del Agua Subterrânea*. 2002. Banco Mundial: Washington, 115p.

FREITAS, D. M., *Águas Subterrâneas na Baixada Campista: Geometria, Qualidade e Dinâmica do Aquífero Quaternário Deltaico*. 2003. 197 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

FREITAS, V. P. S., *Padrão físico-químico da água de abastecimento público da região de Campinas*. Revista Instituto Adolfo Lutz, Campinas, v.61, n.1, p. 51-58, 2002.

GORINI, M. A.; CASTRO, JR. J. C.; SOUZA, E. A.; REIS, A. T.; FACURI, M. T., 1993. Movimentação de Massa no Talude Continental ao Largo de São Tomé – RJ. III Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro, RJ – Brasil, 1300-1305.

GW MATE – Global Water Partenership Growndwater Management Advsory Team. *Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais*. Banco Mundial Ed. Brasileira, SERVMAR-Serviços técnicos ambientais. 2006. 114p

HIRATA, R; VIVIANI-LIMA, J. B; HIRATA, H. A água como recurso. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.M. de; TAIOLI, F. (Orgs.). 2ª edição. Decifrando a Terra. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009, p.448-485.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2006. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/>, 2008 e 2010. Acesso em 12 de novembro de 2013.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Mapa Climático de Precipitação Pluviométrica Acumulada Anual*

(1931 – 1990), 2010. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/html/clima>, acessado em: 19/11/2013.

LOGAN, j., 1965. Interpretação de Análises Químicas da Água. US. Agency for International Development. Recife.

MAHAN, B. M. Química: um curso universitário. 4. Ed, São Paulo: Ed. Blücher, 2000

MANASSÉS, F., *Caracterização Hidroquímica da Água Subterrânea da Formação Serra Geral na Região Sudoeste do Estado do Paraná*. 2009. 104f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: http://www.dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/.../1/Dissertacao_Fabio_Manasses.pdf. Acessado em 12 de Dezembro de 2013.

MANOEL FILHO, J. (2000) - Contaminação das Águas Subterrâneas. Cap.06. In: Feitosa, C.A.F. & Filho, J.M. 109-132p.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J.M.; DOMINGUEZ, J.M.L.; AZEVEDO, A.E.G. 1984. *Evolução da planície costeira do Paraíba do Sul (RJ) durante o Quaternário: influência das variações do nível do mar*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, *Anais*, v. 1, Rio de Janeiro, SBG, p. 84-97.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.M. 1997. *Geologia do Quaternário costeiro do litoral norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo*. Belo Horizonte, CPRM-FAPESP, 104 p.

MENDES, B.; OLIVEIRA, J. F. S. — Qualidade da água para consumo humano. 1^A. ed. Lisboa : Lidel. 2004. (Edições técnicas).

MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE. (2001). Programa de Águas Subterrâneas. Brasília:MMA

MINUZZI, R.B.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, J. M. N.; VIANELLO, R. L. *Influência da La Niña na estação chuvosa da Região Sudeste*, Revista Brasileira de Meteorologia, São José dos Campos, v.22, n. 3 p.345-353, 2007.

MÖBÜS, G. - QUALIGRAF. *Programa para Análise da Qualidade de água*, 2009. FUNCEME. Disponível em: <http://www.funceme.br/index.php/software/qualigraf>. Acessado em: 28 de novembro de 2013.

MOTA, S. *Introdução a Engenharia Ambiental*, 2003. 3 ed. Rio de Janeiro, ABES, 416 p.

OMS. 2004. Guidelines for Drinking-water Quality - Vol. 1, 3^a ed. Organização Mundial de Saúde. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3/en>. Acesso em: 30 outubro 2013.

PINTO, B. V.; GODOY, J. M.; ALMEIDA, M. C.; *Características Químicas e Fisico-químicas de Águas Subterrâneas do Estado do Rio de Janeiro*. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2006. Disponível em: <http://ww2.abas-rj.org/atuacao_tecnica/caracteristicas_quimicas.pdf%3E>. Acessado em 12 de Dezembro de 2013.

