



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

RODRIGO ALVES SANTOS

**HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
DO MUNICÍPIO DE IRAQUARA, BAHIA**

Salvador
2011

RODRIGO ALVES SANTOS

**HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO
MUNICÍPIO DE IRAQUARA, BAHIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Jerônimo Moreira Cruz

Co-orientador: Prof. Dr. Sérgio Augusto de Morais Nascimento

Salvador
2011

S237 Santos, Rodrigo Alves,
Hidrogeoquímica das águas subterrâneas do município de
Iraquara, Bahia / Rodrigo Alves Santos. - Salvador, 2011.
114f. + anexos : il.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Jerônimo Moreira Cruz.
Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em
Geologia, Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências,
2011.

1. Águas subterrâneas – Iraquara (BA). 2. Química da água. 3.
Água – Qualidade. 4. Abastecimento de água. I. Cruz, Manoel
Jerônimo Moreira. II. Universidade Federal da Bahia. Instituto de
Geociências. III. Título.

CDU: 556.314(813.8)

Elaborada pela Biblioteca do Instituto de Geociências da UFBA.

Rodrigo Alves Santos
Geógrafo (Universidade do estado da Bahia - 2007)

**"Hidrogeoquímica das Águas Subterrâneas do Município de
Iraquara, Bahia"**

Dissertação aprovada como
requisito parcial para
obtenção do grau de
Mestre na Pós-Graduação
em Geologia da
Universidade Federal da
Bahia

APROVADA EM: 28/02/2011

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Manoel Jerônimo Moreira Cruz – Orientadora



Prof. Dr. Sérgio Augusto de Moraes Nascimento – Co-orientador



Prof. Dr. Antonio Puentes Torres (NEHMA/IGEO/UFBA)



Dr. Francisco Inácio Negrão – CERB

Dedico este trabalho à memória de minhas avós Floraci de Jesus Alves e Ana Araújo Santos e do meu amigo Rodrigo (Biguá), grandes incentivadores dos meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Izaú Araújo e Siley Alves, pelo esforço, dedicação e apoio durante todos os períodos da minha vida.

Aos meus avós Sealdino de Oliveira, Ana Araújo (*in memoriam*) e Floraci Alves (*in memoriam*), pelo apoio e incentivo aos meus estudos.

Aos meus irmãos Wesley Alves e Tatiana Alves, pelo carinho e amor.

Aos meus queridos sobrinhos Hingrid, João Vitor, Hílare e Hícaro, pelo carinho, amor e descontração.

A minha namorada e companheira Jacqueline Lopes, pela paciência, cuidado, admiração e amor.

Ao professor Paulo Fernandes, pelo incentivo em participar do programa de pós-graduação em geologia do IGEO/UFBA.

Ao meu orientador professor Dr. Manoel Jerônimo Moreira Cruz, pela orientação e empenho para a realização deste trabalho.

Ao meu co-orientador Professor Dr. Sérgio Augusto de Moraes Nascimento, pelas preciosas sugestões durante as etapas da pesquisa;

Aos professores Olga Otero e Hailton Silva, pelo respectivo apoio nas atividades de tirocínio docente e sugestões para a base cartográfica.

A todos os professores da pós-graduação em geologia da UFBA.

Aos amigos e colegas do curso de pós-graduação em geologia, Robson Santana, José Luiz, Agnaldo Barreto, Manuel Vitor, Tarcilo David e Elder Resende, pelas discussões e acréscimos neste trabalho.

A Prefeitura Municipal de Iraquara, na figura do Prefeito Edmário Novaes.

A Secretaria Municipal de Vigilância Sanitária, pelo apoio constante à pesquisa.

Ao meu amigo Romeu, pela preciosa ajuda durante as atividades de campo.

Aos técnicos do Laboratório de Métodos Químicos Clássicos, em especial Sales, Valdinéia e Raulina.

Ao Laboratório do Plasma, nas figuras de Mônica e Ricardo.

Ao Laboratório Núcleo de Estudos Ambientais – NEA, especialmente Jorge Mario e Sarah Rocha.

A CAPES, pela bolsa de estudo.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para que este trabalho pudesse ser realizado.

Minha vida é andar
Por esse país
Pra ver se um dia
Descanso feliz
Guardando as recordações
Das terras por onde passei
Andando pelos sertões
E dos amigos que lá deixei.

Chuva e sol
Poeira e carvão
Longe de casa
Sigo o roteiro
Mais uma estação...
E a saudade no coração.

Minha vida é andar [...]

Mar e terra
Inverno e verão
Mostra o sorriso
Mostra a alegria
Mas eu mesmo não
E a alegria no coração

Minha vida é andar [...]

Luiz Gonzaga.

RESUMO

As águas subterrâneas do município de Iraquara se apresentam como recurso natural importante tanto para o abastecimento doméstico, como para uso agropecuário. A localização geográfica da área e as condições hidrogeológicas locais favorecem a exploração da água armazenada em litologias carbonáticas e quartzíticas. Os objetivos primordiais deste estudo consistem em caracterizar a hidrogeoquímica das águas subterrâneas de Iraquara, identificando os principais contaminantes, ou mesmo os potenciais riscos de contaminação do aquífero, associando as informações aos riscos para a saúde pública. Para tanto, foram utilizadas amostras retiradas de trinta poços tubulares distribuídos pelo município, sendo analisados os parâmetros (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , CO_3^- , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , além de pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (STD), dureza, OD, temperatura, fluoreto, ferro total, manganês, cobre, zinco, chumbo e bário. As técnicas analíticas adotadas consistem desde medições físico-químicas *in situ*, com o uso de sonda multiparâmetro, até análises laboratoriais realizadas por Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP OES). Para a caracterização hidroquímica das águas, foram elaborados mapas de isotores dos elementos através do *software* Arc Gis 9.3, utilizando o método de krigagem ordinária. As amostras de água foram classificadas por íons principais a partir do diagrama triangular de Piper, pela dureza e para irrigação. Para a avaliação da água para consumo humano foi utilizada a Portaria nº 518/04, do Ministério da Saúde. Os resultados obtidos mostraram que as águas estudadas classificam-se de maneira geral como cloretadas cálcicas, sulfatadas ou magnesianas, possuindo elevada dureza, dispondo de baixos teores de sódio e médio risco de salinidade. Exceções se fazem nos poços Zabelê, Umburana, Barriguda e Quixaba, os quais possuem altos riscos de salinizarem solos com drenagem deficiente. Com relação a qualidade das águas para abastecimento doméstico, observou-se que os parâmetros cloreto, dureza, ferro total, manganês e chumbo apresentaram valores acima do limite estabelecido pela legislação. Tais valores foram respectivamente relacionados à contaminação antrópica por efluentes domésticos, aos processos de dissolução das rochas carbonáticas e à ocorrência de áreas mineralizadas com chumbo, zinco e manganês, existentes no município. Os resultados mostraram que do ponto de vista qualitativo as águas subterrâneas de Iraquara possuem boas características hidroquímicas. As principais ressalvas são feitas quanto ao risco de contaminação do aquífero por esgotos domésticos ou à contaminação natural das águas localizadas nas áreas de influência de anomalias geoquímicas.

Palavras-chave: hidrogeoquímica, água subterrânea, Iraquara, abastecimento público, risco de contaminação.

ABSTRACT

The groundwater in the city of Iraquara present themselves as important natural resource for both domestic supply and for agricultural use. The geographical location and local hydrogeological conditions favor the exploitation of water stored in quartzite and carbonate lithologies. The main objectives of this study is to characterize the hydrogeochemical Iraquara of groundwater, identifying key contaminants, or even the potential for contamination of the aquifer, gathering the information risks to public health. To that end, samples taken from thirty wells distributed throughout the municipality, and analyzed for (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , CO_3^- , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , and pH, conductivity, solids total dissolved (TDS), hardness, dissolved oxygen, temperature, fluoride, iron, manganese, copper, zinc, lead and barium. The analytical techniques adopted consist of physical and chemical measurements from *in situ*, using a multiparameter probe until laboratory analysis performed by Optical Emission Spectrometry with Inductively Coupled Plasma (ICP OES). For the hydrochemical characterization of waters maps were drawn isoteles elements through software Arc GIS 9.3, using the method of ordinary kriging. The water samples were classified by ions second major from the triangular diagram of Piper, the hardness and irrigation. For the evaluation of drinking water was used to Ordinance n° 518/04, of the Ministry of Health. Results showed that the studied waters are classified generally as chlorinated calcium, magnesium or sulfated, having high hardness and having low levels of sodium and medium risk of salinity. Exceptions are made in wells Zabelê, Umburanas, and Barriguda Quixaba, which have high risks salinizing soils with poor drainage. With respect to quality of water for domestic supply, it was observed that the parameters chloride, hardness, iron, manganese and lead had values above the limit established by law. These values were related respectively to antropic contamination by wastewater, the processes of dissolution of carbonate rocks and the occurrence of mineralized areas with lead, zinc and manganese in the city. The results showed that the qualitative point of view of groundwater have good Iraquara hydrochemical features. The main exceptions are made regarding the risk of contamination of groundwater by sewage or contamination of natural waters located in the catchment areas of geochemical anomalies.

Key words: hydrogeochemistry, groundwater, Iraquara, public supply, risk of contamination.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização e acesso à área de estudo.	21
Figura 2 – Mapa de localização dos poços tubulares cadastrados no município de Iraquara.....	26
Figura 3 – Diagrama de Piper (1944) com a definição dos tipos hidroquímicos.....	31
Figura 4 – Diagrama SAR com a definição dos riscos de sódio e salinidade.....	32
Figura 5 – Precipitação mensal no município de Iraquara, período 2006-2010 (ANA/INGÁ, 2010).....	35
Figura 6 – Precipitação média anual no município de Iraquara, período 2006-2010 (ANA/INGÁ, 2010).....	36
Figura 7 – Classes de solo no município de Iraquara (BAHIA, 2004).	37
Figura 8 – Mapa de distribuição da vegetação e uso do solo no município de Iraquara (BAHIA, 2004).....	41
Figura 9 – Mapa geomorfológico do município de Iraquara (BAHIA, 2004).	44
Figura 10 – Mapa Geológico simplificado do município de Iraquara (BAHIA, 2004).	47
Figura 11a – Mapa da superfície potenciométrica e direção do fluxo da água subterrânea no município de Iraquara (Base de dados dos poços CERB).	54
Figura 11b – Mapa em 3D da superfície potenciométrica e direção do fluxo da água subterrânea no município de Iraquara (Base de dados dos poços CERB).	55
Figura 12 – Concentrações de STD nas águas subterrâneas de Iraquara.	62
Figura 13 – Mapa de distribuição dos valores de STD nas águas subterrâneas de Iraquara.....	62
Figura 14 – Valores de CE nas águas subterrâneas de Iraquara.....	64
Figura 15 – Mapa de distribuição dos valores de CE nas águas subterrâneas de Iraquara.....	64
Figura 16 – Valores de pH nas águas subterrâneas de Iraquara.....	65
Figura 17 – Mapa de distribuição dos valores de pH nas águas subterrâneas de Iraquara.....	66
Figura 18 – Concentrações de Cloreto nas águas subterrâneas de Iraquara. A linha vermelha indica o limite estabelecido pela Portaria nº 518/04.	67
Figura 19 – Mapa de distribuição dos valores de Cloreto nas águas subterrâneas de Iraquara.....	68
Figura 20 – Gráfico dos valores de Sulfato no município de Iraquara.....	70
Figura 21 – Distribuição dos valores de Sulfato nas águas subterrâneas de Iraquara.....	70
Figura 22 – Concentrações de Cálcio nas águas subterrâneas de Iraquara.....	71
Figura 23 – Concentrações de Magnésio nas águas subterrâneas de Iraquara.	72

Figura 24 – Valores de Sódio nas águas subterrâneas de Iraquara.	73
Figura 25 – Mapa de distribuição dos valores de Sódio nas águas subterrâneas de Iraquara.	74
Figura 26 – Concentração de Potássio nas águas subterrâneas de Iraquara.	75
Figura 27 – Gráfico dos valores de OD nas águas subterrâneas do município de Iraquara.	76
Figura 28 – Valores de Alcalinidade Total nas águas subterrâneas de Iraquara.	77
Figura 29 – Valores de Dureza Total das águas subterrâneas de Iraquara. A linha vermelha indica o limite estabelecido pela Portaria nº 518/04.	78
Figura 30 - Classificação das águas segundo a dureza no município de Iraquara (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983).	79
Figura 31 – Mapa de distribuição dos valores de Dureza nas águas subterrâneas de Iraquara.	79
Figura 32 – Concentrações de Nitrato nas águas subterrâneas de Iraquara.	81
Figura 33 – Mapa de distribuição dos valores de Nitrato nas águas subterrâneas de Iraquara.	81
Figura 34 – Concentrações de Ferro Total nas águas subterrâneas de Iraquara. A linha vermelha indica o limite estabelecido pela Portaria nº 518/04.	82
Figura 35 – Mapa de distribuição dos valores de Ferro Total nas águas subterrâneas de Iraquara.	84
Figura 36 – Concentrações de Manganês nas águas subterrâneas de Iraquara. A linha vermelha indica o limite estabelecido pela Portaria nº 518/04.	85
Figura 37 – Mapa de distribuição dos valores de Manganês nas águas subterrâneas de Iraquara.	86
Figura 38 – Valores de Zinco nas águas subterrâneas de Iraquara.	87
Figura 39 – Valores de Cobre nas águas subterrâneas de Iraquara.	88
Figura 40 – Concentrações de Fluoreto nas águas subterrâneas de Iraquara.	89
Figura 41 – Concentrações de Chumbo nas águas subterrâneas de Iraquara. A linha vermelha indica o limite estabelecido pela Portaria nº 518/04.	90
Figura 42 – Mapa de distribuição dos valores de Chumbo nas águas subterrâneas de Iraquara.	92
Figura 43 – Valores de Bário nas águas subterrâneas de Iraquara.	93
Figura 44 – Diagrama de Piper com a caracterização hidroquímica das águas subterrâneas de Iraquara.	98
Figura 45 – Caracterização hidroquímica das águas subterrâneas armazenadas nos quartzitos Chapada Diamantina, localizados em Iraquara.	99
Figura 46 - Caracterização hidroquímica das águas subterrâneas armazenadas nos carbonatos do Grupo Una, localizados em Iraquara.	100
Figura 47 – Classificação das águas subterrâneas de Iraquara para agricultura (U.S.S.L., 1954).	104

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 1 – Purga do poço Alto da Cruz pelo tempo de vinte minutos. Fonte: Pesquisa de campo.....	27
Fotos 2 e 3 – Coleta de água diretamente dos poços Baixa do Cedro (a) e Santa Rita (b). Fonte: Pesquisa de campo	27
Foto 4 – Ficha de campo e equipamento para medição dos parâmetros físico-químicos. Fonte: Pesquisa de campo	28
Foto 5 – Medição <i>in situ</i> dos parâmetros físico-químicos no poço Santa Clara. Fonte: Pesquisa de campo.....	29
Foto 6 – Ocorrência de mineralização de galena em doloarenito oolítico na Mina do Raimundinho, localidade de São José – Iraquara/BA. Fonte: Pesquisa de campo...	52
Foto 7 – Crosta manganesífera encontrada na localidade de São José – Iraquara/BA. Fonte: Pesquisa de campo.....	52
Foto 8 – Dolina preenchida com água pluvial no município de Iraquara. Fonte: Pesquisa de campo.....	57
Foto 9 - Leito fluvial seco do Riacho Água de Rega. Fonte: Pesquisa de campo	57
Foto 10 - Sumidouro do Riacho Água de Rega. Fonte: Pesquisa de campo	58
Foto 11 – Conduto principal da Caverna Lapa Doce. Fonte: Pesquisa de campo	58
Foto 12 - Caverna Pratinha (provável ressurgência do Riacho Água de Rega). Fotografia tirada do interior da caverna. Fonte: Pesquisa de campo.....	59
Foto 13 – Entrada principal da caverna Pratinha. Fonte: Murilo Valle, 2004.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos medidos em campo.....	28
Tabela 2 – Parâmetros medidos em laboratório.....	30
Tabela 3 - Classificação das águas segundo a dureza (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983).....	78
Tabela 4 – Análises químicas dos poços tubulares do município de Iraquara.....	94
Tabela 5 – Dados hidrogeológicos dos poços analisados no município de Iraquara. Fonte: Banco de dados CERB.....	95
Tabela 6 – Matriz de correlação estatística.....	96
Tabela 7 – Padrão de potabilidade de água para consumo humano conforme a Portaria nº 518/04.....	101
Tabela 8 – Classificação das águas segundo o U.S. Salinity Laboratory.....	103
Tabela 9 – Classificação do U.S. Salinity Laboratory para 27 poços analisados no município de Iraquara.....	103

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA.....	18
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO.....	20
1.2.1	<i>Objetivo geral.....</i>	20
1.2.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	20
1.3	LOCALIZAÇÃO E ACESSOS.....	20
1.4	ASPECTOS SICIOECONÔMICOS.....	22
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
2.1	CONSULTA BIBLIOGRÁFICA E CADASTRAMENTO DOS POÇOS TUBULARES.....	24
2.2	ETAPAS DE CAMPO.....	25
2.2.1	<i>Coleta de amostra de água.....</i>	25
2.2.2	<i>Medição dos parâmetros físico-químicos.....</i>	28
2.3	ETAPAS DE LABORATÓRIO.....	29
2.4	CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA.....	31
2.4.1	<i>Qualidade da água.....</i>	32
2.5	CONTROLE DE QUALIDADE E ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS.....	33
2.5.1	<i>Controle de qualidade.....</i>	33
2.5.2	<i>Análise estatística dos resultados.....</i>	33
2.6	SISTEMATIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....	34
3	CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO.....	35
3.1	CLIMA.....	35
3.2	SOLOS.....	36
3.2.1	<i>Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico – PVAd.....</i>	36
3.2.2	<i>Espodossolo Hidromórfico – Ekg.....</i>	38
3.2.3	<i>Latossolo Vermelho Eutrófico – Lve.....</i>	38
3.2.4	<i>Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico – LVAd.....</i>	38
3.2.5	<i>Neossolo Litólico Distrófico – RLd.....</i>	39
3.3	VEGETAÇÃO E USO DO SOLO.....	39
3.3.1	<i>Caatinga.....</i>	39

3.3.2 Floresta Estacional.....	40
3.3.3 Campo Rupestre.....	40
3.3.4 Campos Limpos.....	40
3.3.5 Cerrado.....	40
3.4 GEOMORFOLOGIA.....	42
3.4.1 Pediplanos Cimeiros.....	42
3.4.2 Blocos Planálticos.....	42
3.4.3 Planalto Cárstico.....	43
3.5 HIDROGRAFIA.....	45
3.6 GEOLOGIA.....	45
3.6.1 Grupo Paraguaçu.....	46
3.6.1.1 Formação Açuruá.....	46
3.6.2 Grupo Chapada Diamantina.....	46
3.6.2.1 Formação Tombador.....	48
3.6.2.2 Formação Caboclo.....	48
3.6.2.3 Formação Morro do Chapéu.....	48
3.6.3 Grupo Una.....	48
3.6.3.1 Formação Bebedouro.....	49
3.6.3.2 Formação Salitre.....	49
3.6.4 Formações Superficiais.....	50
3.6.4.1 Coberturas Residuais.....	50
3.6.4.2 Coberturas Detríticas.....	50
3.7 MINERALIZAÇÕES ASSOCIADAS AO GRUPO UNA – BACIA DE IRECÊ....	51
3.8 HIDROGEOLOGIA.....	53
3.8.1 Feições Cársticas.....	56
4 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA.....	60
4.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA.....	60
4.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	60
4.2.1 Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	61
4.2.2 Condutividade Elétrica (CE).....	63
4.2.3 Potencial Hidrogeniônico (pH).....	65
4.2.4 Cloreto.....	66
4.2.5 Sulfato.....	69
4.2.6 Cálcio.....	70

4.2.7 Magnésio.....	72
4.2.8 Sódio.....	73
4.2.9 Potássio.....	74
4.2.10 Oxigênio Dissolvido (OD).....	75
4.2.11 Alcalinidade Total.....	76
4.2.12 Dureza Total.....	77
4.3 PARÂMEROS RELATIVOS A SUBSTÂNCIAS INDESEJÁVEIS OU TÓXICAS.....	80
4.3.1 Nitrato.....	80
4.3.2 Ferro Total.....	82
4.3.3 Manganês.....	85
4.3.4 Zinco.....	86
4.3.5 Cobre.....	87
4.3.6 Fluoreto.....	89
4.3.7 Chumbo.....	90
4.3.8 Bário.....	93
4.4 CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA.....	97
4.4.1 Classificação das águas subterrâneas.....	97
4.4.2 Qualidade das águas subterrâneas para consumo humano.....	100
4.4.3 Qualidade das águas subterrâneas para irrigação.....	102
5 DISCUSSÃO.....	105
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	108
6.1 CONCLUSÕES.....	108
6.2 RECOMENDAÇÕES.....	109
REFERÊNCIAS.....	111

ANEXO I: Formulários de Campo

ANEXO II: Análises Microbiológicas

ANEXO III: Mapa de Distribuição das Mineralizações do Município de Iraquara Sobre Base Geológica

1 INTRODUÇÃO

O sistema aquífero de natureza cárstico-fissural da região de Iraquara, Domínio do Grupo Una (Bacia de Irecê), não possui dados e informações locais suficientes quanto a qualidade de suas águas subterrâneas, bem como aos principais vetores de contaminação. Assinala-se, que esse reservatório apresenta uma grande importância para a população urbana e rural deste município, uma vez que a maior parte dela se abastece com água retirada dos poços tubulares.

As características fisiográficas desta região, com solos férteis e relevo pouco acidentado, favorecem a ocupação antrópica e o desenvolvimento da atividade agropecuária. O fator limitante e comum aos domínios carbonáticos da Bacia de Irecê é a escassez e/ou irregularidade das drenagens superficiais. Na porção Sul da bacia, onde se localiza o município de Iraquara, alguns rios existentes apresentam escoamento superficial intermitente, possuindo descargas fluviais durante apenas os episódios de chuvas intensas. Tal fato gera uma grande dependência para a utilização da água subterrânea.

A qualidade da água subterrânea depende da composição química da rocha-reservatório, de fatores climáticos e estruturais e da existência de atividades antrópicas. O homem é posto como principal agente degradante dos recursos hídricos. No entanto, fatores naturais, a exemplo dos processos de dissolução das rochas geologicamente localizadas em áreas mineralizadas, não podem ser negligenciados. Na área de estudo, particularmente nas proximidades das localidades de Iraporanga e São José existem ocorrências de sulfetos metálicos de chumbo e zinco, além de bário e manganês, conforme assinala a Carta Metalogenética do Estado da Bahia (BAHIA, 2006). Nesse sentido, um estudo sobre a presença desses metais na água subterrânea possibilitará, além de um melhor controle sobre o seu uso pela população desses locais, a confirmação de antigas anomalias geoquímicas que se traduzem em possíveis fontes de contaminação geogênica para a água subterrânea.

Para o um melhor aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos, no que tange ao consumo doméstico e agropecuário, fatores como contaminação do aquífero e qualidade de suas águas devem ser cada vez mais pesquisados, visando contribuir para a melhoria da qualidade de vida das populações. Torna-se

assim, de fundamental importância, um constante e sistemático controle da qualidade dessas águas e a detecção de possíveis vetores de contaminação natural e antropogênica deste manancial, visando sua conservação e evitando constituir-se em um grave problema de saúde pública.

1.1 PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA

A água subterrânea apresenta geralmente excelente qualidade química e física, sendo apta ao consumo humano, muitas vezes sem tratamento prévio. A contaminação ocorre quando alguma alteração na água coloca em risco a saúde ou o bem estar de uma população (HIRATA, 2003).

Dentre os principais contaminantes, o nitrato seguramente é aquele que apresenta as maiores ocorrências em aquíferos. A fonte mais comum deste contaminante se traduz através da precariedade dos sistemas de esgotamento sanitário “*in situ*” (fossas, latrinas, valas). A grande preocupação ambiental associada ao nitrato está no fato dele possuir grande mobilidade e persistência em condições aeróbicas. Em contrapartida, os metais pesados (cobre, chumbo, zinco, manganês, etc.) apresentam baixa mobilidade em ambientes naturais, embora seus comportamentos possam mudar em função de modificações nas condições físico-químicas (pH e Eh) (BOVOLATO, 2007).

Eventualmente, a contaminação das águas subterrâneas pode ocorrer por mecanismos naturais. A interação entre a água e a rocha faz com que a água solubilize certas substâncias, algumas das quais em concentrações que a tornam não potável. Estes problemas, embora não tão comuns, ocorrem em aquíferos onde a matriz mineral apresenta concentração elevada dessas substâncias, a exemplo das áreas com anomalias geoquímicas. Os contaminantes mais comuns são ferro, manganês e flúor, e em concentrações menores arsênio, cádmio, chumbo, zinco, cobre, bário, entre outros (FREEZE & CHERRY, 1979).