RANGEL, H. D., MARTINS, F. A. L., ESTEVES, F. R., FEIJÓ F. J., 1994. Bacia de Campos. Boletim de Geociências. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, 8 (1): 203-217.

REIS, A. T., 1994. O grupo sudeste de cânions e sua relação com a progradação do leque São Tomé – RJ. Rio de Janeiro. Observatório Nacional. Dissertação de Mestrado. 123 p.

RICHTER, C.A.; NETO J. M. A. Tratamento de Água, tecnologia atualizada. Ed. Edgard Blucher. 1991.

ROJAS, L. R., VELEZ O., VICTORIA, M., *Vulnerability to the Contamination, Aquifer South Zone of the Valley of Cauca, Colombia. Bol. Cienc. Tierra.* [online]. May/Aug. 2008, n.23 [cited 29 October 2010], p.69-84. Disponível em: <<http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php>>. Acessado em : 11 de dezembro de 2013.

SANTOS, A. C. 1997. *Noções de Hidroquímica. In: Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.* Coordenadores: Fernando Antônio Carneiro Feitosa / João Manoel Filho. Fortaleza. CPRM / LABHID – UFPE. 1ª Ed.

SANTOS, Almany Costa. (2000) - Noções de hidroquímica. In: FEITOSA, Fernando A. C.;

SCHALLER, H. 1973. Estratigrafia da Bacia de Campos. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 27. Aracaju, SBG. Anais, V. 3, p. 247-258.

SCOPEL, R. M.; TEIXEIRA, E. C.; BINOTTO, R. B. *Caracterização Hidrogeoquímica de Água Subterrânea em Área de Influência de Fururas Instalações de Usinas Hidrelétricas – Bacia Hidrográfica do Rio Taquarintas/RS, Brasil. Química. Nova*, v. 28, n. 3, p. 383 – 392, 2005. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422005000300004&script=sci_arttext.

Acessado em 12 de Dezembro de 2013.

SENA, S. F. M.; *Estudo Hidroquímico da Água Produzida em um Determinado Campo de Petróleo da Bacia Potiguar*. 2011. 126f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós Graduação em Ciências e Engenharia de Petróleo, Natal-RN. Disponível em: http://bdtd.bczm.ufrn.br/tde_arquivos/41/TDE-2012-02-14T232330Z-3895/Retido/ShirleyFMS DISSERT.pdf. Acessado em 11 de Dezembro de 2013.

SILVA , C. G., & outros. 2001. Projeto de Caracterização Ambiental da Bacia de Campos, Relatório Parcial 3, REDEPETRO, Agência Nacional do Petróleo. 512p.

SILVA, C. G. 1987. Estudo da evolução geológica e geomorfológica da região da Lagoa Feia, RJ. 160 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1987.

SOUZA CRUZ, C. E., 1995. Estratigrafia de Sedimentação de Águas Profundas do Neogeno da Bacia de Campos, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 186p.

TOMAZ, E. A. Mapeamento de paleocanais ao longo da planície costeira do rio Paraíba do Sul e plataforma continental da bacia de Campos e sua possível relação com a evolução do canyon Almirante Câmara/ Erick Alves Tomaz. – Rio de Janeiro: UFRJ/IGEO. Dissertação (mestrado) – UFRJ/Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia, 2005.

VIANA, A. R.; FAUGÈRES, J. C.; KOWSMAA, R. O.; LIMA, J. A. M.; CADDAH, L. F. G.; RIZZO, J. G., 1998. Hydrology, Morphology and Sedimentology of the Campos continental margin, offshore Brazil. *Sedimentary Geology* 115, p. 133-157.

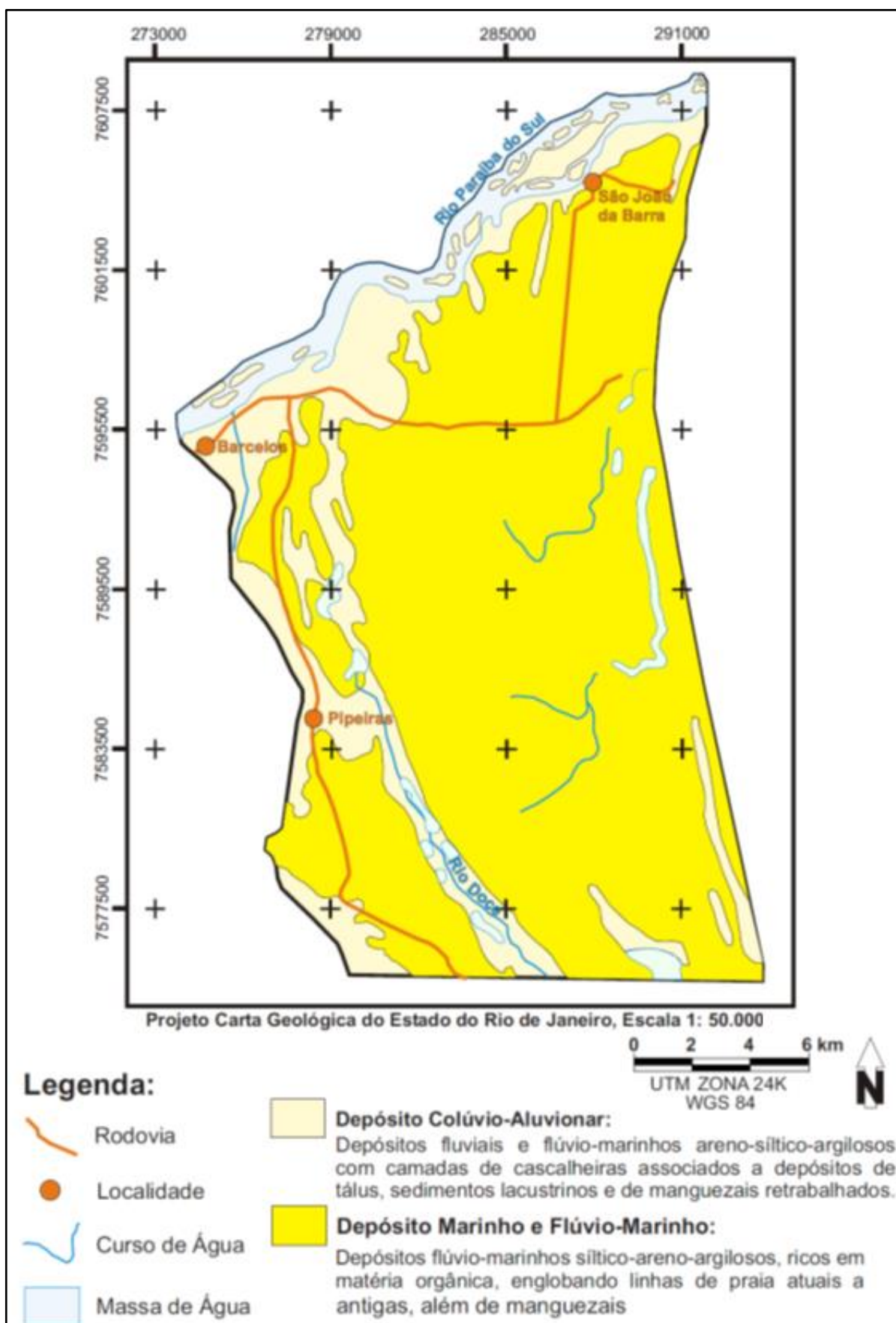
VAN STEMPVOORT, D., EWERT, L., WASSENNAR, L., 1992. AVI: A Method of Groundwater Protection Mapping in the Prairie Provinces of Canada. Prairie Provinces Water Board, Regina, Saskatchewan.

VON SPERLING, M.; OLIVEIRA, S. M. A. C.; SOUKI, M. I. O. . *Wastewater characteristics in a developing country, based on a large survey (166 treatment plants)*. 2006. In: 5th World Congress of IWA International Water Association, Pequim. Proceedings. Londres: IWA International Water Association.