De acordo com Silva (2008) o problema de contaminação em aquíferos cársticos está na indefinição das áreas e dos mecanismos pelos quais os contaminantes são incorporados ao fluxo subterrâneo. Em meios heterogêneos como os carstes o transporte dos contaminantes será realizado através das zonas de maior permeabilidade do aquífero. Existirão assim vários caminhos

imprevisíveis no subsolo por onde migrarão as soluções contaminantes, caminhos estes que dependerão exclusivamente das formas cársticas. Tais processos, aliados às condições geológicas dos carstes fazem com que estes sistemas aquíferos sejam altamente vulneráveis a contaminação.

Nos Domínios do Grupo Una, no município de Iraquara, a situação se torna agravante ao considerar-se que uma grande parcela da população rural e urbana se abastece de água subterrânea, através dos poços tubulares. Portanto, para garantir a qualidade da água deste reservatório, faz-se necessário o desenvolvimento de ferramentas que permitam a análise e um diagnóstico deste ambiente, com o objetivo principal de contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população abastecida.

Sendo assim, considerado o risco à saúde pública das comunidades, relacionados à ingestão prolongada de substâncias nocivas, justifica-se o alcance social e científico deste estudo, fundamental ao estabelecimento de uma política de gestão das águas subterrâneas, adequada às condições de saneamento ambiental e a qualidade de vida local.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.2.1 *Objetivo geral*

Elaborar o estudo qualitativo das águas subterrâneas do município de Iraquara, sobretudo acerca dos aspectos hidroquímicos e aos potenciais riscos de poluição e contaminação do aquífero.

1.2.2 *Objetivos específicos*

- a) Caracterizar a hidroquímica das águas subterrâneas, analisando-se os íons principais (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , CO_3^- , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) e secundários (F^- , Fe^{2+} , NO_3^-);
- b) Determinar a presença dos metais pesados Pb, Zn, Cu, Ba e Mn nas águas subterrâneas analisadas;

- c) Identificar os possíveis fatores naturais e antropogênicos influentes na qualidade das águas subterrâneas;
- d) Elaborar uma Base Hidrogeoquímica Simplificada com a localização dos poços tubulares e com informações do uso atual e da qualidade da água, fornecendo, assim, subsídios para a elaboração de um Plano Municipal de Gestão dos Recursos Hídricos;
- e) Interpretar e avaliar as informações obtidas levando em consideração os riscos para a saúde pública.

1.3 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A área de estudo está situada na região de planejamento da Chapada Diamantina, porção Centro-Norte do Estado da Bahia, porção Sul do Planalto Cárstico de Irecê, e abrange os limites territoriais do município de Iraquara. O município possui uma área de 1.029,38 km² e uma população total estimada em 22.607 habitantes (IBGE, 2010). Iraquara localiza-se entre as coordenadas 12° 15' 03" S e 41° 37' 11" W, limitando-se com os municípios de Seabra, Lençóis, Palmeiras, Souto Soares, Mulungu do Morro e Bonito.

O principal acesso à cidade de Iraquara, que dista 469 km de Salvador, é efetuado pela BR-242 (rodovia Salvador-Brasília) até o entroncamento na localidade de Carne Assada, percorrendo mais 27 km pela BR-122 até a sede municipal (Figura 1).

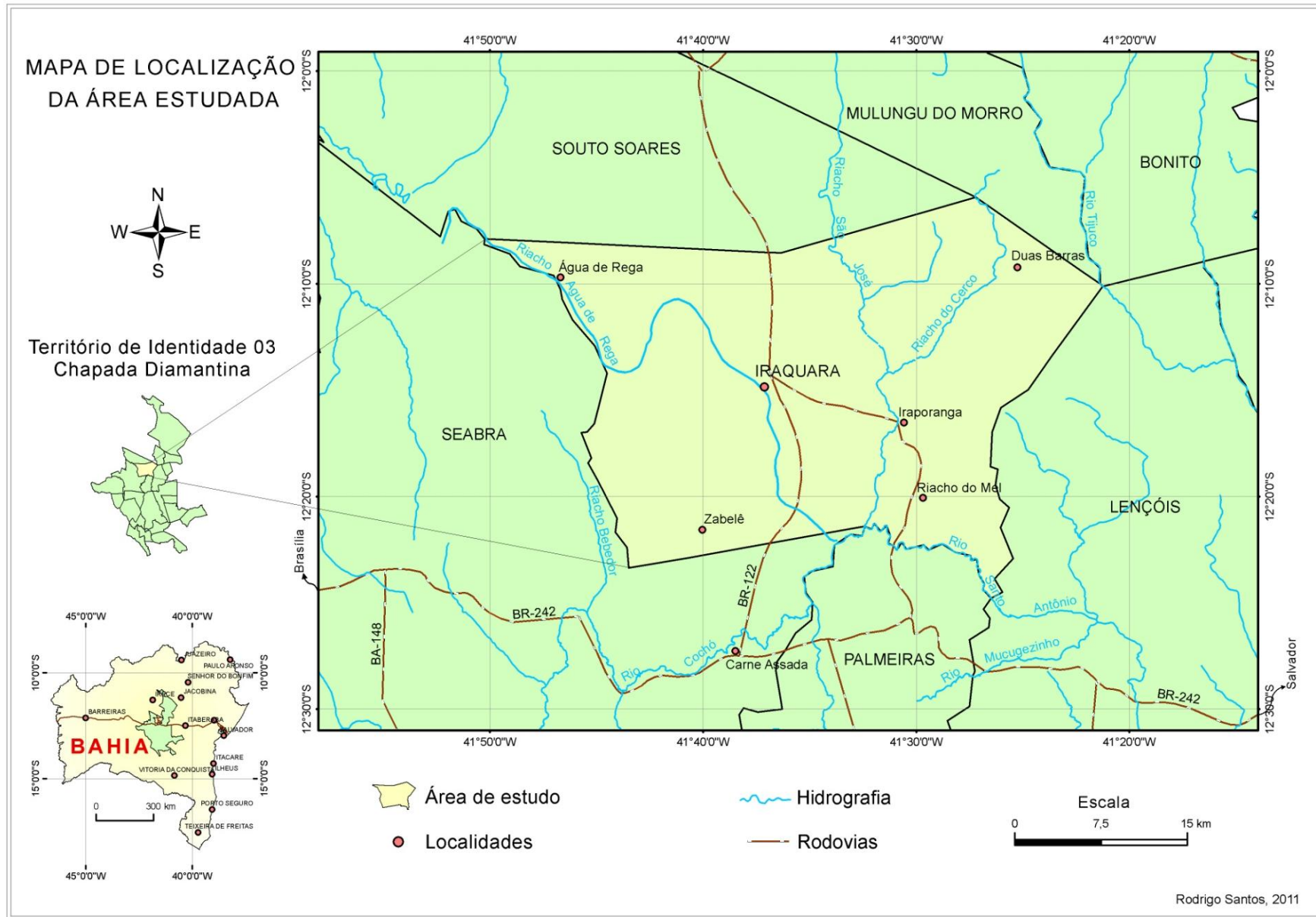


Figura 1 – Localização e acesso à área de estudo.

1.4 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

O desenvolvimento histórico de Iraquara está fortemente ligado à exploração diamantífera na região, formando garimpos que deram origem a muitos povoados. Além disso, outro fator que definiu a ocupação do colonizador no município de Iraquara, foi a ocorrência de água nos vales e cavernas da região, bem como a fertilidade de seu solo. Conta a história, que a descoberta de um poço com água abundante no leito do Riacho Água de Rega (surgência cárstica), por um tropeiro chamado Manoel Félix fez surgir um povoado, que posteriormente tornou-se a cidade de Iraquara.

O atual território do município foi criado por Lei Estadual nº 1.697 em 05 de julho de 1962, sendo desmembrado do território de Seabra, com a denominação de Iraquara.

Segundo dados do Censo IBGE (2010), o município possui uma população de 22.607 habitantes, distribuídos entre uma população urbana de 6.758 e rural com 15.849 habitantes. A distribuição do Produto Interno Bruto (PIB) do município gera uma renda per capita de 4.552,55 Reais.

A agropecuária se configura como a principal atividade econômica de Iraquara, com destaque para a agricultura de produtos como feijão, milho, mamona e cana-de-açúcar, e a pecuária de rebanhos bovinos, suínos, caprinos e ovinos. Atualmente, a maior parte da área cultivada na região é utilizada para a “agricultura de sequeiro”, aproveitando o período chuvoso, organizada sob a forma da agricultura familiar. No entanto, os sistemas mecanizados de irrigação vêm se expandindo de forma rápida e significativa no município, com o uso, principalmente, da água subterrânea.

De maneira geral, o setor industrial pode ser caracterizado como incipiente. A ressalva se faz devido a instalação de uma fábrica de biodiesel (combustível feito a partir do óleo vegetal ou gordura animal), trazida em função da grande potencialidade da região para o cultivo de espécies oleaginosas, como a mamona. Ademais, os outros seguimentos industriais existentes no município, se traduzem na fabricação rudimentar de cal virgem, tijolos e blocos cerâmicos.

O município não é dotado de sistema de captação e tratamento de esgoto sanitário adequadamente estruturado. As soluções mais utilizadas pela população, tanto no meio urbano como rural, é o lançamento dos efluentes

domésticos diretamente em fossas. Na maioria dos casos, as fossas são construídas pelos próprios moradores, sem obedecer a procedimentos técnicos adequados, o que pode acarretar a redução da eficiência dessa estrutura de captação e uma conseqüente contaminação do aquífero.

O abastecimento de água da sede é feito pela EMBASA (Empresa Baiana de Água e Saneamento) com água captada de dois poços tubulares. Em algumas comunidades rurais, o abastecimento se faz pelo Sistema Autônomo de Abastecimento de Iraquara (SAA), em outras o suprimento de água é de responsabilidade de um modelo cooperativista, denominado Central de Associações, que operam e mantêm Sistemas Simplificados de Abastecimento de Água em vilas e povoados de diversos municípios da Bahia.

A região cárstica de Iraquara é uma área privilegiada e conhecida pela grande concentração de feições cársticas. O município possui uma das maiores concentrações de cavernas do país, tornando-se um grande laboratório para os estudos geológicos, geomorfológicos, biológicos e paleontológicos. Mas não é só com relação às atividades de cunho científico que as cavernas de Iraquara têm importância, estas, contribuem com grande parcela da economia do município, através da exploração destes bens naturais por uma modalidade pouco comum do turismo ecológico, o espeleoturismo (SANTOS, 2008a).

Atualmente encontram-se exploradas à visitação turística no município seis cavidades naturais, sendo elas: a Gruta Lapa Doce; Pratinha; Gruta Azul; Gruta da Fumaça; Manoel Lôio e Gruta da Torrinha, sendo que as duas primeiras possuem as maiores demandas turísticas da região. Contudo, nenhuma delas possui um plano de manejo organizado, ou uma fiscalização eficaz contra os diversos impactos ambientais existentes (SANTOS, 2008b).

Assinala-se que o espeleoturismo em Iraquara é praticado ainda de maneira rudimentar, podendo ser classificado como uma atividade econômica de subsistência. As principais reclamações dos turistas que visitam a cidade é a precariedade de sua infra-estrutura, principalmente devido à inexistência de agências de turismo, gerando uma dependência do pólo turístico de Lençóis. Além disso, em Iraquara existe uma grande carência principalmente com relação à sua estrutura hoteleira e restaurantes de qualidade.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Seguindo os objetivos propostos para a completa realização da presente dissertação, foram adotadas as seguintes estratégias metodológicas norteadoras da pesquisa:

2.1 CONSULTA BIBLIOGRÁFICA E CADASTRAMENTO DOS POÇOS TUBULARES

Inicialmente foi feito um levantamento dos dados sobre a área de estudo, incluindo uma ampla revisão bibliográfica feita em trabalhos realizados em escala regional e local, a exemplo de teses, dissertações e relatórios técnicos, ou em outras publicações disponíveis em livros, artigos e anais de congressos. Também foram consultados diversos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Empresa Baiana de Água e Saneamento (EMBASA), Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ), Companhia de Engenharia Ambiental da Bahia (CERB), Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM), Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM), Prefeitura Municipal de Iraquara (PMI), além do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), Resoluções e Portarias do Ministério da Saúde e consultas pela internet.

Para o cadastramento dos poços, foram levantados 85 poços tubulares arquivados no banco de dados hidrogeológico/hidroquímico da CERB, distribuídos pela superfície territorial da área estudada. O cadastro da CERB apresenta dados de coordenadas geográficas, litologia, espessura do solo, data de perfuração, níveis estáticos e dinâmicos, teste de bombeamento e algumas análises físico-químicas. De posse dessas informações, foram selecionados os principais dados hidrogeológicos básicos, armazenados em planilha Excel e posteriormente plotados em Carta Topográfica com escala de 1:100.000.

Nesta fase, antecedendo as etapas de coleta, foi realizada uma visita exploratória na área para cadastramento e identificação dos poços tubulares no município, bem como verificação das possíveis fontes de contaminação. Foram cadastrados um total de 60 poços, utilizados basicamente para abastecimento público e irrigação, dos quais selecionou-se 30 para a realização das análises hidroquímicas. Todos os poços foram registrados com o auxílio de instrumento de

Sistema de Posicionamento Global (GPS) marca GARMIN e lançados em uma base cartográfica georeferenciada (Figura 2).

2.2 ETAPAS DE CAMPO

Para o desenvolvimento das atividades de campo, foi utilizada uma ficha cadastral, adaptada de Nascimento (2008), com o objetivo de agregar aos dados existentes as observações adquiridas em campo (Anexo I).

A campanha de coleta da água subterrânea foi realizada entre os dias 14 e 21 de junho de 2010, estando os 30 poços previamente selecionados e distribuídos pela área pesquisada. A água foi coletada após ser expurgada e bombeada por cerca de 20 minutos, tempo suficiente para renovar a água do poço. Para tanto, foram utilizados recipientes apropriados de plástico polietileno com tampa vedante (Fotos 1, 2 e 3).

2.2.1 Coleta de amostra de água

A coleta de amostra de água *in natura* foi feita em superfície, diretamente através de frasco de coleta, após a desconexão do sistema de captação e purga da água do poço, estando todos os poços em funcionamento. Durante a amostragem de campo foram feitas anotações em fichas padronizadas e efetuadas medidas *in situ* de pH, Eh, Oxigênio Dissolvido (OD), Condutividade Elétrica (CE), Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e Temperatura, utilizando um medidor portátil multiparâmetros WTW (*Wissenschaftlich Technische Werkstätten*). (Fotos 4 e 5).

Todos os frascos coletores devidamente lavados e descontaminados em laboratório foram totalmente enchidos e lacrados, evitando-se bolhas de ar e evaporação, sendo posteriormente armazenados em caixa de isopor térmico e refrigerados até a análise em laboratório.

Para evitar alterações físico-químicas ou biológicas nas amostras d'água até a chegada ao laboratório, fez-se necessário a utilização de 5 ml de HNO₃, mantendo-as refrigeradas. As técnicas de amostragem e preservação das amostras seguiram as orientações técnicas especializadas, como o Manual Prático de Análise de Água (FUNASA, 2006) e do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995).

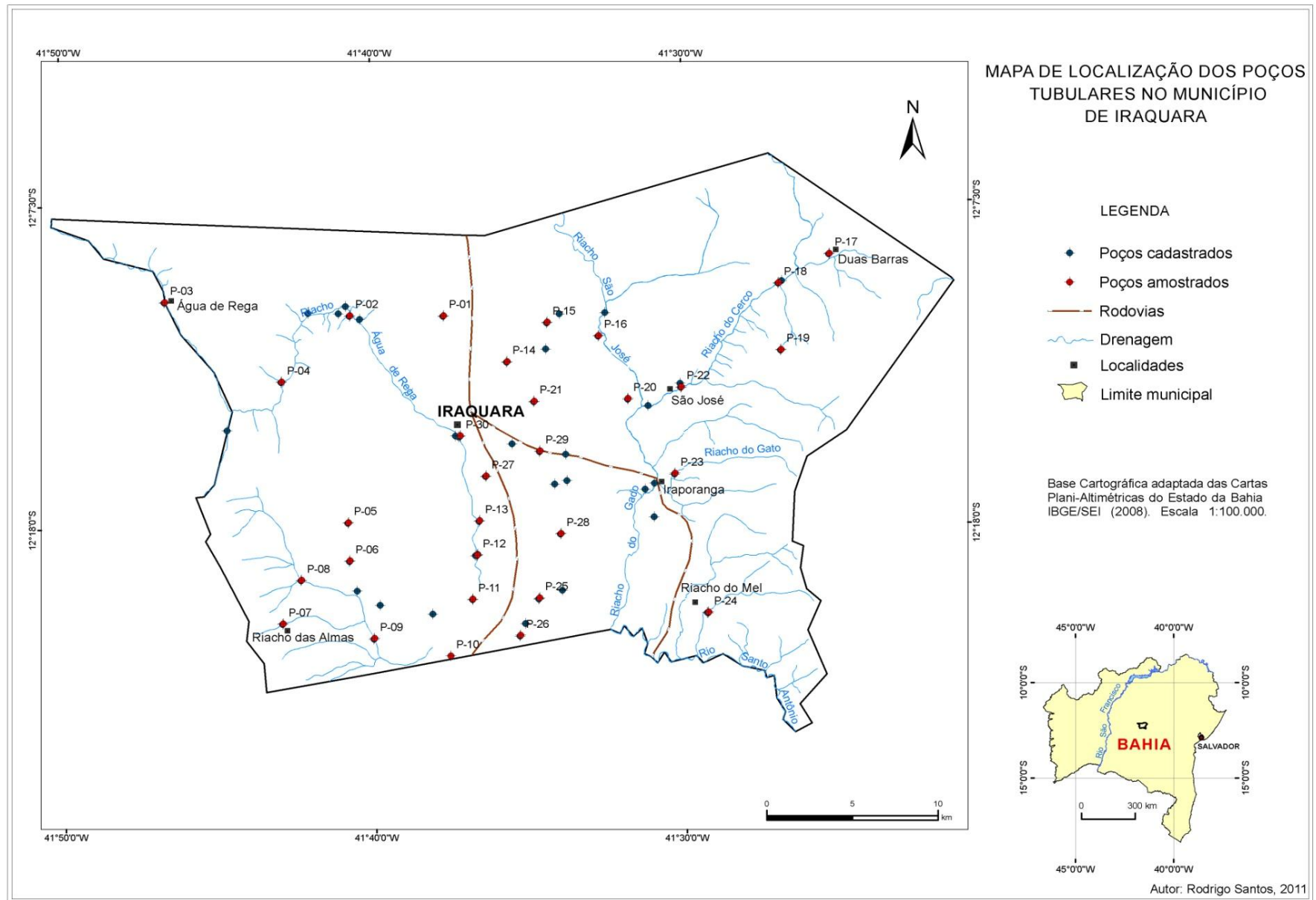


Figura 2 – Mapa de localização dos poços tubulares cadastrados no município de Iraquara



Foto 1 – Purga do poço Alto da Cruz pelo tempo de vinte minutos. Fonte: Pesquisa de campo.



Fotos 2 e 3 – Coleta de água diretamente dos poços Baixa do Cedro (a) e Santa Rita (b). Fonte: Pesquisa de campo.



Foto 4 – Ficha de campo e equipamento para medição dos parâmetros físico-químicos. Fonte: Pesquisa de campo.

2.2.2 Medição dos parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos não conservativos, como pH, Eh, STD, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), e temperatura, foram analisados *in situ*, simultaneamente à coleta das amostras, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos medidos em campo.

Parâmetro	Equipamento	Intervalo de medição	Precisão *
Ph	Medidor portátil – WTW/330i/340i	-2,0 - 19,99	± 0,003 pH
Eh	Medidor portátil – WTW/330i/340i	-1999 - 1999 [mV]	± 0,2 mV
STD	Medidor portátil – HANDYLAB LF1	0 – 20.000 mg/L	± 0,1%
OD	Medidor portátil HANDYLAB OX1	0 – 19,99 mg/L	± 0,5%
CE	Medidor portátil – WTW/315i	0 – 1999 μ S/cm	± 0,5%
Temperatura	Medidor portátil – WTW/315i	-5,0 – 105,0°C	± 0,1°C

* A precisão estabelecida a partir do valor medido em campo.



Foto 5 – Medição *in situ* dos parâmetros físico-químicos no poço Santa Clara. Fonte: Pesquisa de campo.

Neste trabalho não foram analisados os compostos microbiológicos, outrora identificados nos poços de Iraquara, através de análises solicitadas pela Secretaria Municipal de Vigilância Sanitária e realizadas no Laboratório Central de Saúde Pública Professor Gonçalo Moniz (LACEN/BAHIA) (Anexo II). Tal fato se deu em decorrência de problemas logísticos e orçamentários, uma vez que a área estudada, ou mesmo a região, não dispões de laboratórios especializados para a realização de análises bacteriológicas. Além disso, recomenda-se que o intervalo entre a coleta e o envio da amostra para laboratório não ultrapasse um período de 6 a 8 horas.

2.3 ETAPAS DE LABORATÓRIO

As análises dos constituintes principais (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO_4 , HCO_3 , NO_3 , F) e metais (Fe, Cu, Zn, Mn, Ba, Pb), foram realizadas no Laboratório de Métodos Químicos Clássicos (LMQC) e no Laboratório do Plasma, do Instituto de Geociências/UFBA, conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros medidos em laboratório.

PARÂMETROS	UNIDADE	LQM ⁽¹⁾	TÉCNICA ANALÍTICA	EQUIPAMENTO	REFERÊNCIA DO MÉTODO
Cálcio	mg/L	0,1	ICP OES ⁽²⁾	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN
Magnésio	mg/L	0,01	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN
Sódio	mg/L	1,0	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN
Potássio	mg/L	1,0	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN
Cloreto	mg/L		Titrimetria		Standart Methods 19 th Ed.
Sulfato	mg/L	0,1	Espectrofotometria	Espectrofotômetro	Standart Methods 20 th Ed.
Bicarbonato	mg/L		Titrimetria		Standart Methods 19 th Ed.
Nitrato	mg/L	0,1	Espectrofotometria	Espectrofotômetro	Standart Methods 20 th Ed.
Fluoreto	mg/L	0,02	Fluorimetria	Fluorímetro	Standart Methods 20 th Ed.
Ferro	mg/L	0,1	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN
Cobre	mg/L	0,05	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN
Zinco	mg/L	0,1	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN
Manganês	mg/L	0,1	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN
Bário	mg/L	0,1	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN
Chumbo	mg/L	0,01	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN

(1) – Limite de Quantificação do Método.

(2) – Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado.

2.4 CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA

Para a classificação do tipo químico das águas subterrâneas de acordo com o conteúdo iônico dominante, resultante da interação água-rocha, foi elaborado o diagrama triangular de Piper (1944), utilizando o *software* Qualigraf (MOBUS, 2003).

O diagrama de Piper é um diagrama hidroquímico utilizado, freqüentemente, quando se trabalha com grande número de análises químicas de água, servindo para classificar e comparar os distintos grupos de águas quanto aos íons dominantes em cálcicas, cloretadas, bicarbonatadas, sódicas, magnesianas, sulfatadas ou mistas (SANTOS, 2008).

Para esta classificação são plotados os valores principais dos constituintes iônicos do grupo dos cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) e dos ânions (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^-) em um diagrama triangular. Este diagrama é composto por diagramas ternários, compostos por grupos de cátions e ânions, definindo suas respectivas classificações. Um terceiro diagrama apresenta o resultado da classificação para os cátions e ânions (Figura 3).

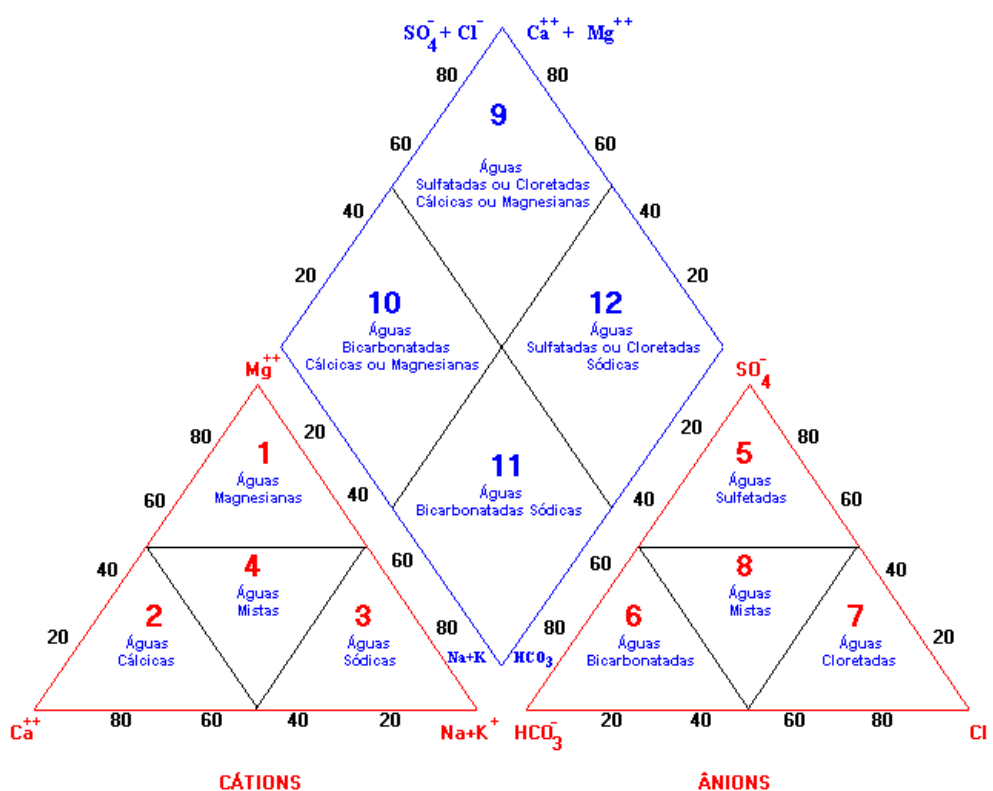


Figura 3 – Diagrama de Piper com a definição dos tipos hidroquímicos.