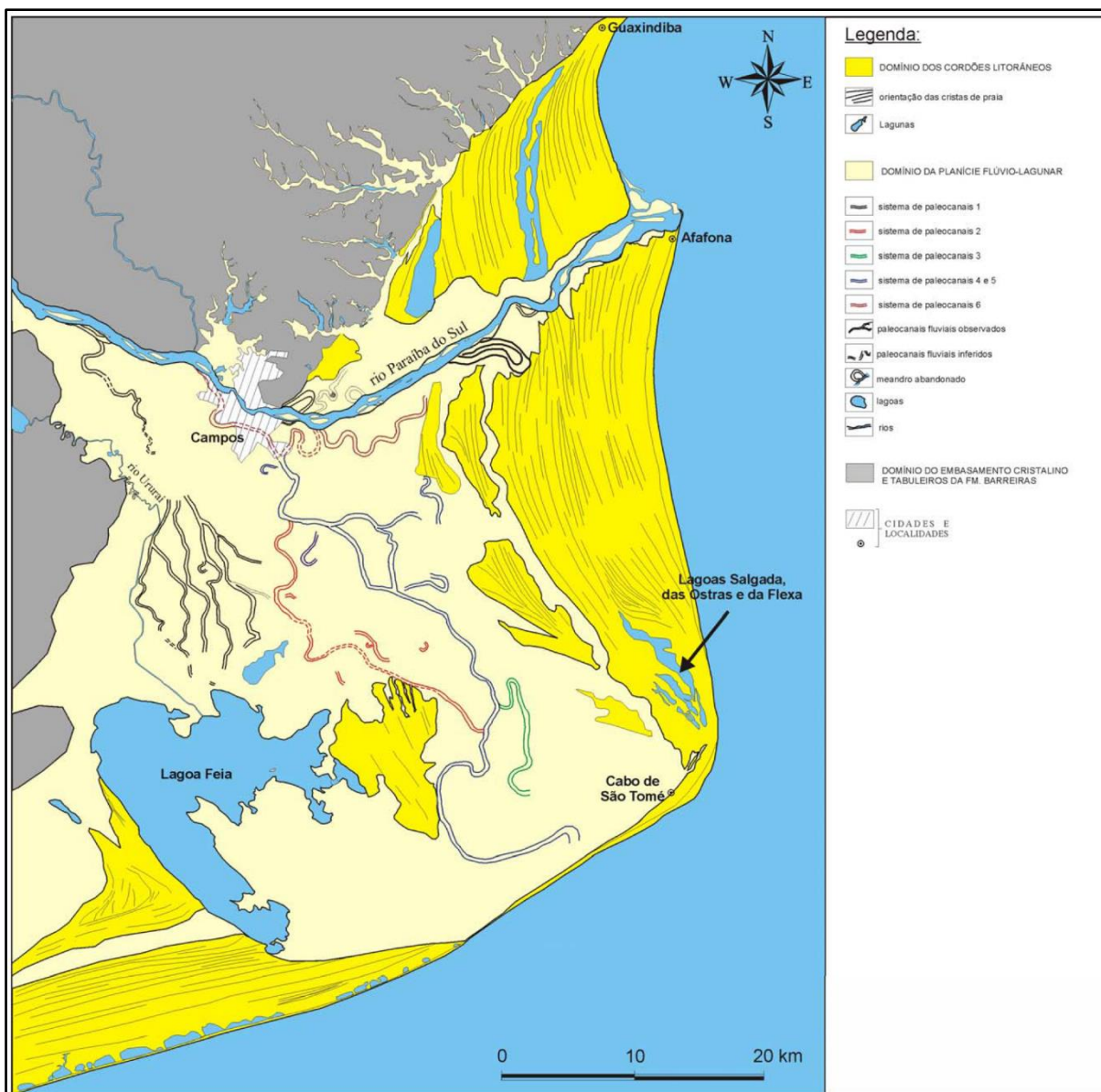
ZIMBRES, E. *Guia avançado sobre água subterrânea: captação de água subterrânea*. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em <http://www.meioambiente.pro.br/>>. Acesso em 12 de Dezembro de 2013.