2.4.1 Qualidade da água

Para a avaliação da qualidade da água para consumo humano foram utilizados valores estabelecidos pela Portaria 518/04 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004). Esta norma oferece avanços significativos de controle e qualidade da água para consumo humano. Além disso, trata-se de um instrumento efetivo no estabelecimento de padrões de proteção à saúde, adotando limites para a presença de substâncias e organismos potencialmente nocivos à saúde humana, encontrados na água consumida.

Para a caracterização da qualidade da água subterrânea para fins de irrigação, foi utilizado o Diagrama SAR (U.S.S.L., 1954) que considera os parâmetros sódio e condutividade elétrica para estabelecer esta relação (Figura 4). O risco de sódio é expresso em SAR (*sodium adsorption ratio*), que compara os teores em meq/L de rNa, rCa e rMg na água (r = valor em miliequivalente). O SAR é calculado pela seguinte equação:

$$RAS = \frac{rNa}{\sqrt{\frac{(rCa + rMg)}{2}}}$$

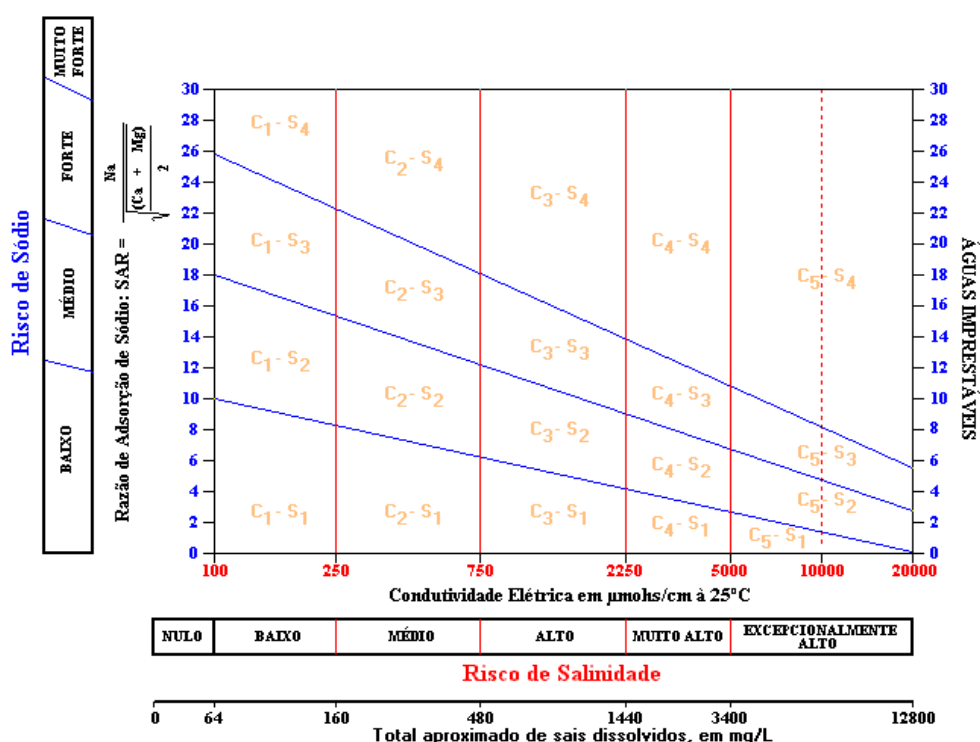


Figura 4 – Diagrama SAR com a definição dos riscos de sódio e salinidade.

2.5 CONTROLE DE QUALIDADE E ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

2.5.1 *Controle de qualidade*

Para o controle de qualidade dos resultados analíticos foram utilizadas amostras duplicatas e corrigidas do branco de análise, correspondentes aos reagentes utilizados. Para a minimização das principais fontes de erro, causadas por componentes sistemáticos e aleatórios, foram realizados os seguintes procedimentos analíticos:

- a) Em todas as coletas foram utilizados os mesmos procedimentos de coleta e análise;
- b) Todos os frascos utilizados para coleta foram descontaminados em laboratório e ambientados com a própria água do poço;
- c) Foram realizadas purgas dos poços pelo tempo de vinte minutos, a fim de se obter uma análise real da água do aquífero;
- d) Todos os instrumentos/equipamentos utilizados em campo e em laboratório foram calibrados e aferidos a intervalos convenientes aos métodos analíticos;
- e) Nos laboratórios, todas as análises foram realizadas dentro dos prazos recomendados, obedecendo aos limites de detecção especificados;
- f) Todos os procedimentos analíticos foram descritos em formulários padronizados e acompanhados pelo pesquisador;

2.5.2 *Análise estatística dos resultados*

Os parâmetros estatísticos convencionais como média aritmética e desvio padrão, foram calculados para todos os dados analisados, sendo representados em gráficos do tipo coluna e linha, usando para ambos o *software* EXCEL 2007.

Para a avaliação das inter-relações entre as variáveis, foi calculada a matriz de correlação estatística, entre os pares de todos os parâmetros analisados. Trata-se de uma ferramenta importante para auxiliar na interpretação dos dados, através de situações de similaridade entre os parâmetros estudados.

A interpretação da matriz de correlação indica que valores mais próximos de 1, entre duas variáveis, sugerem que existe alta correlação positiva, ou seja, os valores tendem a crescer ou decrescer conjuntamente. Quando os valores de **R** são próximos a -1 indica alta correlação negativa, ou seja, o valor de uma variável tende a crescer quando o valor da outra decresce.

Sendo assim, a correlação de 1 indica que as variáveis são dependentes e uma correlação baixa muito próxima a zero indica que não existe correlação, ou seja, são linearmente independentes. Para fins de interpretação, considera-se que uma boa correlação apresenta valores acima de 0,7 ($R^2 > 0,7$).

2.6 SISTEMATIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

As partir dos resultados das determinações analíticas, dispostas para as 30 amostras das águas subterrâneas coletadas no município de Iraquara, confeccionou-se arquivos de dados em planilhas Excel para serem efetuados cálculos estatísticos diversos.

Para a melhor compreensão da ocorrência e distribuição dos parâmetros hidroquímicos analisados, foram elaborados, através do *software* Arc Gis 9.3, mapas de distribuição dos valores de pH, condutividade elétrica, STD, dureza total, sódio, cloreto, nitrato, sulfato, ferro total, manganês, e chumbo. Para a confecção dos mapas de distribuição hidroquímica dos elementos, foram utilizadas técnicas de interpolação por *krigagem* ordinária.

Por fim, a análise dos dados, dispostos sob a forma de tabelas, gráficos, quadros, mapas e diagramas, aliados às observações de campo, possibilitou a elaboração do texto que compõe a presente dissertação.

3 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 CLIMA

A área de estudo está situada numa faixa climática sub-úmida a seca, conforme a Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais (SEI) (BAHIA, 1998). Na região, somente estão definidas as estações de inverno e verão, que correspondem respectivamente aos meses mais secos e chuvosos do ano. A média pluviométrica anual localiza-se entre isolinhas de 700 e 800 mm e a temperatura média anual varia de 22,5 a 23,5 °C (CRUZ JÚNIOR, 1998; FERRARI, 1990).

Do ponto de vista local, o regime pluviométrico observado no posto pluviométrico instalado na área estudada (Estação Iraquara), referente ao período de 2006 a 2010, revela que os maiores índices pluviométricos correspondem aos meses de outubro até abril, com valores de precipitações médias mensais oscilando entre 40 e 100 mm. A partir do mês de maio e prolongando-se até o mês de setembro, os índices pluviométricos são reduzidos, com variação média mensal inferior a 20 mm (Figuras 5 e 6).

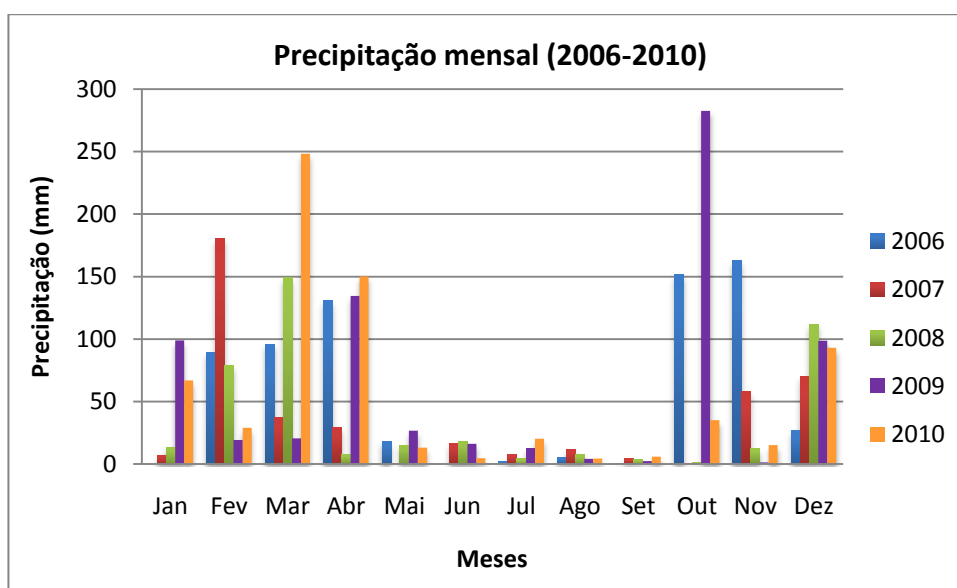


Figura 5 – Precipitação mensal no município de Iraquara, período 2006-2010 (ANA/INGÁ, 2010).

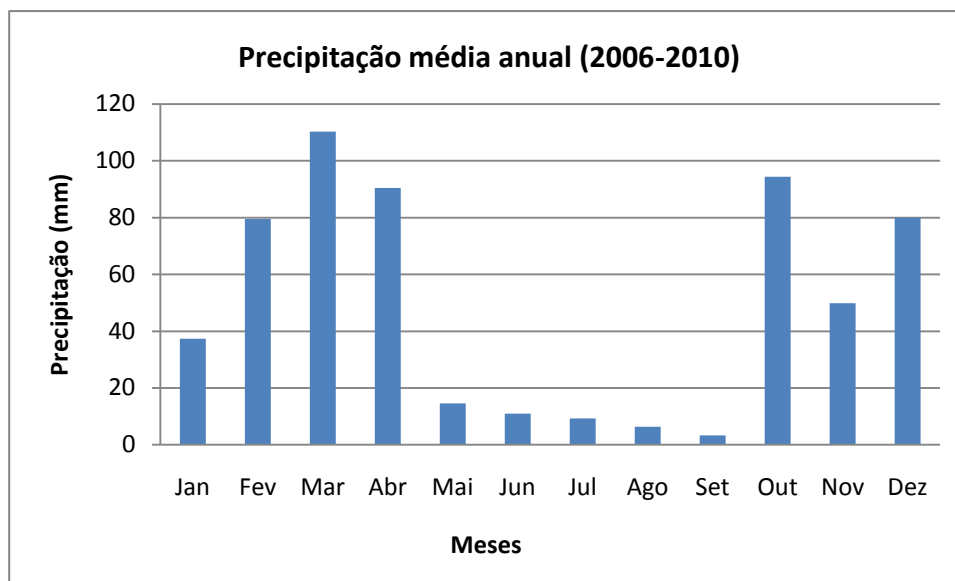


Figura 6 – Precipitação média anual no município de Iraquara, período 2006-2010 (ANA/INGÁ, 2010).

3.2 SOLOS

Os solos da área de estudo são considerados particularmente férteis, principalmente nas regiões de influências dos calcários. Nestes locais, o solo apresenta coloração vermelha forte, predominantemente, e composição argilosa.

De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Bahia (PERH-BA), os solos de Iraquara são classificados como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Espodossolo Hidromórfico, Latossolo Vermelho Eutrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico e Neossolo Litólico Distrófico (Figura 7).

3.2.1 Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico – PVAd

Possui pouca expressão na área estudada, restringindo-se a uma pequena ocorrência a NE de Iraquara. Apresenta-se com classes de relevo plano a forte ondulado, geralmente profundos a muito profundos, são moderadamente a fortemente ácidos. Os solos de caráter distrófico possuem algumas restrições no que diz respeito a sua fertilidade natural, apresentando-se como fator limitante para a prática agrícola, necessitando de adubação e por vezes correção através de calagem.

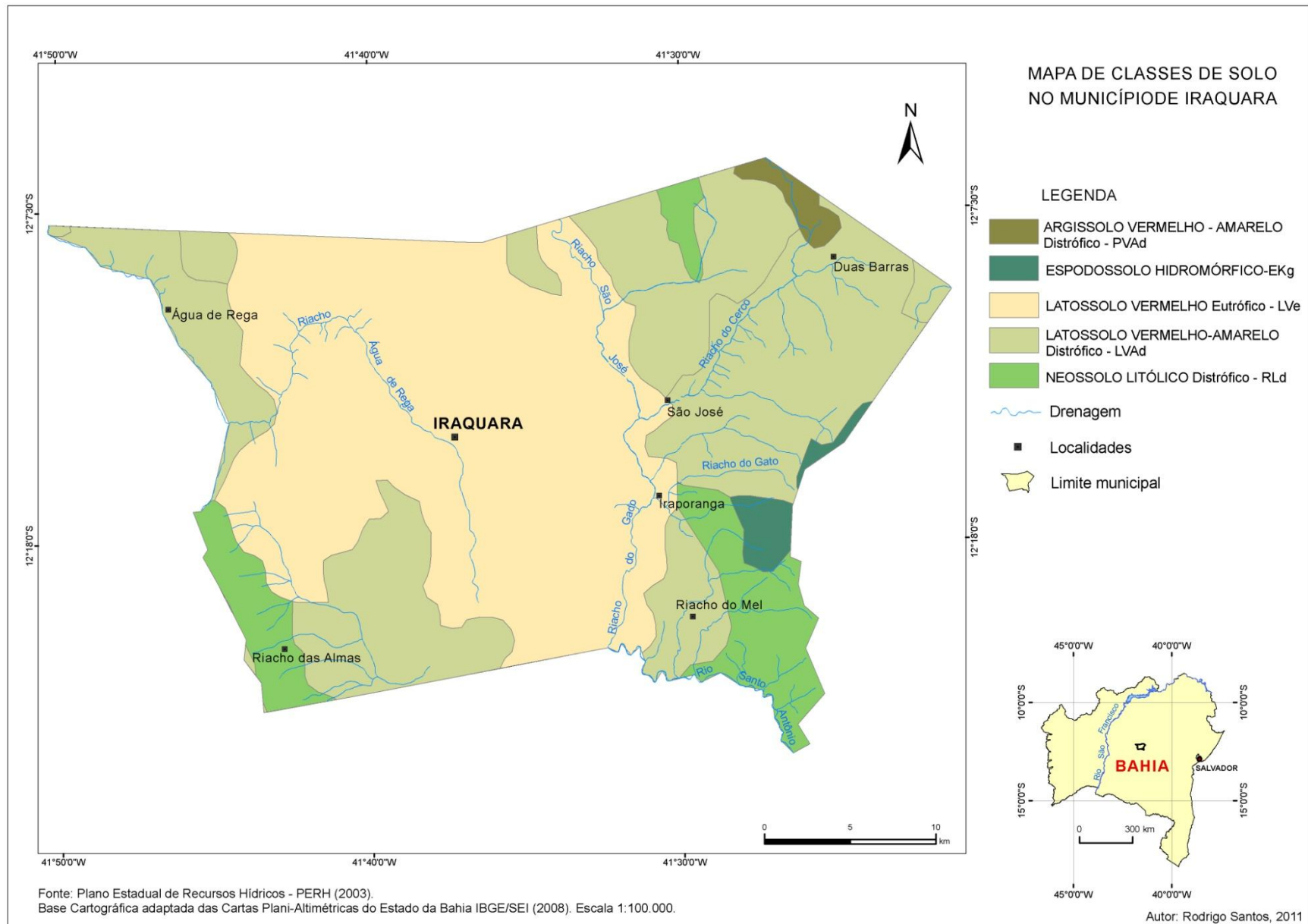


Figura 7 – Classes de solo no município de Iraquara (BAHIA, 2004).

3.2.2 *Espodossolo Hidromórfico – Ekg*

São solos minerais com horizonte bem diferenciados, moderado a fortemente ácidos, e espessuras que variam de solos rasos a muito profundos. A utilização destes solos encontra restrições principalmente quanto à sua fertilidade natural, pois existe pouca disponibilidade de nutrientes em sua constituição química. Apresenta-se na porção SE da área de estudo, sendo utilizado principalmente para as culturas de café e pastagens.

3.2.3 *Latossolo Vermelho Eutrófico – Lve*

Ocorre na maior parte do município de Iraquara, sob a área de influência das litologias carbonáticas. Possuem boa permeabilidade e boa porosidade, tendo como característica principal sua coloração avermelhada indicativa da elevada ocorrência de ferro, sob a forma de finos cristais de hematita (BAHIA, 2004). São utilizados para culturas agrícolas temporárias, como feijão, milho e mamona.

A principal limitação deste solo para uso agrícola decorre da falta d'água e da irregularidade sazonal das chuvas. Entretanto, esta deficiência vem sendo corrigida através do uso da água subterrânea captada através dos poços tubulares para a irrigação, principalmente, de culturas leguminosas, como tomate, cebola, repolho, pimentão, etc.

3.2.4 *Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico – LVAd*

São solos profundos a muito profundos, fortemente ácidos, com boa porosidade e baixa fertilidade natural. Na área de estudo estão associados às coberturas detríticas dos metassedimentos do Grupo Chapada Diamantina, localizando-se tanto na porção oriental quanto ocidental de Iraquara. A baixa fertilidade natural inibe o uso desse tipo de solo para a agricultura, sendo predominantemente utilizado para a pecuária extensiva.

3.2.5 Neossolo Litólico Distrófico – RLd

São solos pouco desenvolvidos, rasos, possuindo apenas um horizonte A assentado diretamente sobre a rocha geradora (R) ou sobre materiais desta rocha, podendo ainda apresentar um horizonte (B) incipiente. Na área de estudo ocorrem em pequenas porções a NE, SE e SW de Iraquara, em ambientes de relevo plano a escarpado, apresentando restrições à agricultura devido à sua pouca profundidade e alta rochosidade e pedregosidade.

3.3 VEGETAÇÃO E USO DO SOLO

O mapa da Figura 8 ilustra a distribuição espacial da vegetação na área de estudo, apresentando as seguintes fisionomias florestais: Agricultura/Pecuária, Caatinga Arbórea/Arbustiva, Campo Limpo, Campo Rupestre, Cerrado e Floresta Estacional (BAHIA, 2004).

Atualmente, as áreas com vegetação nativa estão restritas, principalmente no entorno das serras, no interior das depressões, ou acompanhando os vales fluviais.

A área que corresponde à superfície carbonática de Iraquara é constantemente utilizada para a prática de agricultura de subsistência, tais como hortaliças e cultivo de feijão, milho e mamona. O relevo suave e a fertilidade natural dos solos associada aos carbonatos, favorece a implantação dessas culturas. O fator limitante é a escassez e/ou a irregularidade das chuvas, fato que leva o agricultor a buscar alternativas através da implantação de sistemas de irrigação através de poços tubulares.

A agricultura, juntamente com a pecuária, podem ser consideradas como sendo as principais atividades causadoras da devastação da vegetação original da área.

3.3.1 Caatinga

O bioma caatinga exerce predominância na área, apresentando uma vegetação do tipo Caatinga Arbórea/Arbustiva (BAHIA, 2004). Esta é

representada por plantas lenhosas decíduais, composta por espécies espinhentas, cactáceas e gramíneas, com composição florística diversificada. Atualmente essa vegetação encontra-se quase que substituída pela agropecuária.

3.3.2 Floresta Estacional

São típicas de terrenos aluvionares conhecidas por matas ciliares ou veredas. São encontradas, predominantemente, nas porções NE e SE de Iraquara.

3.3.3 Campo Rupestre

Este tipo vegetacional ocupa altitudes acima de 800 metros, presentes nas unidades geológicas da Chapada Diamantina, a SE de Iraquara, destacando pelo número de espécies restritas, como orquídeas, bromélias, cactos, sempre-vivas e begônias.

3.3.4 Campos Limpos

São espécies de transição entre a Caatinga e a Floresta Estacional, ocupadas predominantemente, com vegetação de gramíneas e eventuais sub-arbustos. Podem ser encontradas em pequenas manchas situadas a SE do município de Iraquara.

3.3.5 Cerrado

Também está representado na parte SE da área, próximo à borda oriental da Chapada Diamantina. Possui espécies localizadas em área de transição entre a Caatinga, Floresta Estacional e Campos Limpos, possuindo solos com baixa fertilidade natural.

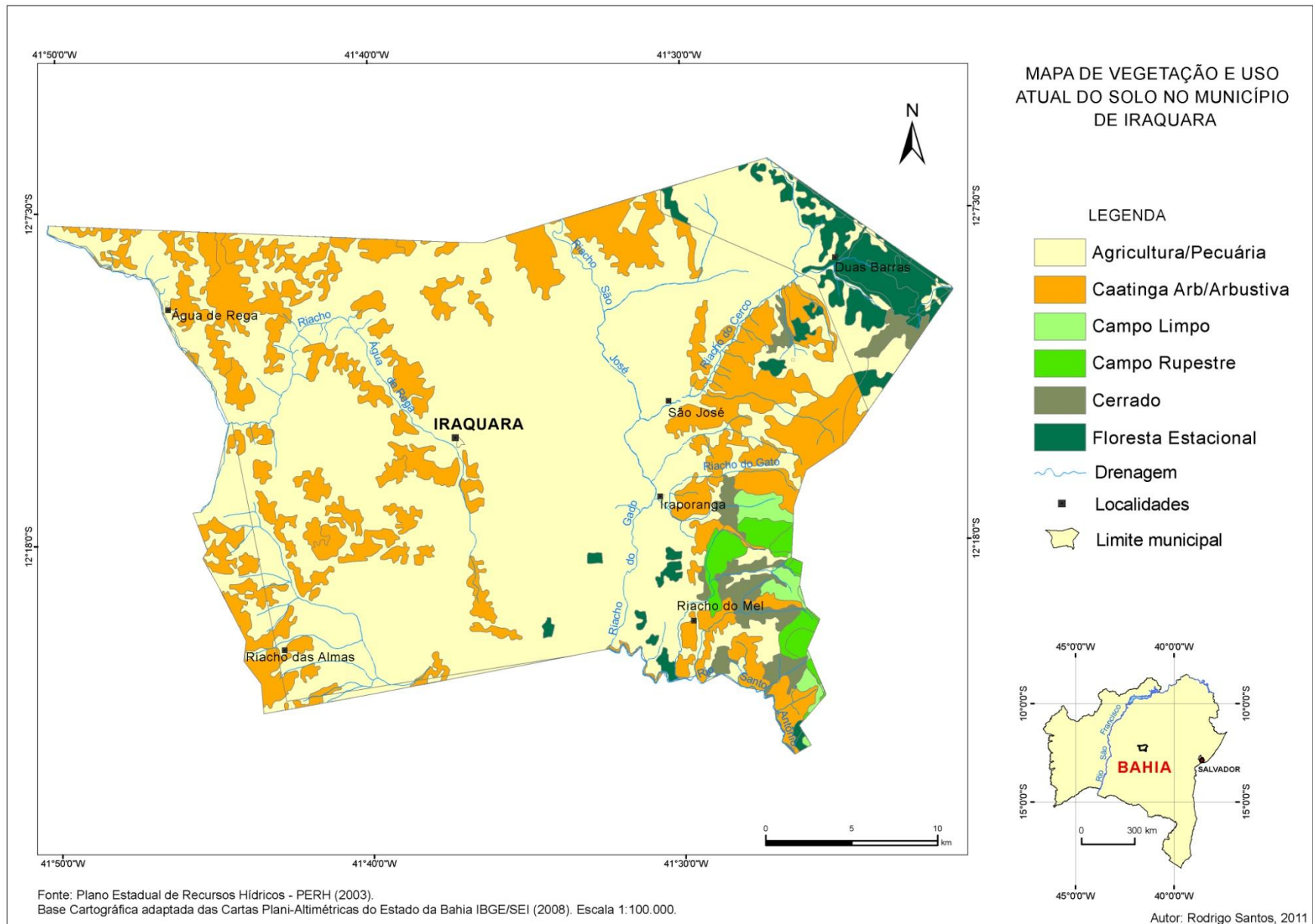


Figura 8 – Mapa de distribuição da vegetação e uso do solo no município de Iraquara (BAHIA, 2004).

3.4 GEOMORFOLOGIA

A geomorfologia da Chapada Diamantina é marcada pela presença de dois domínios: planaltos e serras compostas por rochas predominantemente siliclásticas, ocorrendo nos intervalos de altitude de 800m a 1.100m, e por planaltos cársticos, ocorrendo nos intervalos de 600m a 800m, compostos por rochas carbonáticas.

Na área de estudo estão representados três domínios geomorfológicos abrangentes, descritos pelos pediplanos cimeiros, pelos blocos planálticos, ambos esculpidos sobre os metassedimentos do grupo Chapada Diamantina e pelos planaltos cársticos, modelados sobre as litologias carbonáticas do Grupo Una. (Figura 9)

3.4.1 *Pediplanos Cimeiros*

Este domínio corresponde às mais altas feições topográficas da área, sendo caracterizado por planaltos e serras esculpidas em rochas siliclásticas bordejados por escarpas íngremes, que contrastam com o modelado do planalto cárstico (CRUZ JÚNIOR, 1998).

De acordo com Silva (2005) as formas de relevo que constituem esta unidade, resultam da superfície de aplainamento que foi degradada, interrompida por cristas residuais de camadas mais resistentes. As principais elevações estão situadas na porção NE da área, com altitudes que chegam a ultrapassar 1.100 metros.

3.4.2 *Blocos Planálticos*

Estão representados por compartimentos elevados, topos côncavos ou convexos, suavemente dobrados, apresentando feições estruturais modeladas sobre os metassedimentos do grupo Chapada Diamantina.

As principais feições ocorrem nas porções W e SE de Iraquara, sendo caracterizados por Silva (2005) como elevações residuais, cujas bordas, situadas

no contato metaconglomerados/metarenitos com metassiltitos/metargilitos, são escarpadas.

3.4.3 *Planalto Cárstico*

O planalto cárstico é caracterizado por apresentar topografia suavemente ondulada situada no sopé das maiores elevações, o qual possui cotas máximas entre 750m a 800m, dominando toda a porção central da área de estudo (CRUZ JÚNIOR, 1998).

Guerra (1986), Negrão (1987) e Cruz Júnior (op. cit.) descreveram feições morfológicas típicas, relacionadas ao planalto cárstico de Irecê, como áreas com restrita rede de drenagens superficiais, substituídas pela drenagem subterrânea e o aparecimento de estruturas de abatimento e acomodação como os vales cegos. Destacam-se morfologias de carste coberto, com dolinas, escarpas calcárias e cavernas, além de conjuntos residuais. Essa morfologia é típica da porção sul da bacia, onde está localizada a área de estudo, destacando os grandes sistemas de cavernas e as dolinas de abatimento.

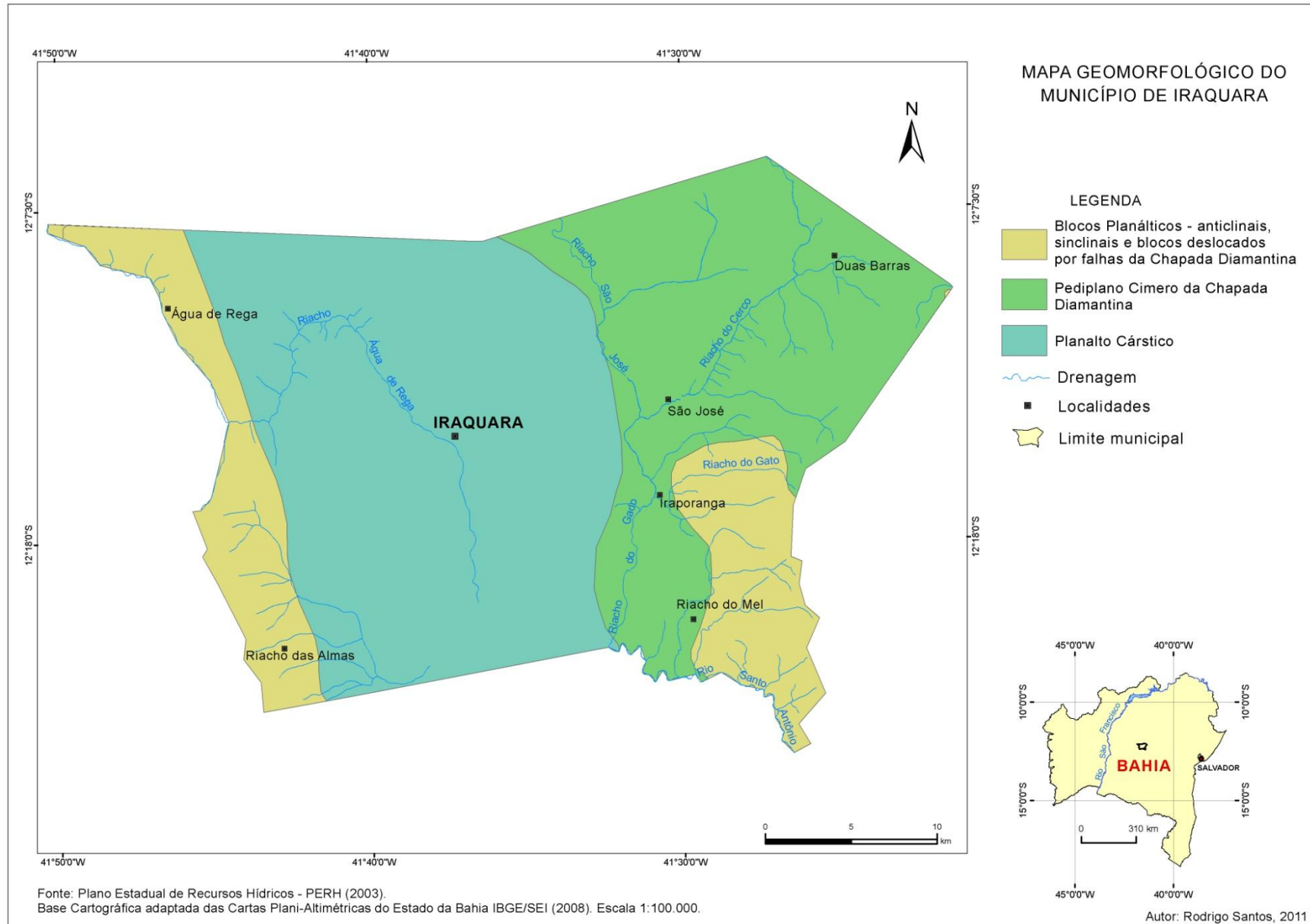


Figura 9 – Mapa geomorfológico do município de Iraquara (BAHIA, 2004).

3.5 HIDROGRAFIA

O município de Iraquara está inserido geograficamente na bacia hidrográfica do Rio Paraguaçu, que nasce na Região da Chapada Diamantina e deságua no litoral sul de Salvador. Esta bacia situa-se entre os paralelos 11°11' a 13°42' Sul, e os meridianos 38°48' e 42°07' Oeste, sendo considerada como a mais importante bacia hidrográfica localizada inteiramente em território baiano. Abrange uma área de aproximadamente 54.873 km², ocupada por 79 municípios da região centro-leste do estado (BAHIA, 2004).

Nos Domínios Cársticos da Bacia de Irecê, as drenagens superficiais são raras. Na porção Sul, onde se localiza Iraquara, a totalidade dos rios que cortam o carste tem origem alóctone, ou seja, provem de litologias não carbonáticas. Dentre estas, destacam-se os riachos Água de Rega, das Almas e do Gado, que nascem nos quartzitos do Grupo Chapada Diamantina, percorrendo em superfície até os sumidouros no contato com as rochas carbonáticas.

O nível de base local é representado pelo alto curso do Rio Santo Antônio, um dos principais afluentes do alto curso do Rio Paraguaçu, que se forma pela confluência do Rio Preto e do Rio Cochó. Trata-se da principal drenagem superficial da área, adentrando o município de Iraquara pela parte sudeste, onde adquire caráter perene alimentado pelo Rio Cochó e por várias ressurgências cársticas dispostas ao longo de suas margens (FERRARI, 1990; CRUZ JÚNIOR, 1998).

Como mencionado anteriormente, os riachos Água de Rega e das Almas encerram seus cursos em sumidouros. Estes dois riachos encontram-se inativos nos trechos que percorrem sobre os carbonatos, uma vez que as águas drenadas das litologias não carbonáticas infiltram-se nos aluviões e são absorvidas por fraturas das rochas sobrejacentes.

3.6 GEOLOGIA

No contexto regional, a área de estudo está inserida na porção sul da Bacia Sedimentar de Irecê, Domínio do Cráton do São Francisco. As fácies litológicas representadas pertencem ao Supergrupo São Francisco, compreendendo

seqüências carbonáticas e terrígenas que afloram nas Bacias de Irecê e Una-Utinga (SOUZA et al., 1993; GUIMARÃES, 1996). Sotoposta às seqüências carbonáticas do Grupo Una afloram litologias predominantemente siliclásticas, pertencentes ao Supergrupo Espinhaço, compreendendo os Grupos Paraguaçu e Chapada Diamantina (Figura 10).

3.6.1 *Grupo Paraguaçu*

O Grupo Paraguaçu compreende os conglomerados e quartzitos médios a grossos, arenitos, siltitos, argilitos e xistos, se apresentando na área de estudo pela Formação Açuruá.

3.6.1.1 Formação Açuruá

Esta formação compreende essencialmente quartzitos e matasiltitos finamente laminados, com acamadamento ondulado a lenticular, com lentes de metarenito fino intercalados (ANDRADE FILHO et al., 1999). No município de Iraquara a Formação Açuruá ocorre particularmente na porção SE, próximo à localidade de Riacho do Mel.

3.6.2 *Grupo Chapada Diamantina*

A Chapada Diamantina está situada na porção central da província do São Francisco, tendo sua evolução orogenética se concluído antes do mesoproterozóico (PEDREIRA-DA-SILVA, 1994). Este grupo está dividido em dois domínios, ocidental e oriental. No Domínio Oriental, sobre o embasamento cristalino, está a Bacia de Irecê, onde afloram diamictitos, arenitos, pelitos e carbonatos neoproterozóico, pertencentes ao Grupo Una. Na área de estudo, o Grupo Chapada Diamantina subdivide-se em Formação Tombador, Formação Caboclo e Formação Morro do Chapéu.

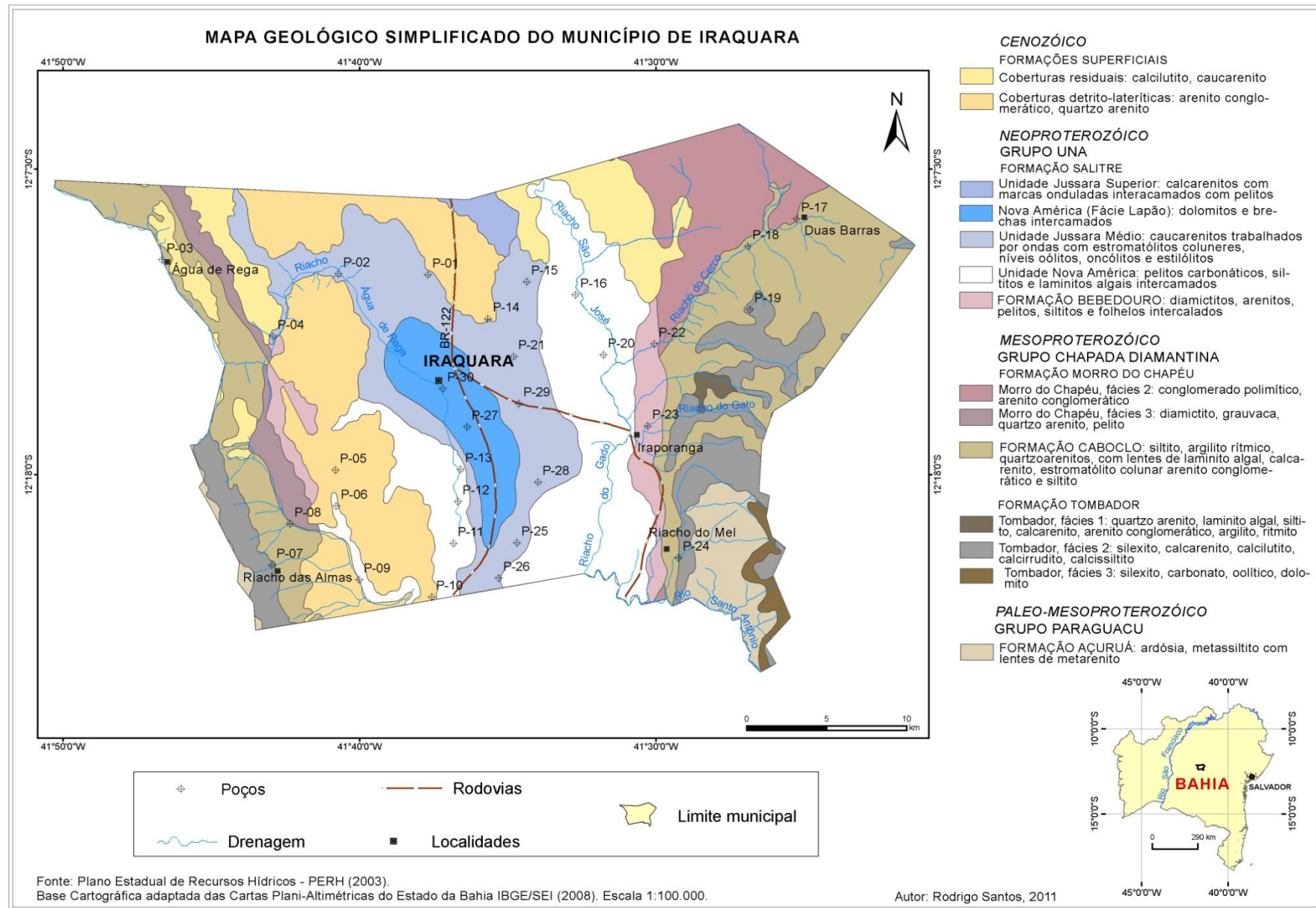


Figura 10 – Mapa Geológico simplificado do município de Iraquara (BAHIA, 2004).

3.6.2.1 Formação Tombador

Segundo Andrade Filho et al. (1999) a Formação Tombador consiste de arenitos e conglomerados. Arenitos com estratificação cruzada acanolada são as litofáceis predominantes na área de estudo. Os arenitos são de coloração rósea ou acinzentada e tem granulação média a grossa. Essa formação ocorre na parte SE e SW do município de Iraquara, entre as localidades de Olhos D'água e Riacho do Mel, e as localidades de Vereda e Riacho Magro, respectivamente.

3.6.2.2 Formação Caboclo

Esta formação é constituída predominantemente por pelitos, siltitos e arenitos. Podem ser comumente encontrados na estrada entre as localidades de Água de Rega e Iraquara. Consiste principalmente de arenitos de granulação fina a média bem selecionados, com coloração avermelhada (ANDRADE FILHO et al., op. cit.). No município de Iraquara essa formação ocorre em duas faixas principais: a oeste, entre as localidades de Sonhém e Água de Rega, até Riacho Magro, e a leste, entre Duas Barras e Riacho do Mel.

3.6.2.3 Formação Morro do Chapéu

Esta formação consiste de conglomerados, arenitos e esporádicas intercalações de pelitos. No município de Iraquara esta formação pode ser encontrada a NE da sede municipal, nas localidades de São José, Cerco e Duas Barras. Segundo Andrade-Filho et al. (1999), nota-se que as litofáceis componentes da Formação Morro do Chapéu e Formação Tombador são muito semelhantes, de modo que os mesmos critérios interpretativos podem ser utilizados.

3.6.3 Grupo Una

O Grupo Una reúne os sedimentos clásticos e carbonáticos que recobrem as rochas pertencentes ao embasamento cristalino do Bloco Lençóis e os

Sedimentos do Supergrupo Espinhaço (ANDRADE FILHO et al., op. cit.). A unidade Basal do grupo corresponde a Formação Bebedouro, de origem glaciogênica, enquanto a superior, representada pela Formação Salitre, é de natureza Marinha (PEDREIRA-DA-SILVA, 1994). Na área de estudo, o Grupo Una está subdividido nas Formações Bebedouro e Salitre.

3.6.3.1 Formação Bebedouro

Esta formação corresponde aos sedimentos terrígenos depositados entre as rochas sedimentares do Supergrupo Espinhaço e do embasamento cristalino, e os carbonatos da Formação Salitre (ANDRADE FILHO et al., 1999).

Litologicamente a Formação Bebedouro consiste de diamictitos, arenitos, pelitos, siltitos e folhelhos intercalados. Na área de estudo, esta formação é encontrada entre as localidades de São José e Iraporanga (região sudeste de Iraquara) e nas localidades de Canabrava até Boca da Mata (região oeste).

3.6.3.2 Formação Salitre

Trata-se da seqüência de carbonatos depositados sobre a Formação Bebedouro (SOUZA et al., 1993). Na área de estudo a Formação Salitre está dividida nas seguintes unidades:

Nova América: consiste de lamitos algais que intercalam camadas de sedimentos finos e matéria orgânica. Ocorre na faixa centro-leste e sudeste de Iraquara, entre a região da Fazenda Pratinha até norte do Riacho São José, e as localidades de Boa Vista e Alto da Cruz.

Nova América (Fácie Lapão): é facilmente reconhecida nos afloramentos, pelo seu aspecto superficial enrugado, microfraturado e brechado. As rochas dessa unidade localmente preservam feições sedimentares originais, tais como estratificações cruzadas, marcas onduladas e estromatólitos (ANDRADE FILHO, 1999). Ocorre predominantemente na região central do município de Iraquara, entre a sede municipal e a localidade de Mulungu dos Pires.

Jussara Médio e Inferior: é formada por caucarenitos cinza-escuro a preto, com ocorrência localizada de estromatólitos colunares. Na área de estudo ocorre

na faixa centro-oeste e centro-sul, entre a localidade de Várzea, até a localidade de Santa Rita.

Jussara Superior: a base dessa subunidade se encontra em contato, na maioria das vezes, com litotipos das Subunidades Nova América e Jussara Médio e Inferior. Dentre os litotipos presentes destacam-se os calcarenitos finos, médios e grossos e/ou oncolíticos (SILVA, 2005). Ocorre numa pequena área situada na porção norte do município de Iraquara, na localidade de Baixa da Juriti.

3.6.4 *Formações Superficiais*

Este conjunto de sedimentos de idades tércio-quadernárias e quadernárias é o resultado dos processos intempéricos que atuaram no passado recente e continuam a agir sobre as rochas da região, influenciados principalmente pelas condições climáticas (GUIMARÃES, 1996).

3.6.4.1 Coberturas Residuais

Essas coberturas afloram em cotas mais elevadas (900 a 1.050 metros), correspondentes aos remanescentes dos pediplanos cimeiros preservados durante o retrabalhamento dos ciclos mais recentes (SOUZA et al.,1993). São constituídas por depósitos detríticos aluvionares de pouca espessura, litologicamente compostos por areias, com argilas subordinadas (SILVA, 2005). Na área de estudo, estão dispostas em manchas, identificadas na porção norte e nordeste de Iraquara.

3.6.4.2 Coberturas Detríticas

São constituídas por brechas calcáreas, com seixos de tamanhos variados em matriz carbonática. As coberturas detríticas podem ser observadas em longas faixas de sentido N-NW e S-SW, recobrem grande parte da área de estudo, desde as litologias carbonáticas até os metassedimentos do Grupo Chapada Diamantina.

3.7 MINERALIZAÇÕES ASSOCIADAS AO GRUPO UNA – BACIA DE IRECÊ

A Bacia de Irecê está situada na porção centro-norte do Cráton do São Francisco, sendo preenchida pelos carbonatos do Grupo Una. O Grupo Una preenche as Bacias de Irecê e Una-Utinga, compreendendo da base para o topo as Formações Bebedouro e Salitre, descritas anteriormente, constituídos, respectivamente, por rochas siliciclásticas (diamictitos, arcóseos, arenitos/quartzitos e folhelhos) da unidade basal, e rochas carbonáticas da unidade superior.

As mineralizações associadas ao Grupo Una foram estudadas por diversos autores, destacando-se Misi e Souto (1975), Misi (1979), Souza et al. (1993), Misi e Silva (1996) e Gomes (2005). De acordo com Misi e Silva (op. cit.), as mineralizações sulfetadas estão concentradas nas fácies dolomíticas ricas em sílica, cuja ocorrência se faz na forma de nódulos de quartzo microcristalino, associando-se ainda aos sistemas de falhas e fraturas regionais e brechas locais.

Para Gomes (op. cit.), as mineralizações na Bacia de Irecê são oriundas de um ambiente de sedimentação de carbonatos equivalente a planície de maré. Evidências indicadas pela presença de estruturas sedimentares como gretas de ressecamento, estromatólitos e nódulos de sílica microcristalina fibrosa, tipo *length-slow*, correspondem, possivelmente, a antigos depósitos de sulfatos. Nesse sentido, as mineralizações estariam então relacionadas com o final de um mega-ciclo transgressivo-regressivo, no topo da Formação Salitre (MISI & SILVA, 1996; GOMES, 2005).

Uma análise dos dados geoquímicos realizados por Souza et al. (1993), relativos à bacia carbonática em questão, individualizou 34 áreas consideradas como anomalias, ou seja, com teores analisados mais elevados em relação aos demais. No município de Iraquara, borda sul-sudeste da Bacia de Irecê, foram encontradas ocorrências de Pb, Zn, Mn e Ba, localizadas a doze quilômetros da sede municipal, abrangendo os povoados de São José (Mina do Raimundinho) e Iraporanga (Fazenda Floresta) (Fotos 6 e 7). As principais mineralizações da área de estudo podem ser visualizadas no mapa disponibilizado em Anexo III.



Foto 6 – Ocorrência de mineralização de galena em dolorenito oolítico na Mina do Raimundinho, localidade de São José – Iraquara/BA. Fonte: Pesquisa de campo.



Foto 7 – Crosta manganésifera encontrada na localidade de São José – Iraquara/BA. Fonte: Pesquisa de campo.

3.8 HIDROGEOLOGIA

Os sistemas aquíferos cársticos se destacam pelas suas complexidades, considerando seus padrões hidrológicos/hidrogeológicos, onde o armazenamento e a circulação das águas subterrâneas estão relacionados à dissolução ou ao fraturamento das rochas carbonáticas. Sua principal característica, entretanto, é a presença dominante de porosidade secundária, originária dos processos de carstificação. Esses processos, aliados à porosidade fissural, quando presente, fazem desse grupo o de comportamento hidrogeológico mais especial e complexo dentre os sistemas aquíferos (SILVA, 2008).

O aquífero cárstico é basicamente o resultado da ação solubilizadora da água sobre as rochas carbonatadas (NEGRÃO, 1987). A carstificação resulta da ação de um elemento ativo, a água, sobre a rocha carbonática, solubilizando-a e transportando os seus produtos. Nesse sentido, a intensidade do processo, depende do volume, qualidade química da água, composição da rocha e dos fatores geológicos estruturais, além do clima (NEGRÃO, op. cit.; GUERRA, 1986).

Na porção sul da Bacia de Irecê, região de Iraquara, o desenvolvimento do sistema cárstico se apresenta em avançado processo evolutivo, com uma morfologia caracterizada por elevada densidade de dolinas, normalmente com formato arredondado e grandes diâmetros (até 200 metros), apresentando ainda uma maior espessura do solo.

De acordo com Cruz Júnior (1998), na área de estudo as direções mais prováveis dos gradientes hidráulicos são influenciadas por significativas diferenças altimétricas entre as cristas das rochas quartzíticas. Estas feições se constituem nos principais divisores de água na região, confluindo para o vale do Rio Santo Antônio, que corresponde ao nível de base hidrológico local.

A direção geral do fluxo subterrâneo no município de Iraquara pode ser observada a partir do mapa potenciométrico, interpretado de acordo com as configurações das curvas piezométricas geradas com os valores da diferença entre as medidas de altitude (cota do poço) e a profundidade do nível estático (NE). Esses dados foram retirados de 60 poços tubulares cadastrados em campo e identificados no banco de dados da CERB.

No mapa potenciométrico da área, o gradiente e o sentido do fluxo confluem, principalmente, para dois setores distintos, identificados nas Figuras

11a e 11b. Este mapa foi elaborado utilizando o programa *Surfer 8.0* por interpolação através do método de *krigagem*.

Setor 1: Está situado na porção centro-sul do município, área conhecida popularmente como “baixão”, formada por sistemas de dolinas que percorrem desde a sede municipal até as localidades de Mulungu dos Pires e Lapão. Não por acaso, a direção do fluxo subterrâneo nesse setor converge para o sentido da drenagem do Riacho Água de Rega, que nesse trecho se apresenta subterrâneo.

Setor 2: Localiza-se na porção leste de Iraquara, faixa situada entre as localidades de São José e Iraporanga. Neste setor, localizado na área de contato com quartzitos Chapada Diamantina, a direção do fluxo subterrâneo converge para os Riachos São José e do Gado, evidenciando a influência do fluxo subterrâneo para a recarga das drenagens superficiais locais.