ANEXOS

ANEXO I – Mapa Geológico de SJB (CPRM/DRM-RJ, 2001)

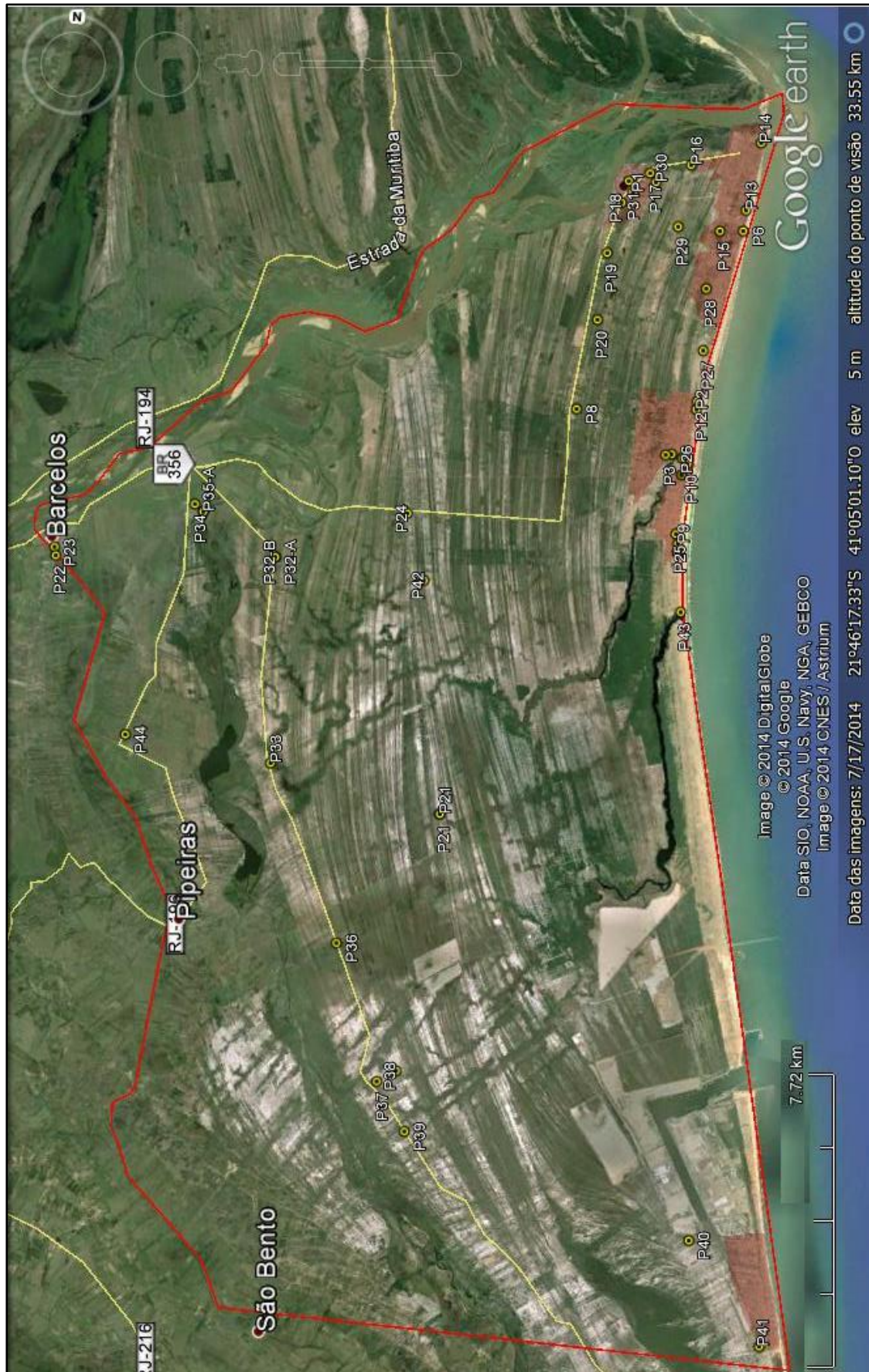


Anexo II - Mapa dos principais domínios geomorfológicos da planície costeira do rio Paraíba do Sul.