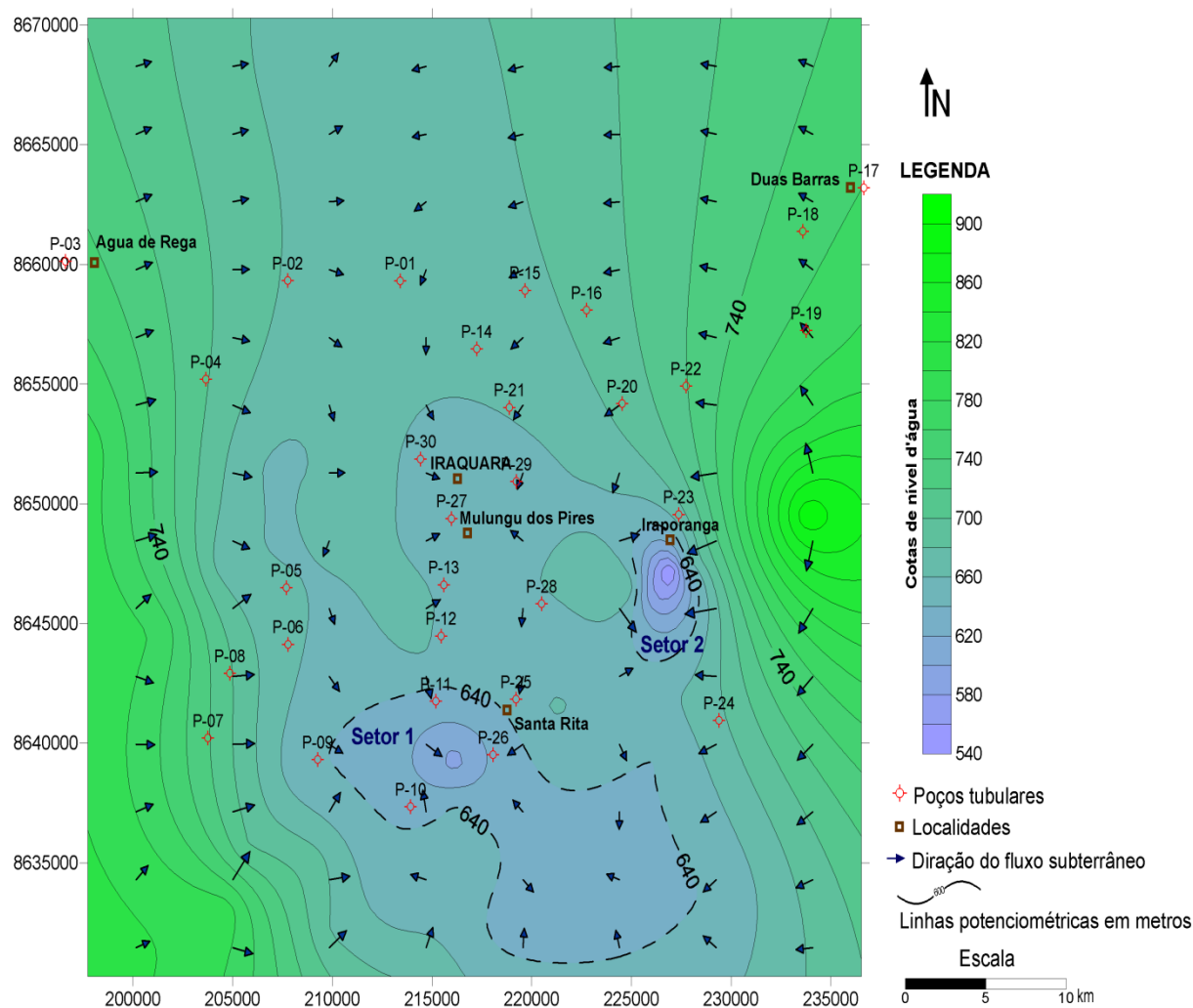


Figura 11a – Mapa da superfície potenciométrica e direção do fluxo da água subterrânea no município de Iraquara (base de dados dos poços CERB).

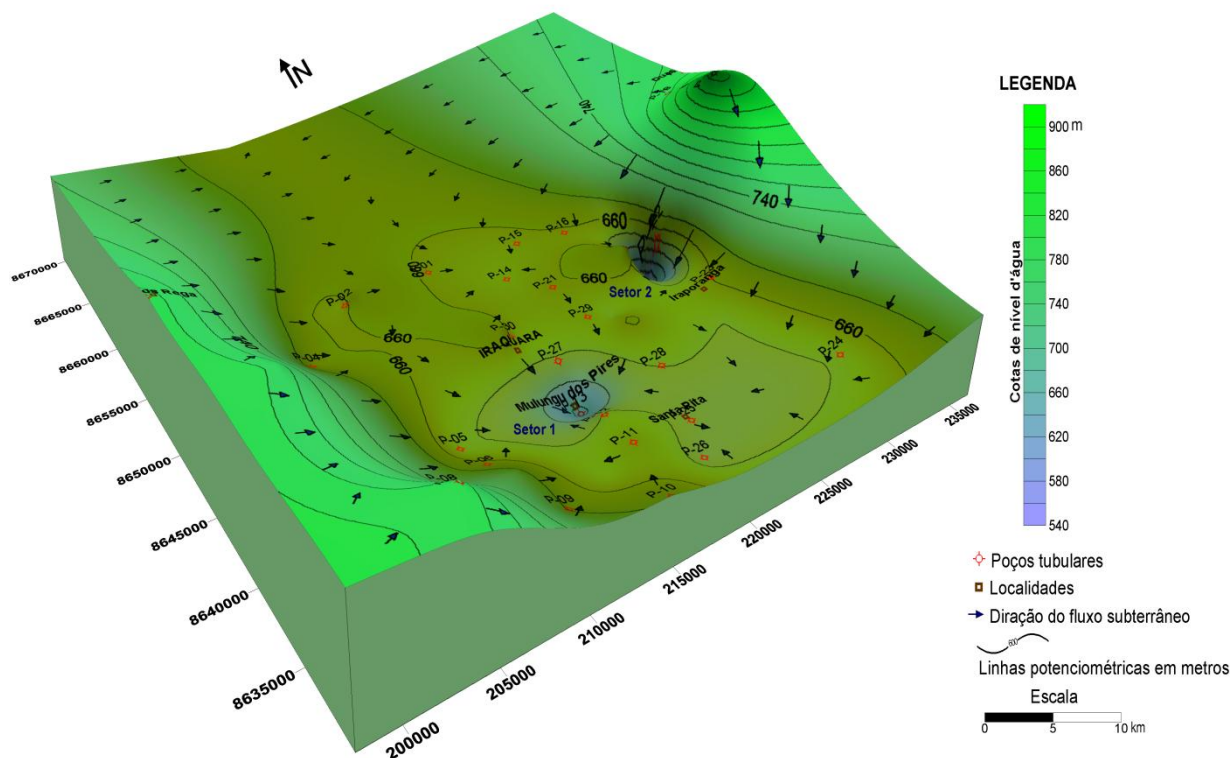


Figura 11b – Mapa em 3D da superfície potenciométrica e direção do fluxo da água subterrânea no município de Iraquara (base de dados dos poços CERB).

A interpretação do mapa permite afirmar que as zonas de contato com os quartzitos Chapada Diamantina, tanto do lado oriental como ocidental, constituem-se nos principais altos potenciométricos que determinam as drenagens subterrâneas na área estudada, confluindo na direção dos calcários. Este fato pode ser comprovado a partir das observações de campo e da análise das fichas dos poços tubulares, uma vez que particularmente na área descrita como setor 1, os poços possuem as maiores vazões observadas no município, a exemplo do poço Baixa Redonda/Lapão ($49,5\text{m}^3/\text{h}$). Tais premissas reforçam o caráter fidedigno do mapa potenciométrico elaborado.

Além disso, as características hidrogeológicas encontradas são também influenciadas por fatores naturais externos ao aquífero. É notório que o embasamento siliclástico do Grupo Chapada Diamantina encontra-se sotoposto aos sedimentos carbonáticos do Grupo Una. No entanto, sabe-se também que os processos erosivos agem de maneira mais intensa nas rochas calcárias em comparação com litologias areníticas/quartzíticas. O resultado se caracteriza através do afloramento da Chapada Diamantina nas porções orientais e

ocidentais de Iraquara, se apresentando topograficamente em condições mais elevadas em relação aos calcários.

Sendo assim, a análise das informações hidrogeológicas regionais e locais permitem concluir que a recarga do sistema aquífero de Iraquara se dá fundamentalmente pelas precipitações diretas sobre as superfícies cársticas (dolinas), pela contribuição através dos quartzitos Chapada Diamantina, e através de drenagens alogênicas, como os Riachos Água de Rega, das Almas e do Gado. O resultado é uma maior disponibilidade de água subterrânea, facilitada naturalmente pelas melhores condições de armazenamento e recarga.

3.8.1 *Feições Cársticas*

A carstificação afeta todas as formações calcárias expostas ao intemperismo, qualquer que seja o clima. Entretanto, sua intensidade não é igual em todas as regiões, dependendo da composição da rocha, da agressividade da água e do tipo climático. Nesse sentido, a evolução cárstica manifesta-se concomitantemente tanto em superfície como em subsuperfície (BIGARELLA et al., 1994). Portanto, a morfologia cárstica é altamente desenvolvida nas regiões úmidas, onde a cobertura vegetal possibilita a existência de um solo ácido, rico em húmus, que acentua a acidez da água e, conseqüentemente, seu poder dissolutivo

No caso do sistema aquífero cárstico da Bacia de Irecê, o comportamento hidrogeológico revela a existência na área de um carste pouco desenvolvido em toda a porção norte da bacia, em fase juvenil evolutiva, e evoluindo gradativamente na porção sul, região de Iraquara, ocorrendo um carste já em fase madura. O mesmo acontece na borda oriental, por efeito, principalmente, das maiores precipitações e da contribuição subterrânea dos quartzitos Chapada Diamantina (GUERRA, 1986; RAMOS, 2005). Dessa forma, tem-se na porção norte um aquífero misto, de natureza cárstico-fissural, com evolução para um sistema exclusivamente cárstico na porção sul.

O resultado desse processo se reflete na área de estudo através da presença de extensos condutos, sumidouros e depressões fechadas (dolinas), gerados a partir da dissolução de sedimentos carbonáticos. No município é

comum a existência de grandes cavidades naturais (cavernas), particularmente nas proximidades do sumidouro do Riacho Água de Rega, destacando-se os sistemas Lapa Doce e Torrinha e Pratinha. (Fotos 8, 9, 10, 11, 12 e 13).



Foto 8 – Dolina preenchida com água pluvial no município de Iraquara. Fonte: Pesquisa de campo.



Foto 9 - Leito fluvial seco do Riacho Água de Rega. Fonte: Pesquisa de campo.

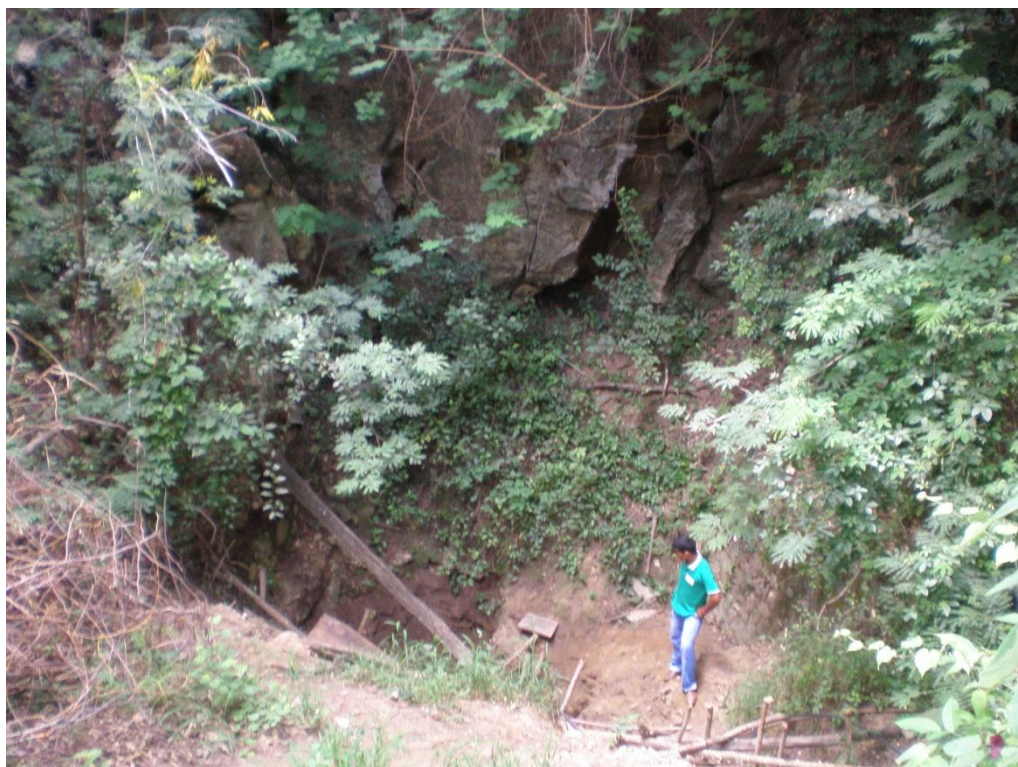


Foto 10 - Sumidouro do Riacho Água de Rega. Fonte: Pesquisa de campo.



Foto 11 – Conduto principal da Caverna Lapa Doce. Fonte: Pesquisa de campo.



Foto 12 - Caverna Pratinha (provável ressurgência do Riacho Água de Rega). Fotografia tirada do interior da caverna. Fonte: Pesquisa de campo.



Foto 13 – Entrada principal da Caverna Pratinha. Fonte: Murilo Valle, 2004.

4 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA

4.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA

O estudo hidroquímico das águas subterrâneas teve como principais finalidades identificar, quantificar e classificar as principais propriedades e os constituintes químicos da água, procurando-se estabelecer uma relação com o meio físico. A avaliação da qualidade das águas foi estabelecida de acordo com o que determina a Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004), de modo a assegurar o seu uso.

A caracterização hidroquímica das águas subterrâneas, em seu estado natural, está diretamente subordinada às condições geológicas, climáticas e hidrológicas do sistema aquífero. Tais condições se refletem principalmente a partir da litologia, do fluxo subterrâneo, da recarga, da profundidade e do tempo de permanência da água neste reservatório, além eventualmente do clima da região (NASCIMENTO, 2008). Além disso, características extremas ou diferentes daquelas esperadas, podem comprometer a qualidade da água, a exemplo de áreas mineralizadas e, principalmente, ação antrópica.

Nesse sentido, há necessidade de se estabelecer quais são os principais parâmetros hidroquímicos de uma determinada formação aquífera que podem ser considerados naturais ou provenientes de fontes antrópicas.

4.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Os resultados das análises físico-químicas foram sistematizados em planilha Excel com o objetivo de fornecer elementos para a construção de gráficos de concentração iônica e a confecção de mapas contendo a distribuição espacial de cada variável nas águas subterrâneas do município (Tabela 4). Deste modo, torna-se possível estabelecer uma fácil visualização da ocorrência de cada um dos parâmetros analisados a seguir.

4.2.1 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.

Na área de estudo, os valores obtidos nas 30 amostras de água subterrânea apresentam uma média de 205,1 mg/L de STD, variando entre o mínimo de 13 mg/L no poço P-03 (localidade de Água de Rega) e o máximo de 704 mg/L no poço P-29 (Quixaba) (Figura 12). Todas as amostras estão de acordo com os padrões aceitos pela Portaria nº 518/04, que estabelece o Valor Máximo Permitido (VMP) para STD de 1.000 mg/L para água potável.

O poço P-29, situado na localidade de Quixaba, distante nove quilômetros da sede municipal, apresenta-se neste estudo com uma série de valores anômalos para a área pesquisada, valores estes, recorrentes nos diversos parâmetros físico-químicos analisados (STD, C.E., Dureza, Cloreto, Nitrato e Alcalinidades). Trata-se de um poço perfurado na década de 1973, localizado sobre os calcários da Formação Salitre, possuindo profundidade final de 80 metros e vazão estabilizada de 7,92 m³/h. Atualmente o uso de suas águas destina-se à irrigação de culturas agrícolas de ciclo rápido, como tomate, cebola, pimentão, cenoura e melancia.

Os maiores valores de STD identificados nos poços P-29 (704 mg/L), P-11 (404 mg/L) e P-26 (360 mg/L), estão associados, sobretudo, aos processos de solubilização das rochas carbonáticas armazenadoras. Já os valores de STD observados em P-03 (13 mg/L), P-08 (40 mg/L) e P-19 (48 mg/L) podem ser diretamente relacionados ao menor grau de solubilização dos quartzitos reservatórios (Tabela 5).

A Figura 13 mostra a distribuição de STD na área, onde os valores mais elevados estão concentrados na porção central, norte e sul.

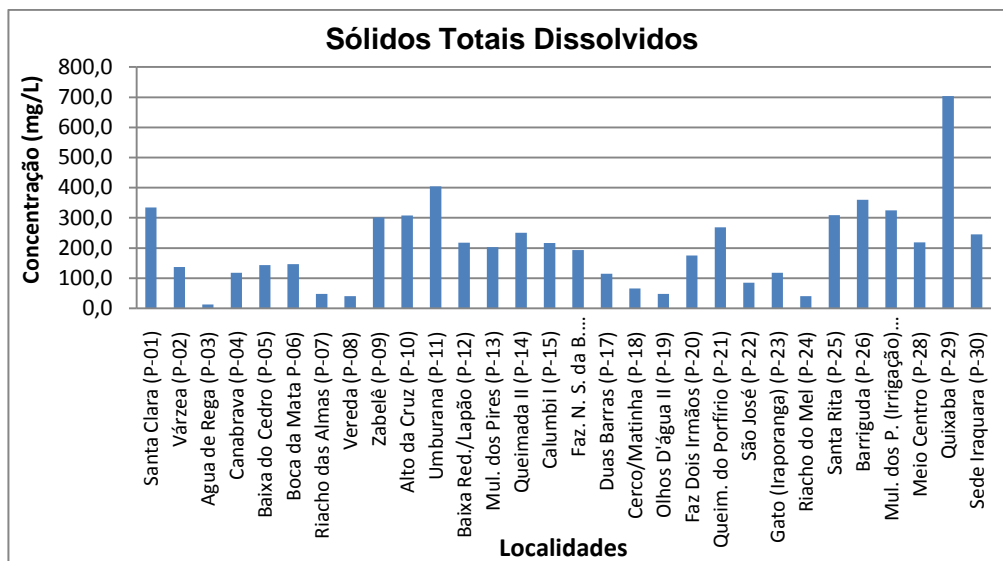


Figura 12 – Concentrações de STD nas águas subterrâneas de Iraquara.

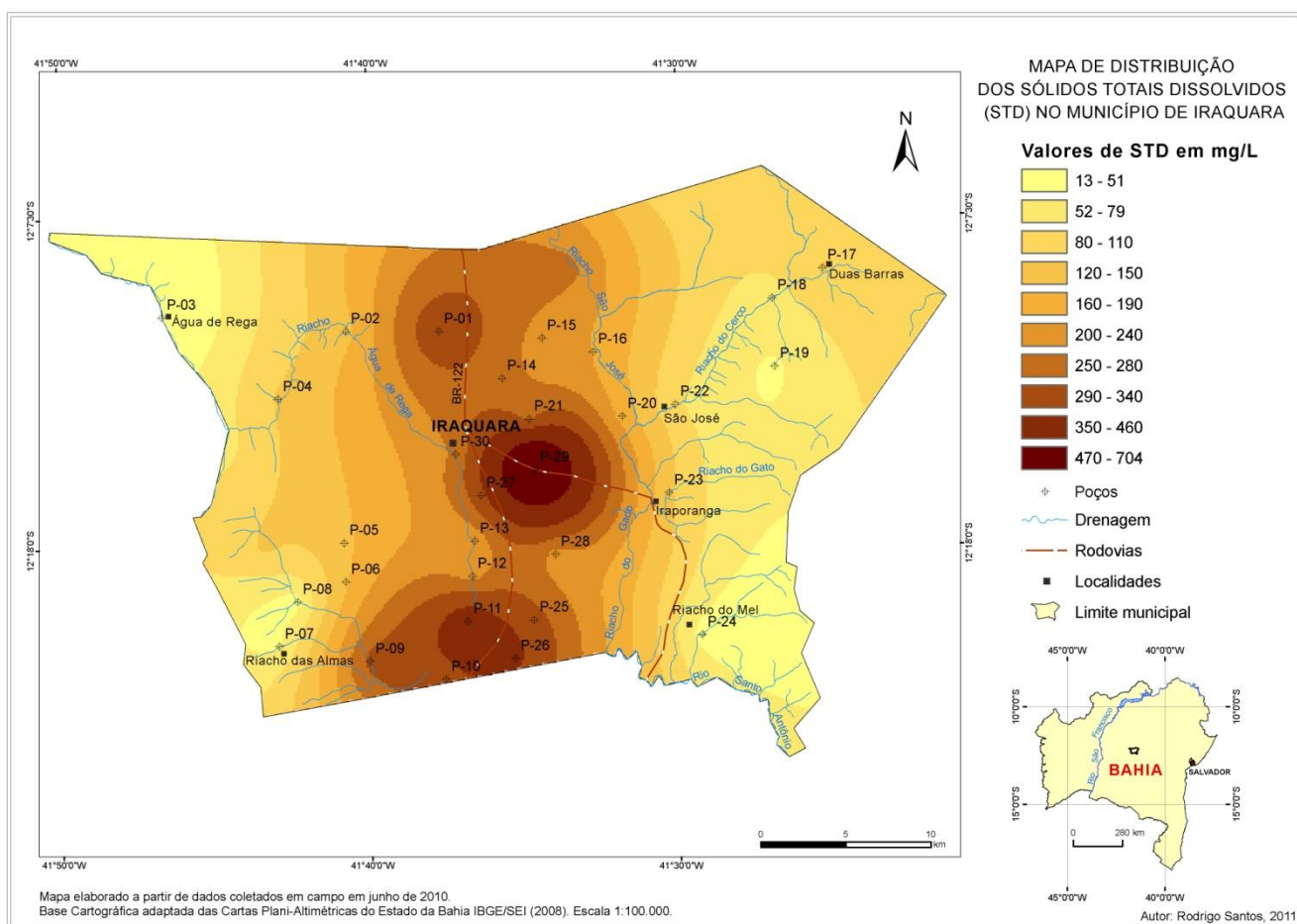


Figura 13 – Mapa de distribuição dos valores de STD nas águas subterrâneas de Iraquara.

4.2.2 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.

Observa-se que a condutividade elétrica analisada situa-se na média de 488,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, variando entre o mínimo de 34 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na temperatura de 25°C (P-03) e o máximo de 1.634 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à temperatura de 25,1°C (P-29) (Figura 14). Os menores valores de CE estão diretamente relacionados às águas dos quartzitos, enquanto que a maioria dos valores, acima de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, estão relacionados às águas emergentes das rochas calcárias, evidenciando a influência da dissolução dos carbonatos. Não se pode descartar ainda a influência da contaminação antrópica, notadamente no poço P-29, principalmente através do aporte de efluentes domésticos lançados em fossas negras, situadas nas proximidades deste poço, localidade de Quixaba.

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 à água, afetando sua capacidade de uso para consumo.

A Figura 15 mostra a distribuição da CE na área. Assim como os STD, os maiores valores de CE estão concentrados na porção central, norte e sul.

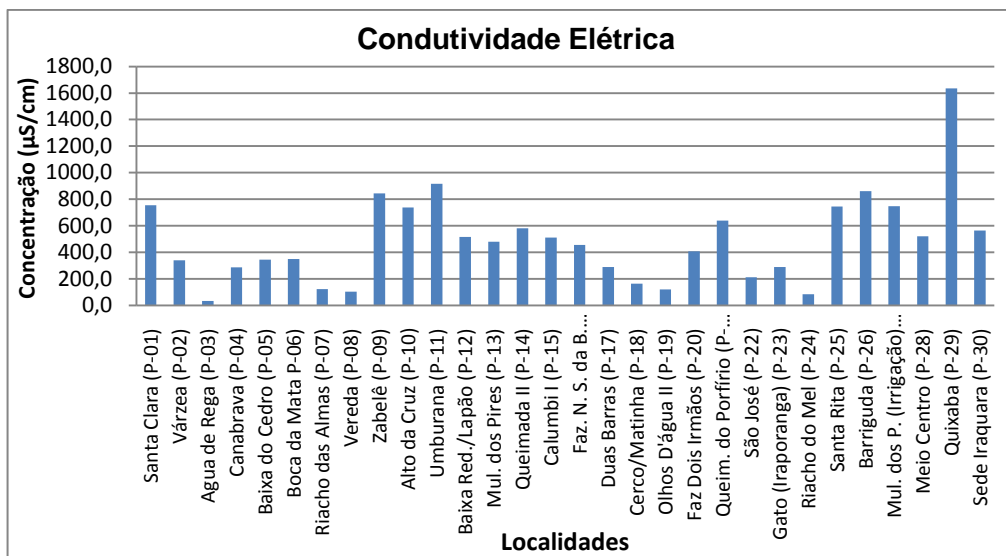


Figura 14 – Valores de CE nas águas subterrâneas de Iraquara.

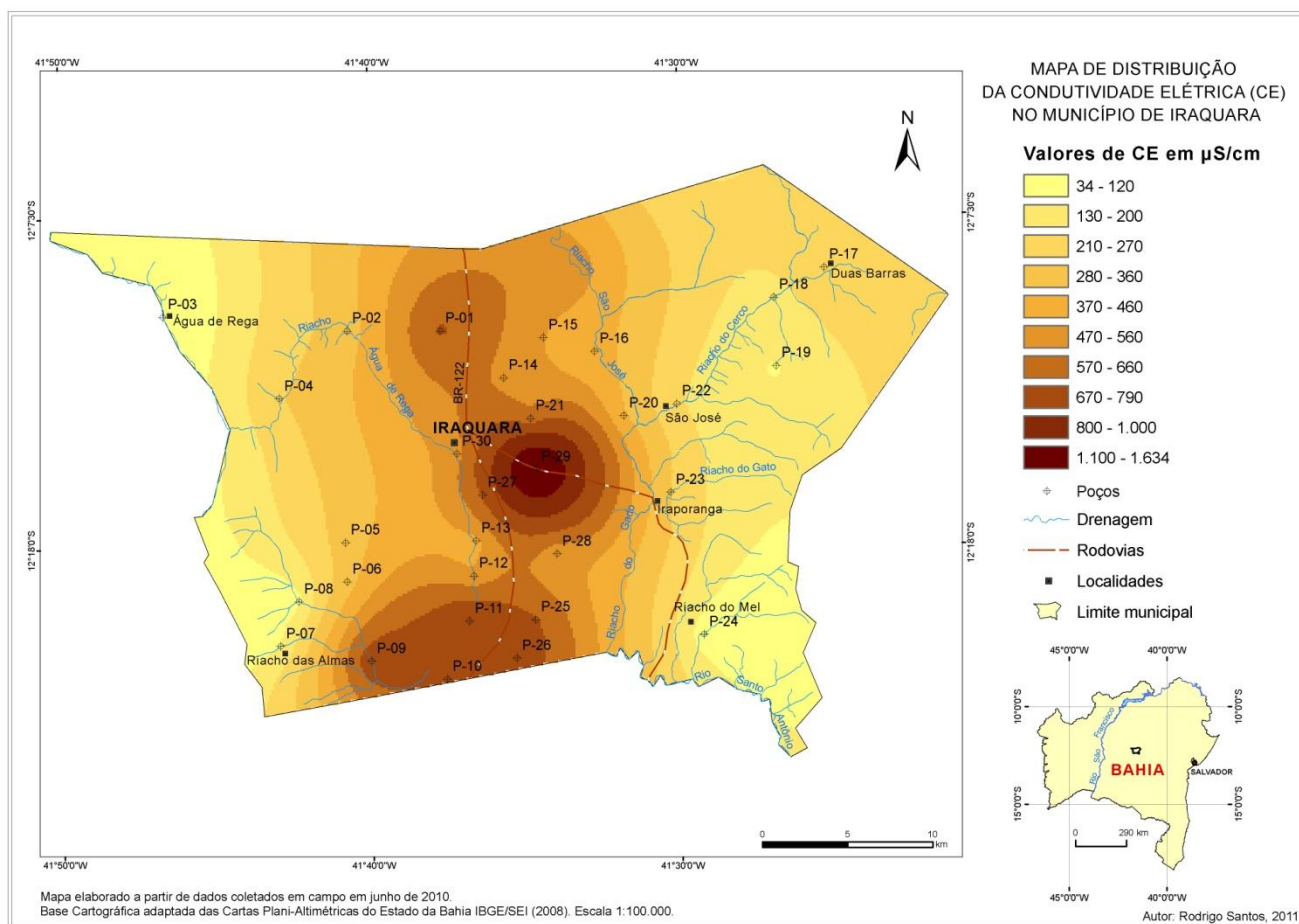


Figura 15 – Mapa de distribuição dos valores de C.E. nas águas subterrâneas de Iraquara.

4.2.3 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. Em aquíferos cársticos, essas concentrações situam-se em torno do valor 7,0 (MENDES & OLIVEIRA, 2004; SANTOS, 2008).

Na área de estudo, as medidas de pH mostram uma variação entre valores máximos situados em torno de 7,2 (P-09) e valores mínimos em torno de 4,8 (P-03). O valor médio perante a análise de todos os pontos é de 6,5 (Figura 16).

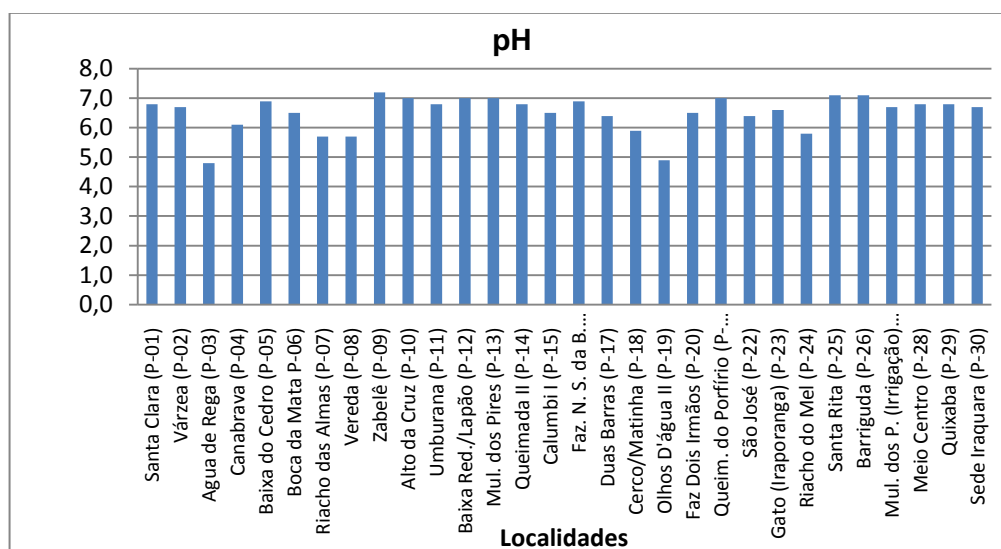


Figura 16 – Valores de pH nas águas subterrâneas de Iraquara.

As águas subterrâneas em aquíferos cársticos, em função dos materiais solubilizados, possuem a propriedade natural de neutralizar a acidez que se manifesta através da reação da água com o CO₂. Na área de pesquisa, são observados alguns valores de pH ligeiramente ácidos, nos poços P-03 (4,8), P-07 (5,7), P-19 (4,9) e P-24 (5,8). Estes devem refletir, muito provavelmente, uma água que está percolando uma zona aquífera com conteúdo incipiente de material carbonático, uma vez que, de maneira geral, nestes poços não foram identificadas em campo a existência de atividades antrópicas com potencial significativo para acidificar a água.

A Figura 17 mostra a distribuição dos isovalores de pH medidos em campo. Nota-se que os menores valores estão localizados nos poços P-03 e P-19,

situados nas porções NW e NE da área, enquanto os maiores valores encontram-se na região central de Iraquara, nos poços localizados sobre os carbonatos.

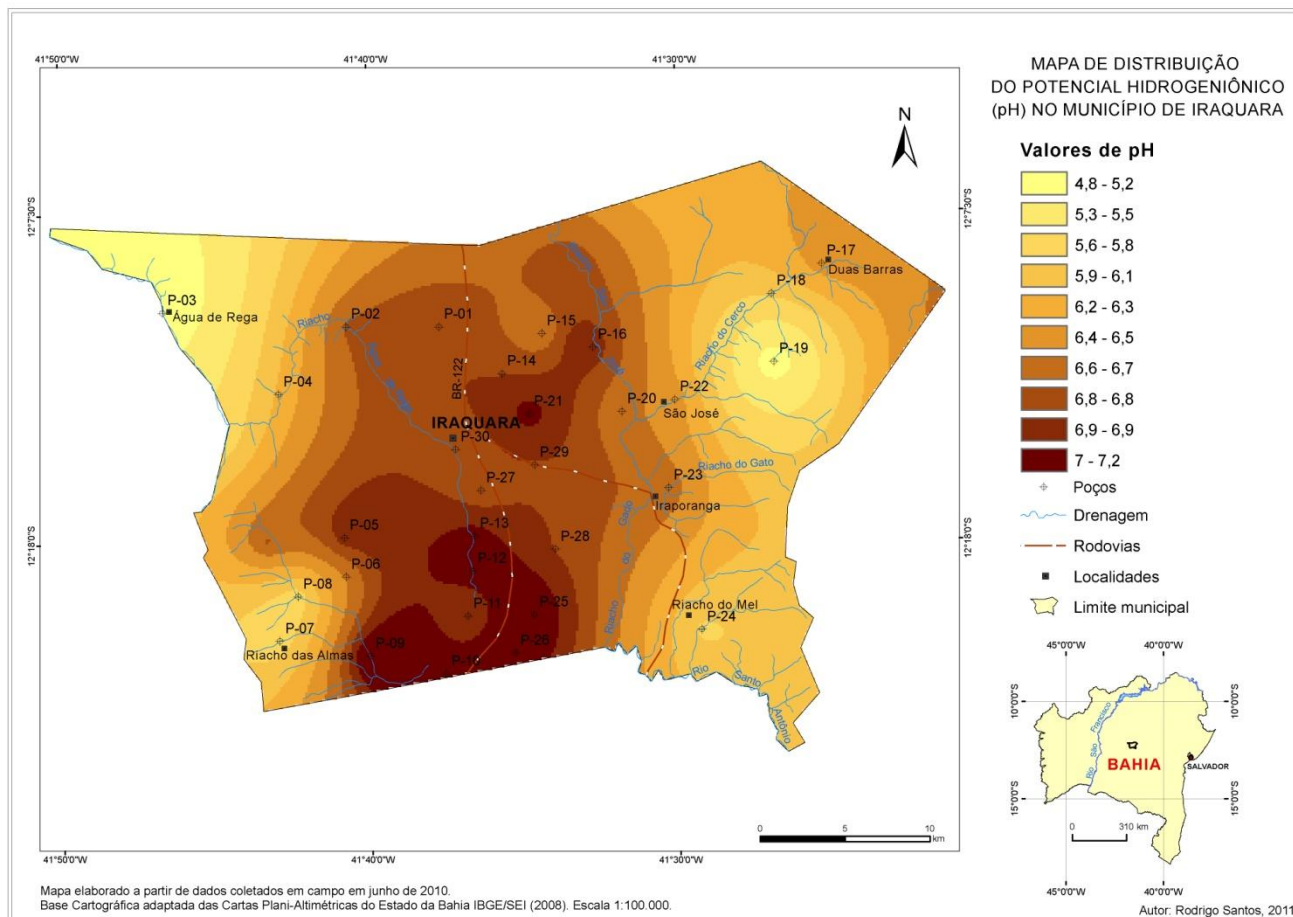


Figura 17 – Mapa de distribuição dos valores de pH nas águas subterrâneas de Iraquara.

4.2.4 Cloreto

Os cloretos representam um dos sais mais abundantes na natureza, ocorrendo em todas as águas naturais em quantidades variáveis. Em aquíferos cársticos, devido aos ataques químicos e à intensa solubilização dessas rochas, podem formar compostos muito solúveis, com intensidade variável, de cloretos cálcicos, magnesianos e sódicos.

No município de Iraquara, os teores de cloretos possuem valores mínimos de 13,3 mg/L (P-03 e P-04) e máximos de 298,4 mg/L (P-29), apresentando uma média de 55,0 mg/L (Figuras 18 e 19).

A Portaria nº 518/04 estabelece para as águas potáveis um valor máximo de 250 mg/L para cloretos. Os resultados obtidos mostram que, exceto o P-29,

todas as amostras analisadas estão dentro dos padrões de aceitação para consumo humano.

De acordo com Mendes e Oliveira (2004) as excretas humanas são fontes significativas de cloretos em águas subterrâneas, uma vez que a eliminação diária pelo homem (e outros animais de sangue quente) pode atingir de 10 a 15g de NaCl por pessoa/dia. O teor elevado de cloreto encontrado no poço 29 pode estar relacionado à sua proximidade das residências na localidade de Quixaba, evidenciando a influência de esgotos domésticos para tal anomalia de cloreto.

Silva (2005), correlacionando os dados dos índices de cloretos com as precipitações médias de chuvas na Bacia Carbonática de Irecê, concluiu que a contribuição das águas pluviais para o aporte desta substância no aquífero cárstico não é relevante. Tal fato ratifica as observações de Guerra (1986), de que as concentrações de cloreto no aquífero regional estão diretamente relacionadas a taxas de evaporação ou inversamente a taxas de infiltração, estando as concentrações anormais de cloreto associadas a focos pontuais de poluição.

A Figura 19 mostra a distribuição dos valores de cloreto na área estudada, evidenciando as maiores concentrações na porção central do município, especialmente no poço P-29.

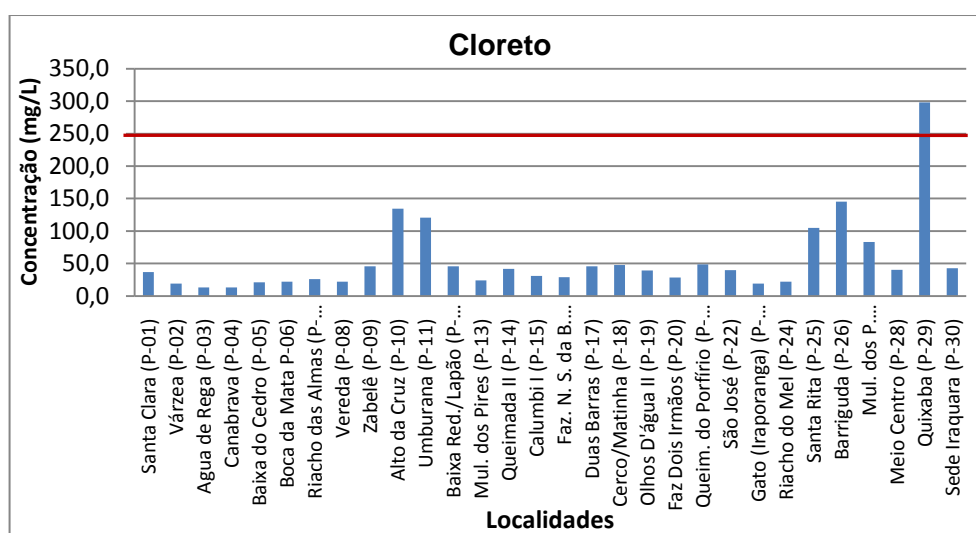


Figura 18– Concentrações de Cloreto nas águas subterrâneas de Iraquara. A linha vermelha indica o limite estabelecido pela Portaria nº 518/04.

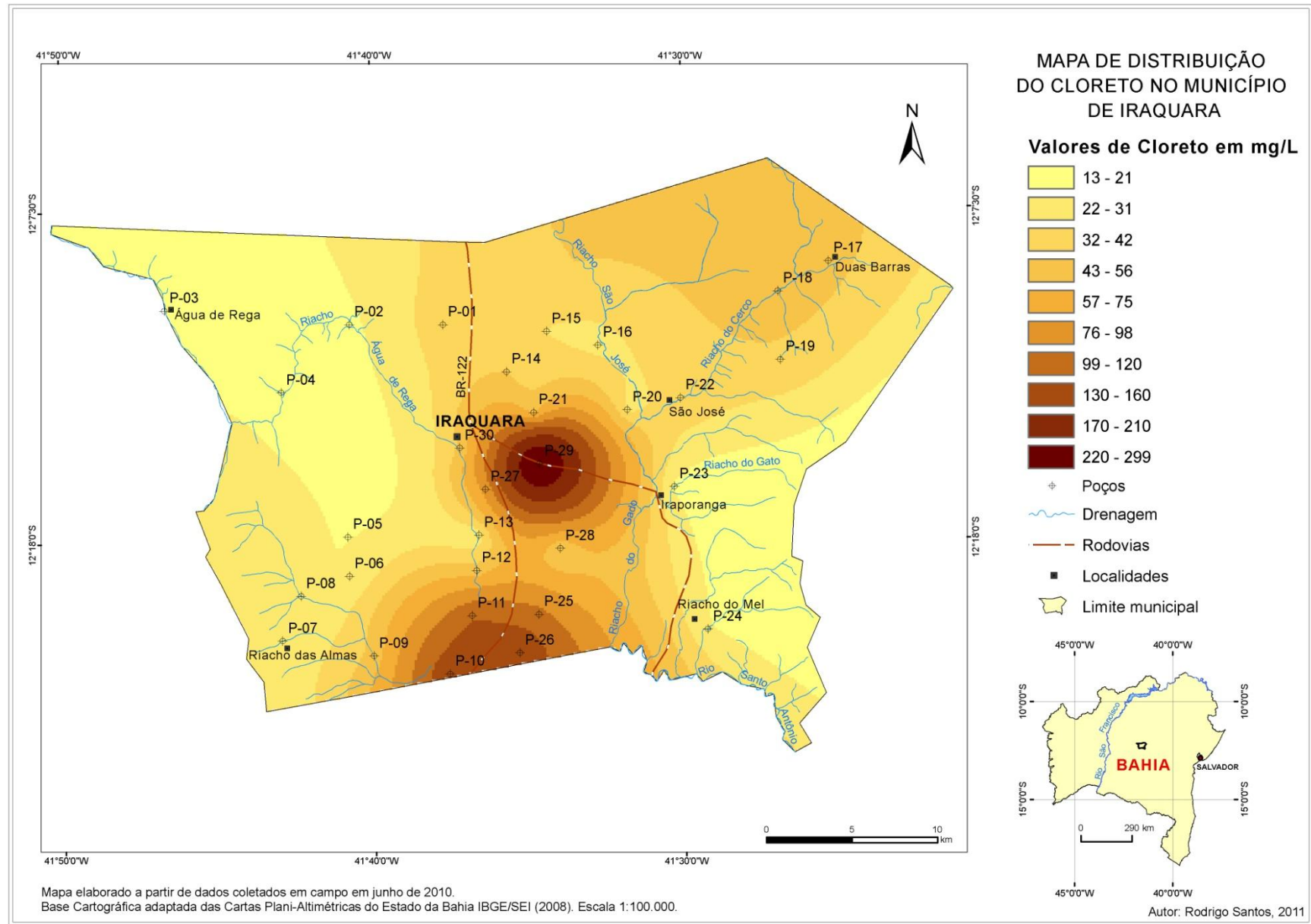


Figura 19 – Mapa de distribuição dos valores de Cloreto nas águas subterrâneas de Iraquara.

4.2.5 Sulfato

Os sulfatos ocorrem naturalmente em águas, uma vez que este composto encontra-se facilmente presente nas plantas, sob a forma de enxofre, nos solos e na água das chuvas.

Nas águas do município de Iraquara foram observados teores de sulfato oscilando entre o valor mínimo de 0,4 (P-22) e máximo de 184,0 mg/L (P-01), com média de 39,5 mg/L (Figura 20). Todos os valores estão dentro do limite estabelecido pela Portaria n° 518/04 (250 mg/L).

De acordo com Misi e Souto (1975) e Guerra (1986), os teores de sulfatos encontrados na área de estudo estão relacionados diretamente com a composição mineralógica das rochas. Nesse sentido, as concentrações mais elevadas em sulfatos dissolvidos na água subterrânea, estariam subordinados à dissolução de sulfetos metálicos, principalmente, pirita, esfarelita e galena, disseminados nos calcários do Grupo Una.

Valle (2004), estudando a influência do ácido sulfúrico como agente influente no processo de dissolução do carste das Bacias de Irecê e Salitre, atribui como sendo natural a origem dos sulfatos nas águas subterrâneas, provenientes das reações entre a rocha carbonática e o ácido sulfúrico, sendo este procedente da oxidação da pirita, com catálise microbiana.

Tendo em vista a relação dos teores de SO_4 com a composição da rocha reservatório, observa-se que os maiores valores desta substância são observados nos poços P-01, P-10 e P-27, localizados em áreas de litologia predominantemente carbonática. Não por acaso, verifica-se que os menores valores de SO_4 (P-08, P-18 e P-22) estão localizados nas águas dos quartzitos/metarenitos Chapada Diamantina. Além disso, a **Tabela 6** evidencia uma baixa correlação estatística do sulfato com os teores de nitrato e cloreto ($R^2 = 0,36$ e $0,47$), demonstrando pouca relação desta substância com fatores antrópicos.

A Figura 21 mostra a distribuição dos valores de SO_4 no município de Iraquara.

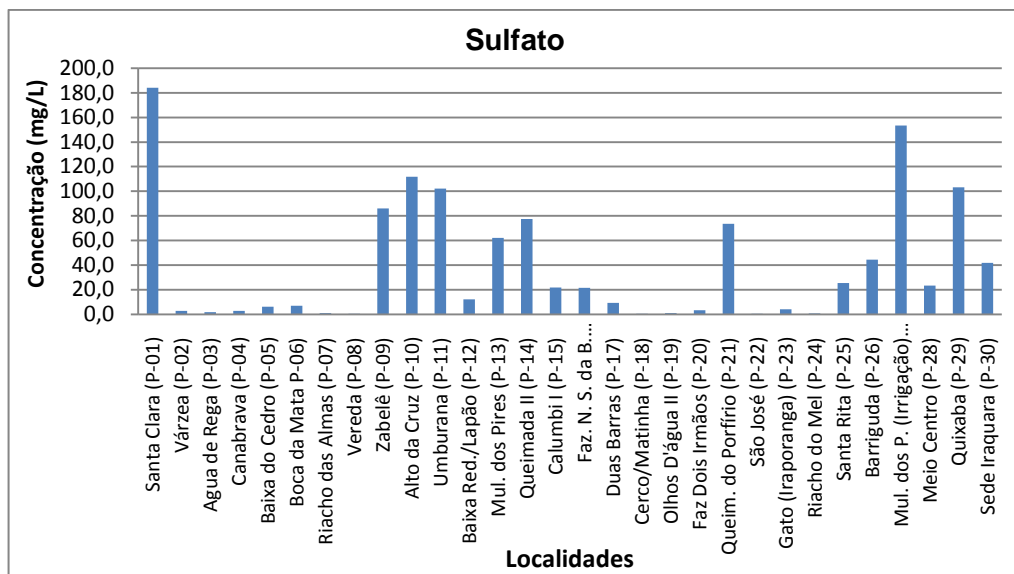


Figura 20 – Gráfico dos valores de Sulfato no município de Iraquara.

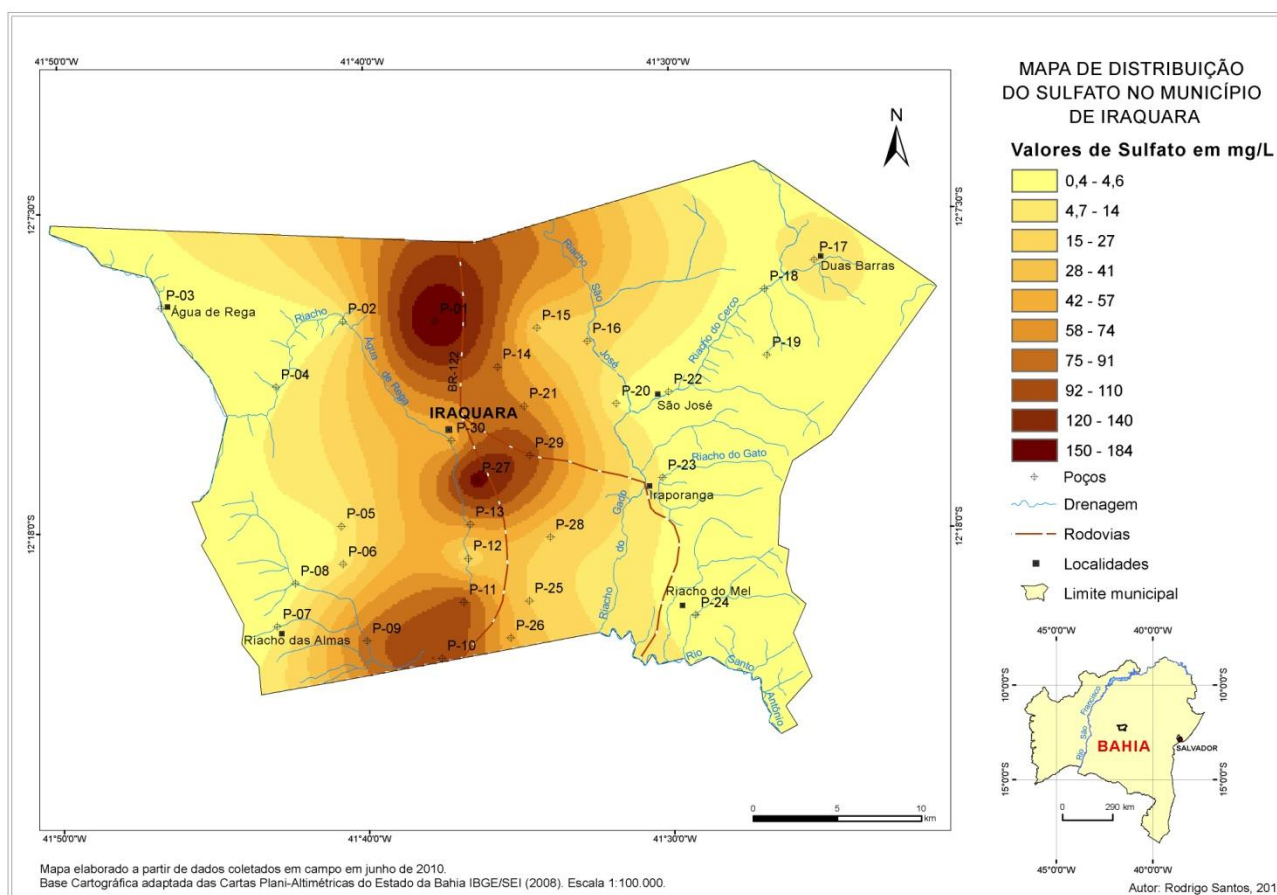


Figura 21 – Distribuição dos valores de Sulfato nas águas subterrâneas de Iraquara.