Fonte: Tomaz (2005)

Anexo III – Imagem do Google Earth com a localização dos poços rasos.



Anexo IV – Tabela dos Poços rasos cadastrados em SJB.

Poços	Local de coleta	NE	pH campo	CE campo	STD campo	Temp campo
		m		μS/cm	mg/L	°C
P1	São João da Barra					
P2	Grussaí (Casa 1)	2,06				
P3	Grussaí (Casa 2)		8,3	931	465,5	25,8
P4	Casa 1 (Lagoa de Grussaí)		8,3	1338	669	26,4
P5	Casa 2 (Lagoa de Grussaí)	1,0	8,6	822	411	25,3
P6	Atafona	3,17	8,4	464	232	24,1
P7	São João da Barra					
P8	São João da Barra	1,7	7,7	426	212	27,2
P9	Residência Grussaí		8,8	503	253	27
P10	Rua São Pedro (Lagoa de Grussaí)		8,5	1176	588	26,2
P11	Rua Aqua Verde (Grussaí)	2,0	8,6	553	273	26,7
P12	Grussaí sentido Atafona	1,38	8,3	1040	520	26,4
P13	Residência (Atafona)		8,7	368	182	26,2
P14	Hotel Cassino (Atafona)	3,6	8,1	525	262	26,0
P15	Bar Atafona (Rua Joaquim)	2,37	7,4	445	222	26,0
P16	Fazenda na BR-356	2,47	7,1	220	111	26,7
P17	Rodolpho Mat. Constr. BR-356	2,97	7,4	313	150	25,5
P18	Lui Rações BR-356	1,57	7,4	568	282	25,7
P19	Fazenda da D'Elizete BR-356	0,76	7,8	1047	521	25,6
P20	Fazenda São Luiz BR-356	0,75	7,9	951	474	25,4
P21	Sítio em Amparo	1,17	6,5	185	93	25,7
P22	Barcelos - Rua Principal	3,16	8,3	627	316	25,2
P23	Barcelos - Rua Otávio Chagas	3,14	8,1	781	384	23,7
P24	Cajueiro - BR 356 - esquina com guarda municipal	1,37	8,0	380	190	26,6
P25	Grussai - Rua Minas Gerais	2,03	8,7	486	243	26,5
P26	Grussai - Sorveteria das crianças	2,2	8,7	815	408	26,9
P27	Chapéu de Sol	2,02	8,7	381	190	27,0
P28	Chapéu de Sol - Rua Jardim Soleman	2,75	8,3	835	417	26,2
P29	Sítio dos Cavalos	4,2	8,1	192	93	27
P30	São João da barra - praça	2,13	7,9	275	135	26,1
P31	São João da Barra - Loja "casa do papai noel"	-	7,6	472	236	25,8
P32-A	Amparo – (bomba manual)		6,6	281	140	24,5
P32-B	Amparo (ao lado do poço anterior)	2,45	7,0	700	351	25,5
P33	Distrito Campo da Praia	1,68	7,8	862	430	25,8
P34	Caetá - poço da praça	2,97	7,6	230	115	27,5
P35-A	Caetá (Poço com bomba manual)	2,64	7,1	84	41	26,9
P35-B	Caetá (Poço com bomba elétrica)	2,64	7,6	166	83	26,7
P36	Distrito Campo da praia	1,39	7,6	324	163	26,6
P37	Distrito Água Preta	1,65	7,1	322	162	26,6

P38	Água Preta		7,1	135	68	28,0
P39	Água Preta	1,6	7,4	184	93	27
P40	Estrada do Salgado	-	7,2	323	161	26
P41	Barra do Açú - rua Maria Clarinda	1,6	7,4	694	350	27,1
P42	Cajueiro - Rua do Galinheiro	2,42	7,7	743	379	26,2
P43	Lagoa de Iquipari (poço)	0,7	8,5	665	331	26,6
P44	Vila da Terra	1,73	9,0	265	138	27
P45	Escola Luiz Gomez - Localidade de Engeitado	1,78	9,0	485	241	30

Anexo V – Tabela das Amostras dos Poços rasos analisados.

Poços Rasos	pH lab	CE Lab	STD Lab	Dureza Total	Alcalin.	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃
VMP 2914/11		μS/cm	1000 mg/L	mg/l CaCO ₃	mg/l CaCO ₃	200 mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	250 mg/L	250 mg/L	mg/L
P8	7,694	432	284	127	161	27,5	13,5	40,9	6,12	49,4	6,17	160
P14	7,55	525	343	109	93,818	55,5	6,89	32,9	6,46	82,6	29,3	93,8
P23	7,287	695	450	124	90,77	82,6	16,2	41,9	4,68	69,8	56,9	90,8
P26	8,271	877	566	203	21,2	119	7,72	68,9	7,7	117	26,1	338
P31	7,48	455	298	123	87,59	34,3	7,82	42,4	4,22	29,7	53	87,6
P32-A	7,046	269	181	37,1	5,27	21,2	20	9,22	3,41	35,3	24,7	5,27
P35-A	7,023	78	60	20	14,64	4,62	1,94	5,44	1,64	9,13	5,49	15,1
P36	7,346	311	207	97,6	132,98	20,2	2,78	34,1	3,03	34,8	2,47	133
P39	7,16	237	160	73,3	77,47	9,31	10,9	23,4	3,61	23,2	19,9	77,4
P40	6,953	325	216	87,4	83,08	29,2	3,83	25,2	5,97	46,3	15,1	83
P41	7,348	729	472	139	137,86	102	12,4	37	11,5	88,7	91,9	138
P42	7,855	770	498	142	167,14	38,8	95,6	30,4	16	84,8	42,5	167
P43	8,179	688	446	202	235,46	57,4	5,89	55,8	15,3	101	18,1	222
P44	7,214	298	199	79	47,09	28,6	2,1	25,7	3,59	30,9	39,4	47,1
P45	7,841	512	334	19,7	62,58	102	4,01	5,57	1,4	96,4	37,6	62,6
Poços	NO ₃ ⁻	SiO ₂	Al	Ba	Br ⁻	CO ₃ ⁻²	Cu	F ⁻	Fe	Mn	Pb	PO ₄ ⁻³
VMP 2914/11	10 mg/L	mg/L	0,20 mg/L	0,7 mg/L	mg/L	mg/L	2,0 mg/L	1,5 mg/L	0,30 mg/L	0,10 mg/L	0,01 mg/L	mg/L
P8	6,39	10,1	0,22	0,033	0,21	0,75	0,003	0,043	2,14	0,098	0,0005	0,35
P14	25,2	16,9	0,03	0,021	0,33	0,75	0,003	0,058	0,005	0,01	0,0005	4,66
P23	107	33,4	0,12	0,023	0,27	0,75	0,012	0,097	0,027	0,02	0,0005	9,97
P26	0,77	17,3	0,051	0,005	0,55	21,2	0,0005	0,25	0,089	0,094	0,0005	2,06
P31	61,7	18	0,027	0,016	0,2	0,75	0,005	0,058	0,029	0,043	0,0005	1,11
P32-A	32,6	11	0,056	0,095	0,12	0,75	0,044	-0,01	0,18	0,054	0,012	0,027
P35-A	3,2	16,6	0,037	0,038	0,037	0,75	0,023	0,041	0,014	0,072	0,051	0,023
P36	0,012	7,57	0,073	0,32	0,23	0,75	0,0005	0,21	3,93	0,077	0,0005	0,28
P39	2,81	7,79	0,12	0,047	0,16	0,75	0,0005	0,027	1,27	0,074	0,0005	0,57
P40	0,5	9,21	0,48	0,018	0,16	0,75	0,0005	0,032	0,79	0,019	0,0005	0,048
P41	1,2	16,8	0,12	0,028	0,49	0,75	0,0005	0,14	3,42	0,0050	0,0005	0,69
P42	42,9	19,9	0,32	0,029	0,32	0,75	0,003	0,068	2,66	0,052	0,0005	12
P43	13	8,45	0,03	0,002	0,42	13,6	0,024	0,18	0,005	0,11	0,0005	0,6
P44	14,1	15,3	0,092	0,07	0,25	38,6	0,004	0,19	1,46	0,004	0,0005	0,37
P45	0,97	54,2	0,004	0,069	0,57	0,75	0,0005	0,45	0,14	0,004	0,0005	0,078