4.2.6 Cálcio

Dada a sua ampla distribuição nos diversos tipos de solos e rochas, o cálcio está naturalmente presente em todas as águas, embora em quantidades

muito variáveis. Nas águas subterrâneas, sua concentração é controlada principalmente pelos minerais mais solúveis, como a calcita (CaCO_3), a dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) e a anidrita (CaSO_4) (LIMA, 2010).

Nas águas analisadas, os valores de cálcio variam com o mínimo abaixo do Limite de Quantificação do Método (LQM) (P-04 e P-15) e o máximo de 130,5 mg/L (P-29), possuindo média geral de 43,1 mg/L (Figura 22).

Segundo Lima (2010), as águas armazenadas em terrenos cársticos podem atingir concentrações de cálcio superiores a 100 mg/L. Em contrapartida, aquelas naturalmente empobrecidas por esse elemento, são provenientes de aquíferos litologicamente desenvolvidos em granitos ou quartzitos, onde as concentrações podem ser inferiores a 0,7 mg/L. Esta premissa, condiz perfeitamente com o quadro hidroquímico encontrado no município de Iraquara, estando os maiores e menores valores de cálcio, predominantemente, relacionados à solubilização das rochas carbonáticas e quartzíticas, respectivamente.

O cálcio não é um parâmetro legislado pela Portaria nº 518/04. No organismo humano, o cálcio é um componente fundamental na estruturação dos ossos e dentes. Nesse sentido, a quantidade de cálcio existente em qualquer suprimento de água para consumo doméstico, tem um papel significativo na nutrição humana, sendo fundamental para a prevenção de complicações em indivíduos com deficiência neste elemento.

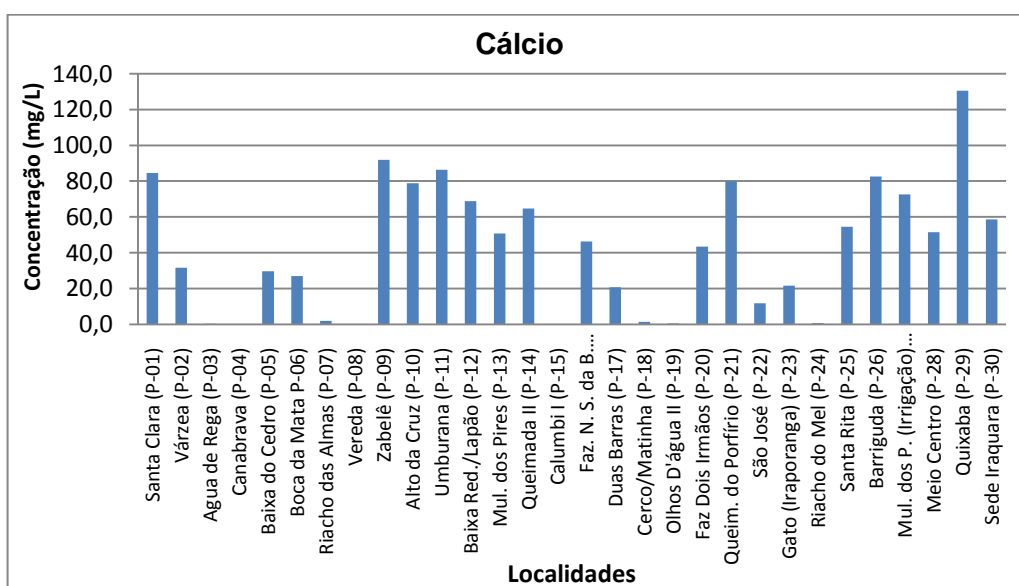


Figura 22 – Concentrações de Cálcio nas águas subterrâneas de Iraquara.

4.2.7 Magnésio

O magnésio, juntamente com o cálcio, contribui para a variação dos valores de dureza da água. Apresentando propriedades semelhantes ao cálcio, o magnésio ocorre, principalmente, em rochas carbonatadas, variando em concentrações medianas de 5 a 10 mg/L, sob a forma de carbonatos e bicarbonatos (MENDES & OLIVEIRA, 2004; LIMA, 2010). As principais fontes de Mg nessas rochas são a magnesita ($MgCO_3$) e a dolomita ($CaMg(CO_3)_2$).

Neste trabalho, o teor médio de magnésio analisado é de 13,9 mg/L, variando entre o valor mínimo abaixo do LQM (P-17, P-19, P-26) e máximo de 41,7 mg/L (P-29) (Figura 23). Tal como o cálcio, o magnésio não é um parâmetro mensurado pela Portaria nº 518/2004.

Seguramente as principais fontes de magnésio nas águas subterrâneas da área são os calcários dolomíticos. Em contrapartida, valores muito baixos de Mg, geralmente inferiores a 3 mg/L estão associados às águas dos quartzitos.

O consumo de água rica em Mg tem sido sugerido como uma forma de complementar a quantidade diária desse elemento no organismo humano, uma vez que, nem sempre sua concentração é adquirida via ingestão de alimentos sólidos. Contudo, valores acima de 150 mg/L podem produzir um gosto “salobro” à água potável, podendo causar distúrbios intestinais temporários e/ou náuseas para as pessoas mais sensíveis (LOGAN, 1965).

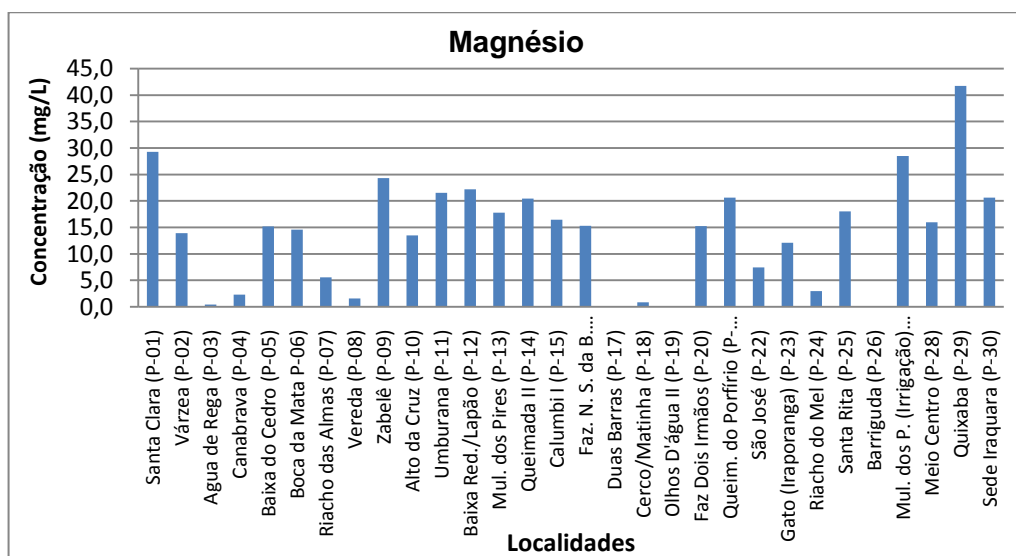


Figura 23 – Concentrações de Magnésio nas águas subterrâneas de Iraquara.

4.2.8 Sódio

O sódio é um dos metais alcalinos mais abundantes nas águas subterrâneas, ocorrendo principalmente sob a forma de cloretos. O enriquecimento natural dessas águas com sódio se dá a partir de fontes minerais de feldspatos plagioclásios, anfibólios e piroxênios (SANTOS, 2008).

Na área de estudo verificou-se que o teor médio de sódio foi de 12,6 mg/L, variando entre um valor mínimo abaixo do LQM (P-17, P-19 e P-26) e máximo de 60,9 mg/L (P-29) (Figura 24). Todos os teores analisados estão dentro do limite permitido pela Portaria nº 518/2004 (200 mg/L).

O sódio é o principal responsável pelo aumento da salinidade das águas naturais. Via de regra, as águas de consumo possuem teores de sódio inferiores a 50 mg/L. Concentrações acima podem causar um gosto “salobro” desagradável na água (SANTOS, 2008). Além disso, o sódio pode aparecer como um indicativo de contaminação por efluentes residuais domésticos, uma vez que este é um elemento comum nas excreções humanas.

O teor mais elevado de sódio encontrado no poço Quixaba (60,9 mg/L) evidencia mais uma vez a influência do fator antrópico (esgoto doméstico) como indicativo do comprometimento da qualidade de sua água (Figura 25). Além disso, a Tabela 6 evidencia uma boa correlação do sódio com os teores de nitrato e cloreto ($R^2 = 0,76$ e $0,79$) respectivamente.

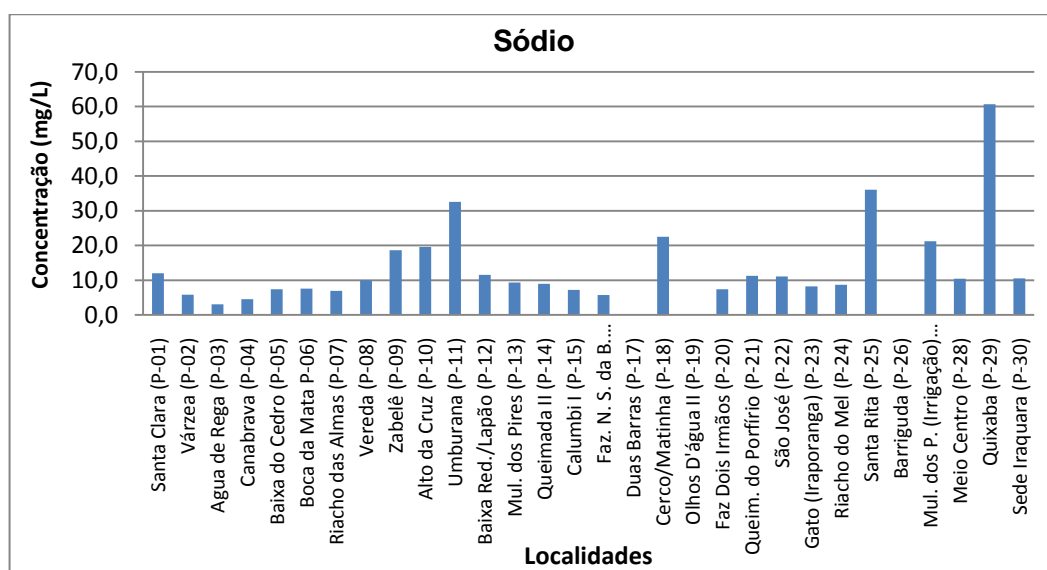


Figura 24 – Valores de Sódio nas águas subterrâneas de Iraquara.

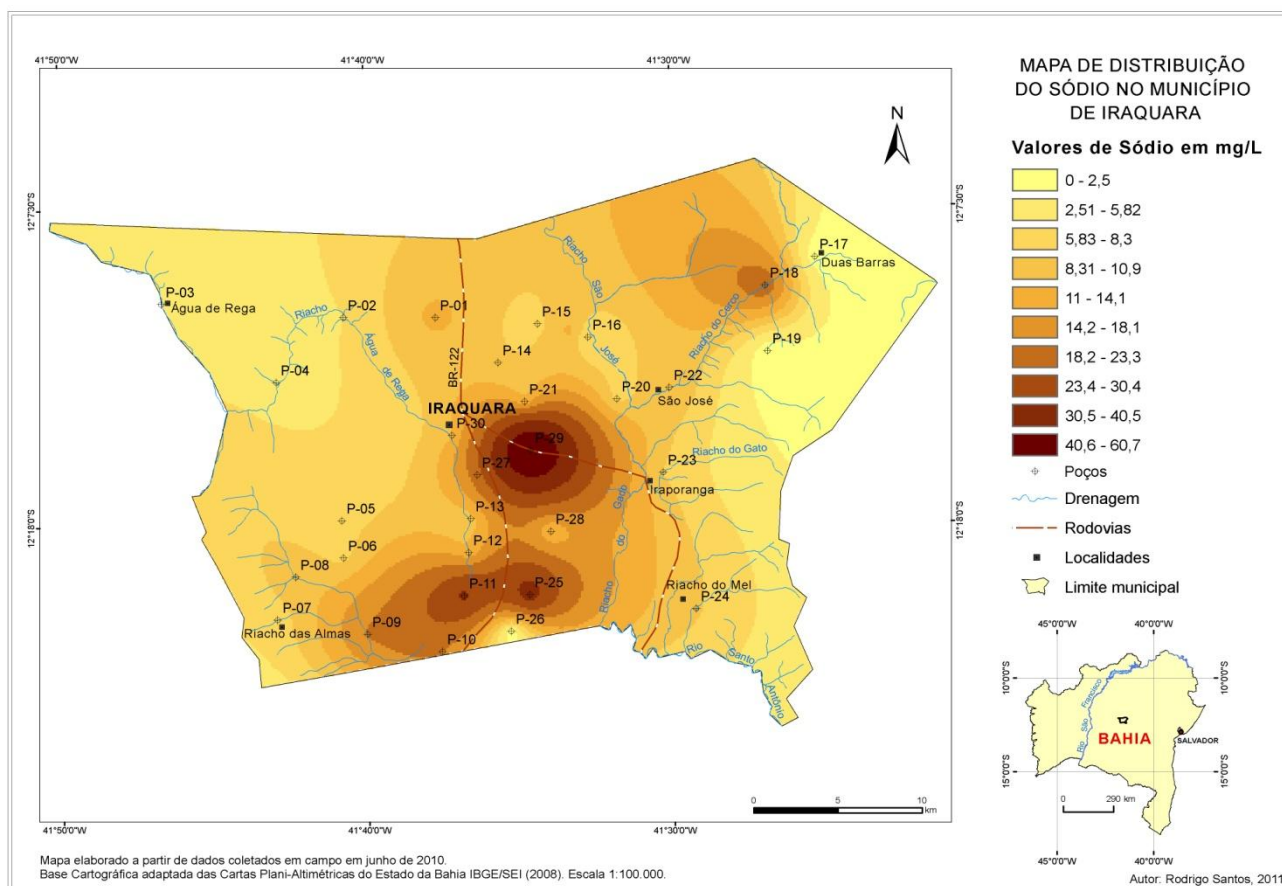


Figura 25 – Mapa de distribuição dos valores de Sódio nas águas subterrâneas de Iraquara.

4.2.9 Potássio

O potássio é um metal alcalino abundante na natureza, originando-se principalmente de minerais como os feldspatos (k-feldspatos) e micas. Nas águas subterrâneas, os teores médios desse elemento variam de 1 a 5 mg/L (SANTOS, 2008).

O valor médio para o potássio encontrado nas águas analisadas é de 2,8 mg/L, possuindo um valor mínimo menor que o LQM (P-03, P-13, P-17, P-19 e P-26) e máximo de 9,7 (P-10) (Figura 26).

Segundo Negrão (1987), os teores de potássio nas águas subterrâneas da Bacia de Irecê, provavelmente, são fornecidos pelos minerais argilosos existentes nas rochas carbonáticas. Contudo, devido o seu caráter preliminar, os dados coletados em campo, não oferecem uma análise conclusiva para a origem efetiva das concentrações de potássio na água.

A Portaria 518/2004 não estabelece um VMP para os teores de potássio nas águas de consumo, uma vez que este elemento raramente tem efeito adverso

para o organismo humano. Entretanto, concentrações de cloreto de potássio na água subterrânea, acima de 300 mg/L, além de causar um sabor “salobro” à água, pode provocar efeitos laxativos em pessoas mais sensíveis.

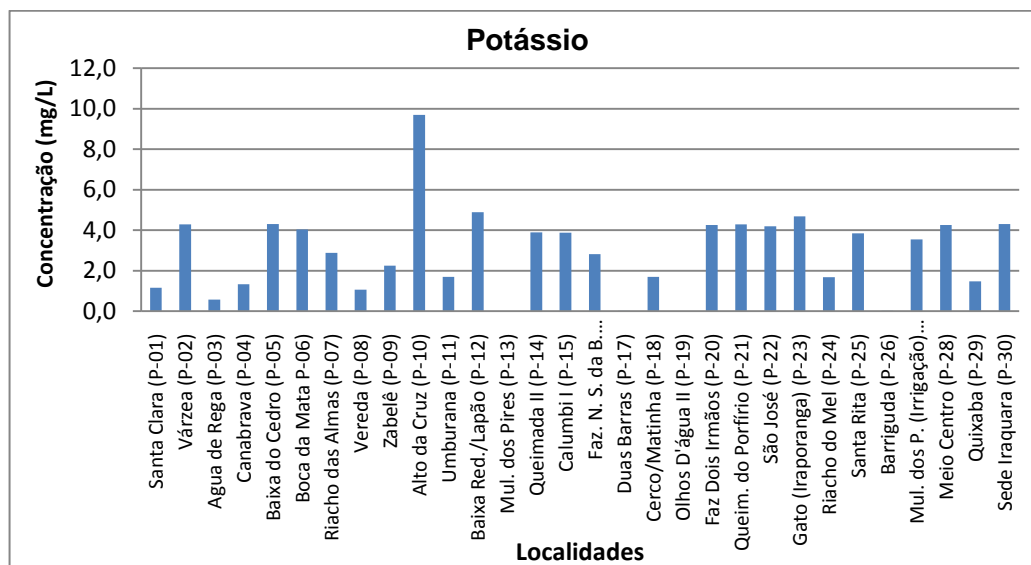


Figura 26 – Concentração de Potássio nas águas subterrâneas de Iraquara.

4.2.10 Oxigênio Dissolvido (OD)

Em geral, o teor de oxigênio dissolvido (OD) da água subterrânea se apresenta em pequenas concentrações. A maior parte do oxigênio dissolvido na água que se infiltra no solo é consumida na oxidação da matéria orgânica durante a sua trajetória através da zona de aeração.

Os valores de OD encontrados nas águas subterrâneas estudadas apresentam variações entre o mínimo de 2,7 mg/L (P-01) e o máximo 7,8 mg/L (P-09), com média de 5,6 mg/L (Figura 27). Vale ressaltar que este parâmetro não é legislado pela Portaria nº 518/2004.

As variações nos teores de OD nas águas subterrâneas estão relacionadas, principalmente, aos valores de temperatura, pressão e do total de sais dissolvidos na água (FERNANDES, 2005). Além disso, Mendes e Oliveira (2004) enfatizam que a elevada variabilidade dos teores deste elemento nas águas naturais resulta de diversos fatores, destacando-se os principais:

- a) O teor de matéria orgânica presente, que influencia para a redução do OD através de reações químicas diversas;

- b) As trocas na interface água-ar, que se verifica entre o oxigênio dissolvido na água e o oxigênio presente na atmosfera (O_2).
- c) A variabilidade da temperatura, aumentando ou reduzindo as atividades metabólicas, através de reações oxidativas.

Trata-se de um parâmetro importante no controle e evolução da qualidade da água, a partir do monitoramento dos níveis de poluição, principalmente orgânica.

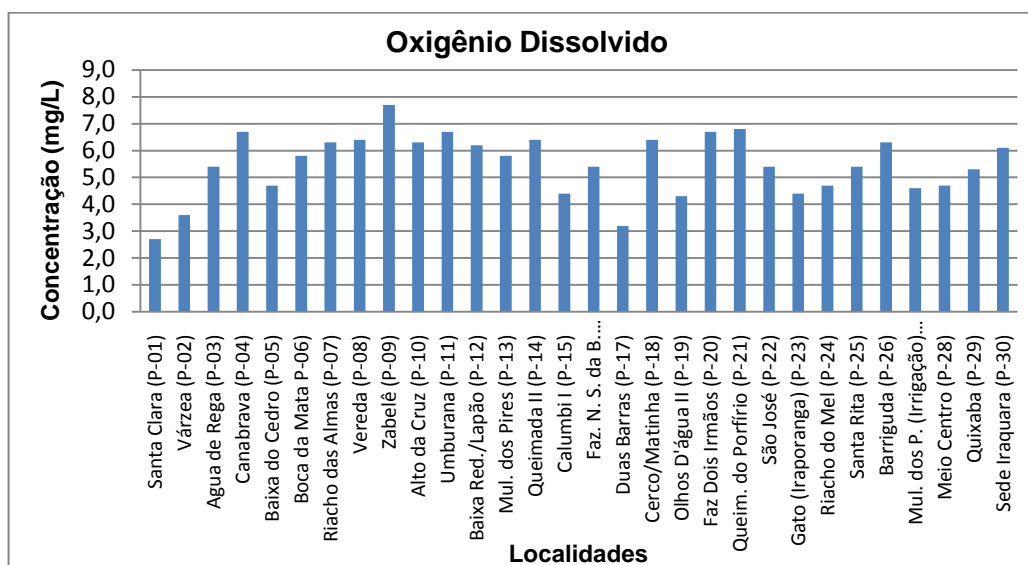


Figura 27 – Gráfico dos valores de OD nas águas subterrâneas do município de Iraquara.

4.2.11 Alcalinidade Total

A alcalinidade da água é definida como sendo a sua capacidade de neutralizar ácidos. Em águas naturais, este parâmetro é controlado pela presença de carbonatos e bicarbonatos, sendo que as águas subterrâneas tendem a ter uma alcalinidade superior às águas superficiais.

Na área estudada os valores de alcalinidade apresentam a média de 16,5 mg/L, variando entre o valor mínimo abaixo do LQM (P-08, P-18 e P-19) e o máximo de 36,5 mg/L (P-09), como pode ser observado na Figura 28.

Na Tabela 6 é apresentada a correlação estatística entre a alcalinidade total, STD, dureza, pH, cloreto e nitrato, para as 30 amostras coletadas nesta pesquisa. Os resultados revelam altas correlações entre a alcalinidade e os valores de STD, dureza e pH, respectivamente ($R^2 = 0,75, 0,82$ e $0,78$). Em

contrapartida, observa-se uma baixa correlação entre a alcalinidade e os valores de cloreto e nitrato (0,32 e 0,22), confirmando a influência da interação água/rocha como fator determinante para os valores de alcalinidade.

Sendo assim, fica evidente que a alcalinidade está intimamente relacionada com a dureza das águas analisadas, fato que influencia diretamente nos valores de pH encontrados nas águas de Iraquara (subitem 4.2.3). Além disso, a baixa correlação da alcalinidade com os valores de cloreto e nitrato indica que não é significativa a influência da contaminação antrópica, no que se refere à variação dos valores de alcalinidade total.

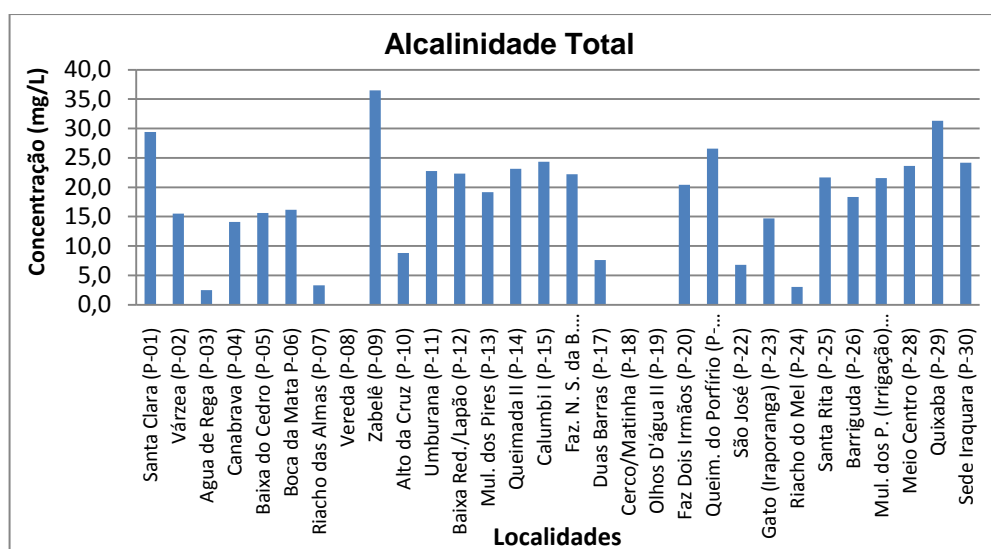


Figura 28 – Valores de Alcalinidade Total nas águas subterrâneas de Iraquara.

4.2.12 Dureza Total

A dureza total de uma água indica os níveis de cálcio dissolvido e em menor grau, os sais de magnésio, sendo expressos sob a forma de mg/L de CaCO_3 . Estes íons podem resultar em inconvenientes para os consumidores dessas águas, a exemplo do aumento de consumo de sabão.

A dureza da água varia, significativamente, com a natureza geológica dos terrenos atravessados. Sendo assim, de maneira geral, uma “água dura” aparece em zonas onde os solos sejam calcários ou dolomíticos, enquanto uma “água branda” ou “macia” pode aparecer em regiões nas quais predominam solos graníticos ou arenosos (MENDES & OLIVEIRA, 2004). Custódio e Llamas (1983)

apresentam uma classificação para as águas subterrâneas a partir dos teores de dureza, conforme mostra a Tabela 3.