Anexo VI – Tabela das Amostras dos Poços profundos analisados.

Poços Profundos	pH	CE	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	Dureza (mg/L)	Alcalin.
VMP 2914/11	-	-	200	-	-	-	250	250	-	10,00	500,00	-
PP2	6,6	816	147,00	4,69	5,70	5,72	102,00	93,40	130,00	0,06	37,70	106,56
PP3		850	136,00	5,55	34,00	0,0000	134,00	54,90	109,00		85,00	89,34
PP8	6,9	917	154,00	7,73	6,21	12,10	159,00	69,60	129,00	0,08	65,40	105,74
PP11	6,8	976	153,88	6,36	19,43	9,09	156,61	99,78	121,02	0,01	85,84	99,20
PP12	8,0	699	154,00	7,38	15,60	10,50	80,70	69,70	309,00	0,06	82,05	253,28
PP13			219,00	10,50	21,00	0,62	123,00	163,00	191,00		55,04	156,56
PP14	6,7	637	112,00	2,59	5,21	6,21	97,60	54,30	98,60	0,04	38,49	80,82
PP15	6,6	889	141,00	7,81	6,22	15,30	140,00	98,10	114,00	0,06	78,28	93,44
PP16	6,4	766	121,00	5,35	9,57	17,60	128,00	71,30	107,00	0,08	96,09	87,70
PP17	7,3	551	90,80	5,30	7,62	13,20	57,90	11,90	207,00	0,04	73,17	169,67
PP21	7,6	644	133,62	10,98	16,28	12,59	101,76	86,622	168	0,81	92,5	
PP26	6,9	530	79,84	7,96	17,285	7,7	118	50,1	80,5	0,15	3,3	
Poços Profundos	Br (mg/L)	CaCO ₃ (mg/L)	Cr (mg/L)	Cu (mg/L)	F (mg/L)	Fe (mg/L)	HPO ₄ ⁻² (mg/L)	Mn (mg/L)	Pb (mg/L)	Ba (mg/L)	Al (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)
VMP 2914/11	-	-	0,05	2,0	1,50	0,3	-	0,1	0,01	0,7	0,2	-
PP2	0,370	106,00	0,0005	0,0005	0,180	0,086	0,070	0,120	0,0005	0,003	0,024	61,800
PP3												
PP8	0,57000	106,00	0,0005	0,003	0,260	0,300	0,018	0,330	0,0005	0,06000	0,02300	63,90
PP11	0,53000	2,39	0,0015	0,001	0,250	0,019	0,050	0,656	0,005	0,04100	0,00900	29,58
PP12	0,29000	253,00	0,003	0,001	0,730	0,150	0,210	0,260	0,0005	0,05200	0,03200	45,00
PP13						0,100						
PP14	0,36000	75,90	0,0005	0,001	0,210	0,410	0,005	0,062	0,0005	0,06700	0,02300	63,20
PP15	0,45000	93,60	0,0005	0,0005	0,150	0,370	0,044	0,220	0,0005	0,05300	0,02300	61,90
PP16	0,48000	87,60	0,0005	0,0005	0,230	3,740	0,005	0,290	0,0005	0,18000	0,02300	60,10
PP17	0,17000	169,00	0,0005	0,0005	0,270	0,610	0,710	0,390	0,0005	0,25000	0,02400	60,70
PP21			0,0015	0,001	0,38	0,18		0,53	0,00025		0,03	
PP26			0,005	0,002	0,18	1,003		0,276	0,0005		0,594	