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

Classificação	Dureza total (mg/L CaCO ₃)
Branda	< 50
Pouco dura	50 – 100
Dura	100 – 200
Muito dura	> 200

No município de Iraquara os valores de dureza apresentam media de 162,1 mg/L, variando entre o mínimo de 1,0 mg/L (P-19) e o máximo de 507,7 mg/L (P-29), observados no Figura 29.

A classificação quanto aos teores de dureza para as águas subterrâneas no município de Iraquara, a partir de um universo de 30 amostras, revela que 23% delas possuem águas “brandas”, 10% “pouco duras”, 23% “dura” e 44% água “muito dura” (Figura 30). Apenas a análise do poço Quixaba (507,7 mg/L) está fora dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 518/04, que é de 500 mg/L de CaCO₃.

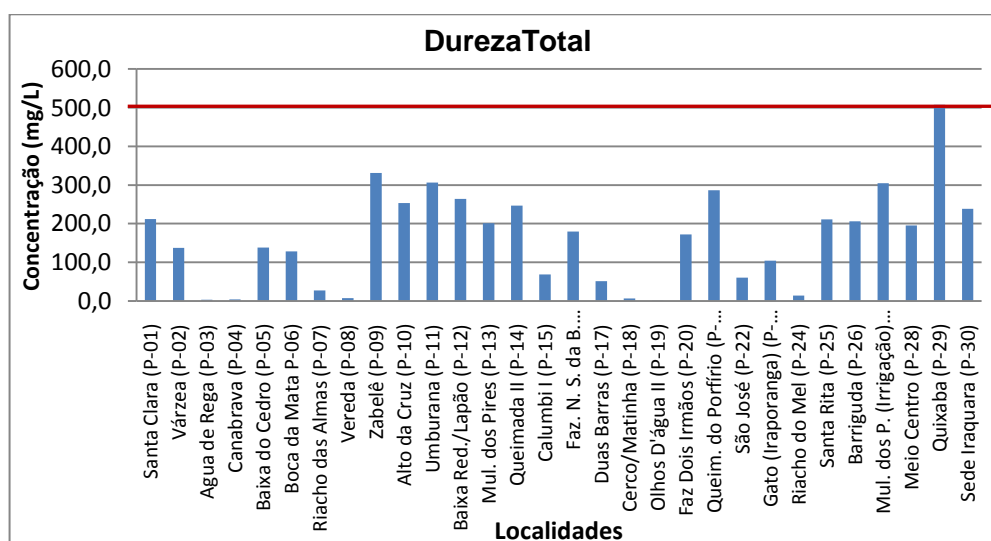


Figura 29 – Valores de Dureza Total das águas subterrâneas de Iraquara. A linha vermelha indica o limite estabelecido pela Portaria nº 518/04.

A Figura 31 mostra a distribuição dos teores de dureza na área, onde os maiores valores estão distribuídos na porção central, norte e sul do município

(área dos carbonatos), enquanto os menores valores ocorrem na porção leste e oeste de Iraquara (área dos quartzitos).

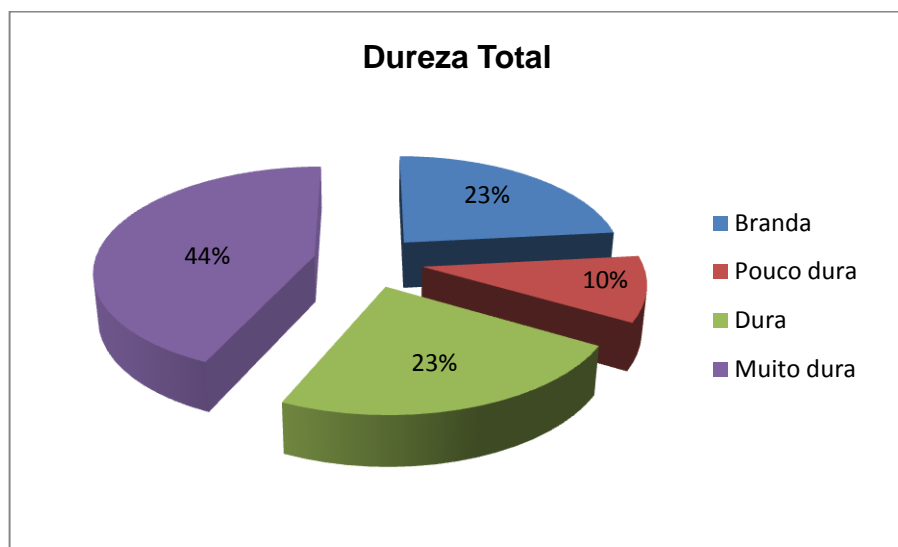


Figura 30 - Classificação das águas segundo a dureza no município de Iraquara (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983).

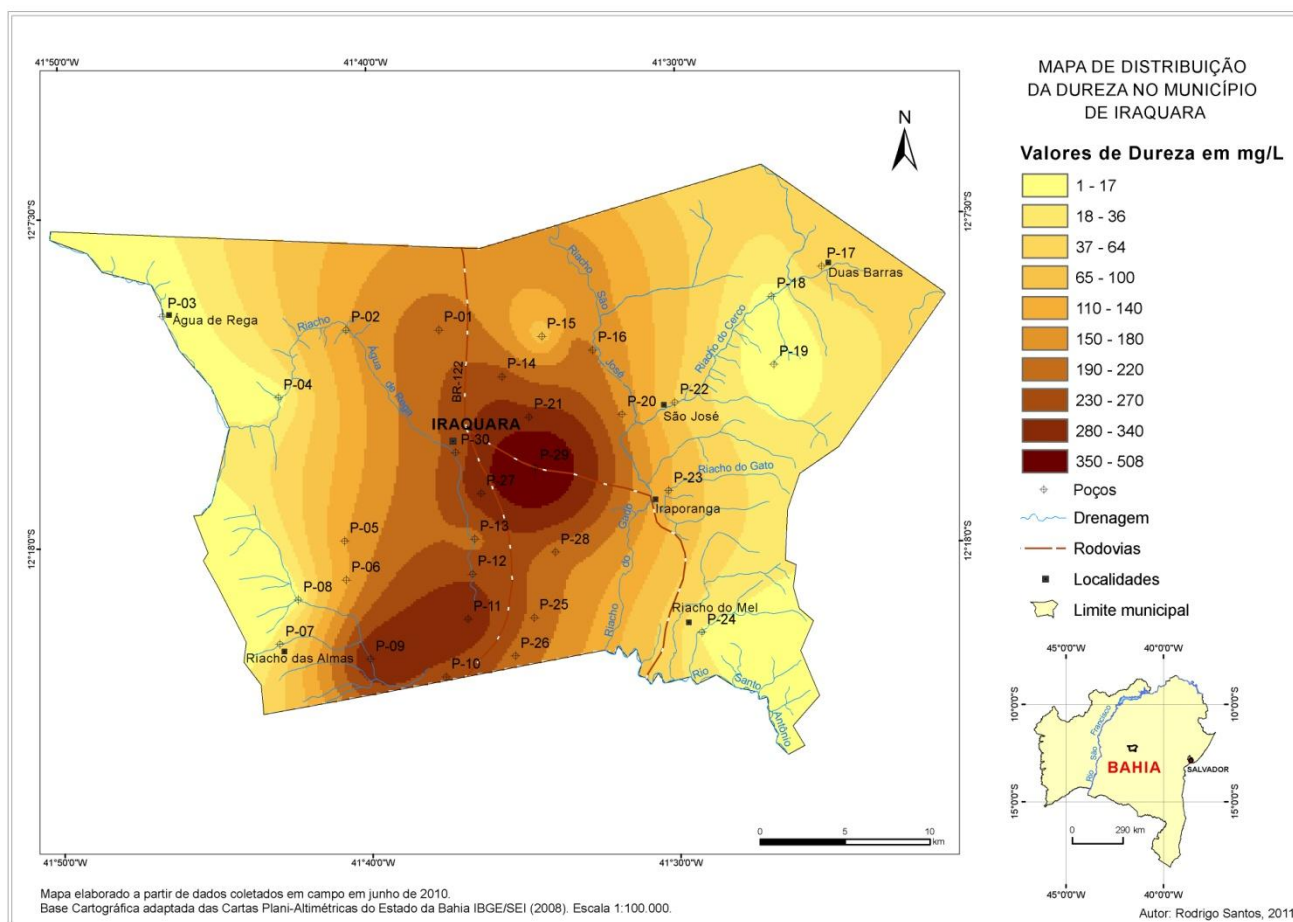


Figura 31 – Mapa de distribuição dos valores de Dureza nas águas subterrâneas de Iraquara.

4.3 PARÂMEROS RELATIVOS A SUBSTÂNCIAS INDESEJÁVEIS OU TÓXICAS

4.3.1 *Nitrato*

O nitrato ocorre em geral em pequenas concentrações em águas naturais, representando o estágio final da oxidação da matéria orgânica. Devido à sua alta mobilidade, o nitrato pode facilmente ser lixiviado das camadas superiores do solo para as águas subterrâneas. Isso acontece em ambientes altamente oxidantes como é o caso das águas subterrâneas pouco profundas, em ambientes de alta permeabilidade ou rochas fraturadas que possuem altos teores de oxigênio gasoso (O_2) dissolvido (FEITOSA & MANOEL FILHO, 2008).

Concentrações acima de 5,0 mg/L podem ser indicativas de contaminação da água subterrânea por atividades antrópicas, demonstrando condições sanitárias inadequadas, tais como esgotos domésticos, depósitos de lixo, adubos nitrogenados e resíduos de animais. Assim, essa concentração pode ser adotada como um valor de alerta (MENDES & OLIVEIRA, 2004).

Os teores de nitratos analisados nas águas subterrâneas de Iraquara situam-se na média de 1,07 mg/L, com valor mínimo abaixo do LQM (P-23) e concentração máxima de 5,9 mg/L (P-29) (Figura 32).

Novamente o poço Quixaba se destaca como sendo o único da área pesquisada a apresentar teor acima de 5,0 mg/L. Apesar da Portaria nº 518/2004 estabelecer um VMP de 10 mg/L de nitrato para água potável, o valor apresentado por este poço (5,9 mg/L) pode ser interpretado como um forte indicativo de contaminação antrópica. Esta hipótese se baseia tendo em vista à proximidade deste poço com residências e o fato de o município de Iraquara não possuir rede de coleta de esgoto, tendo seus efluentes domésticos lançados principalmente em fossas negras. Além disso, a boa correlação entre nitrato e cloreto ($R^2 = 0,90$) indicada na Tabela 6, evidencia a influência da ação antrópica.

As águas com altos teores de nitratos podem causar problemas à saúde humana, notadamente nos casos de bebês, a partir da indução da metahemoglobinemia (Síndrome do bebê azul), especialmente em crianças com menos de um ano. Além disso, o nitrato, reduzido a nitrito no intestino, pode reagir com aminas secundárias e formar nitrosamidas e nitrosaminas, que são substâncias cancerígenas (MENDES & OLIVEIRA, 2004).

O mapa da Figura 33 mostra a distribuição dos teores de nitrato na área, onde os valores mais elevados estão concentrados na porção central e sul do município.

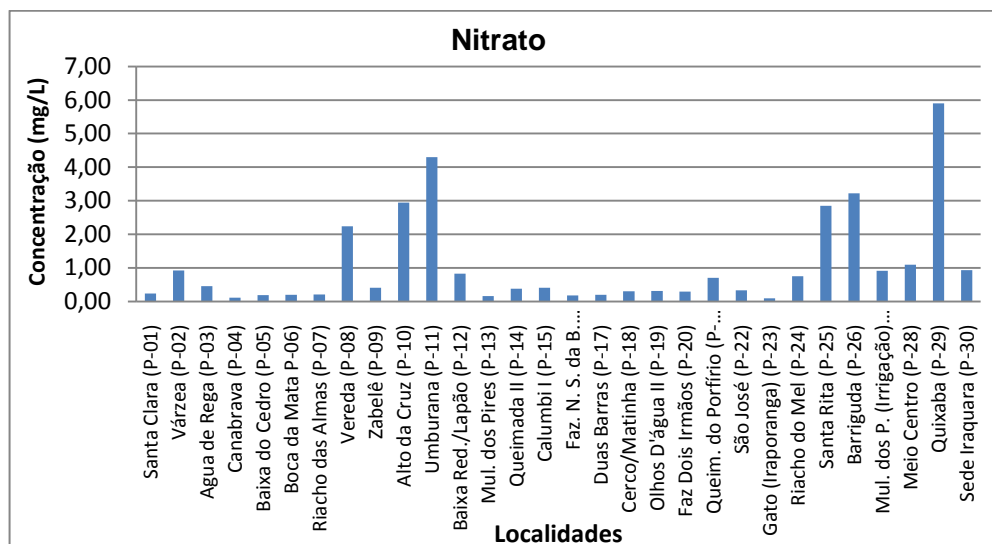


Figura 32 – Concentrações de Nitrato nas águas subterrâneas de Iraquara.

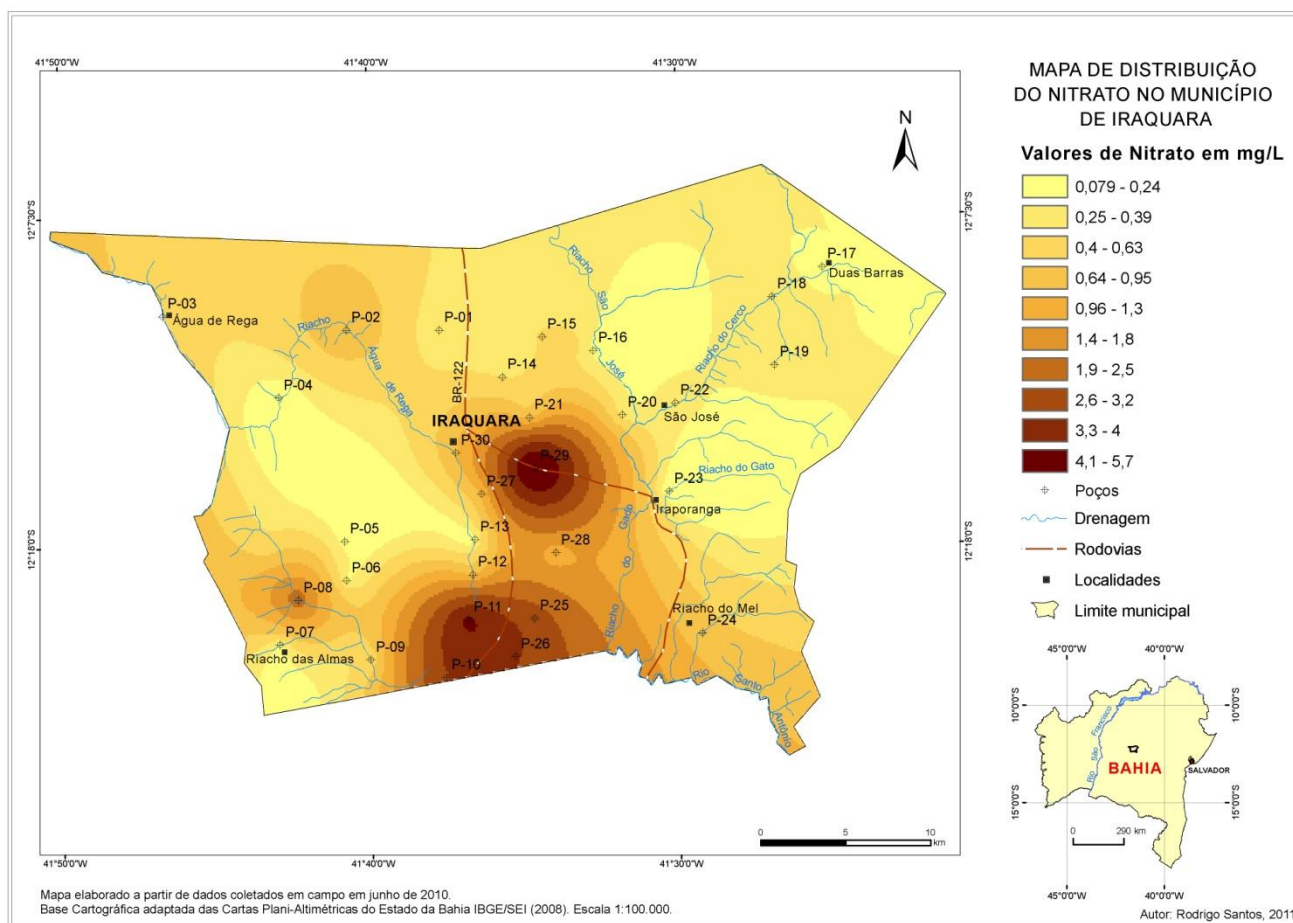


Figura 33 – Mapa de distribuição dos valores de Nitrato nas águas subterrâneas de Iraquara.

4.3.2 Ferro Total

O ferro é um elemento comum nas águas subterrâneas, podendo ter como origem a lixiviação do solo, a poluição industrial, ou mesmo o contato da água com as tubulações metálicas. Este elemento pode ser encontrado na água sob a forma reduzida (Fe^{2+}), mais solúvel, podendo ainda ser oxidado ao entrar em contato com o ar, precipitando-se sob a forma do íon férrico (Fe^{3+}) (LOGAN, 1965).

Os teores de ferro encontrados nas águas subterrâneas de Iraquara apresentam valor médio de 0,1 mg/L, variando entre um valor menor que o LQM para grande parte dos poços analisados (33%) e o máximo de 1,3 mg/L (P-03) (Figura 34).

A Portaria nº 518/04 estabelece para as águas potáveis um valor máximo de 0,3 mg/L para o ferro. Os resultados obtidos mostram que os poços Riacho das Almas (P-07) (0,5 mg/L), Vereda (P-08) (0,6 mg/L) e Água de Rega (P-03) (1,3 mg/L), apresentaram padrões acima do limite estabelecido para consumo humano. Em consequência, o ferro contido na água causa manchas nas instalações sanitárias e nas roupas, incrustações nos filtros dos poços e obstruções nas canalizações. Além disso, confere à água um sabor amargo e coloração amarela e turva, decorrente da sua precipitação quando oxidado.

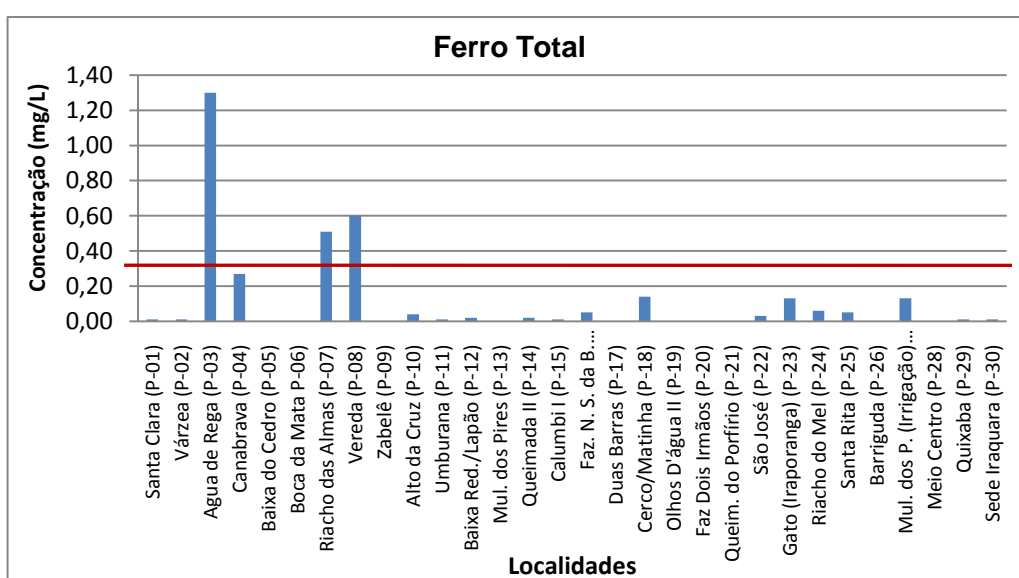


Figura 34 – Concentrações de Ferro Total nas águas subterrâneas de Iraquara. A linha vermelha indica o limite estabelecido pela Portaria nº 518/04.

De acordo com Mendes e Oliveira (2004), a água subterrânea pode adquirir ferro pelo contato com o revestimento do poço, parte da bomba e encanamentos. Para esta pesquisa foram realizadas “purgas” dos poços amostrados pelo tempo de 20 minutos, com o objetivo principal de remover toda a água estacionada nas tubulações. Mesmo assim, a hipótese levantada pelos autores não poderá ser desprezada, devido à falta de manutenção dos poços, estando a maioria com as tubulações e bombas oxidadas.

No entanto, os maiores valores de ferro encontrados podem estar ainda associados à presença de minerais ferromagnesianos componentes das rochas. É comum e natural a existência de elevados teores desse metal dissolvido sob a forma de Fe^{+2} quando as condições de pH situam-se entre 2,0 a 5,5 em ambiente oxidante. Não por acaso, os três poços que apresentaram os maiores teores deste elemento localizam-se sobre os quartzitos Chapada Diamantina, possuindo valores de pH na faixa de 4,8 e 5,7.

A Figura 35 mostra a distribuição dos teores de ferro para as águas subterrâneas de Iraquara, evidenciando que os maiores valores estão concentrados a NW e SW da sede municipal.

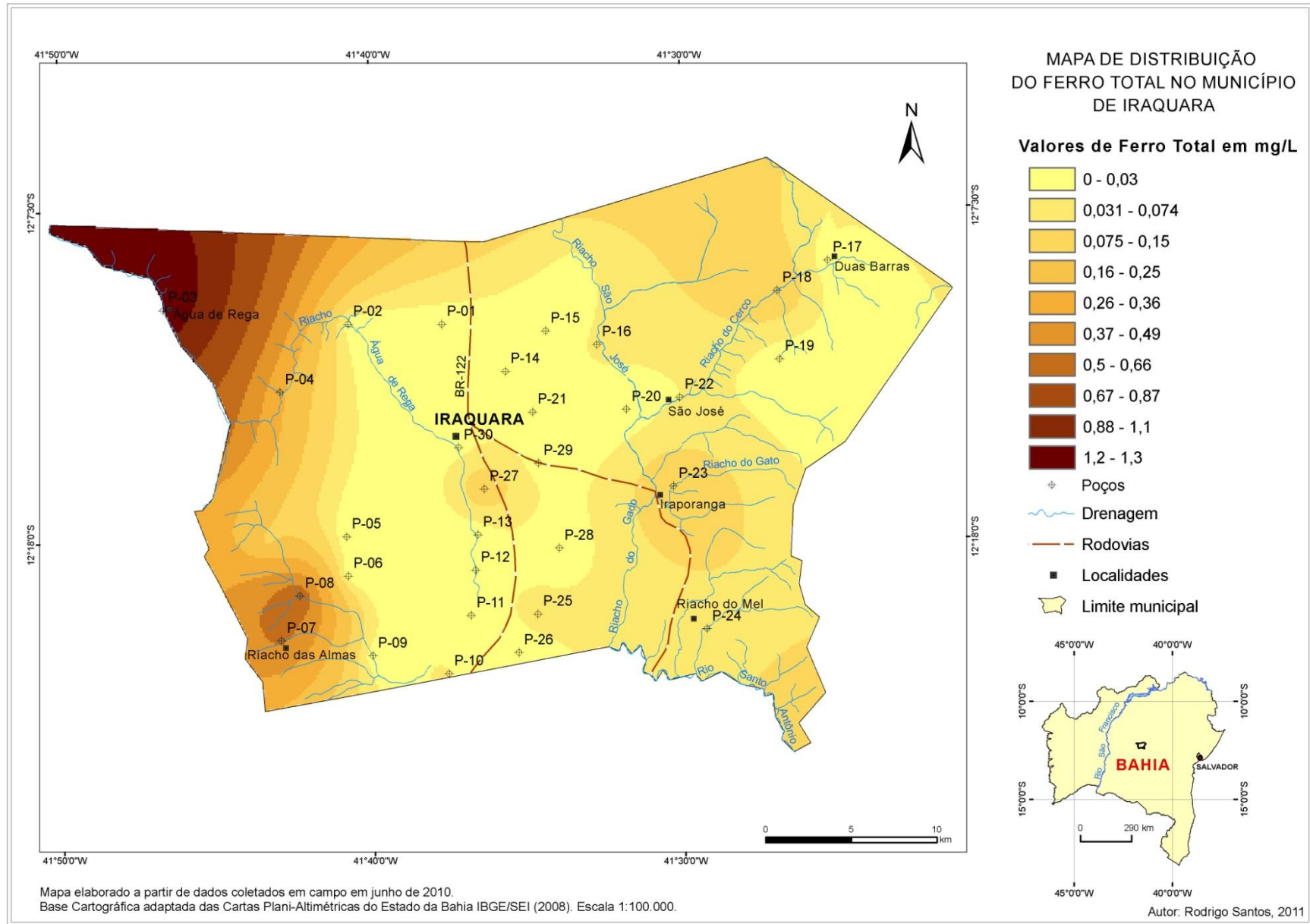


Figura 35 – Mapa de distribuição dos valores de Ferro Total nas águas subterrâneas de Iraquara.

4.3.3 Manganês

O manganês se assemelha quimicamente ao ferro e na sua ocorrência nas águas subterrâneas. Seu teor em águas naturais é normalmente baixo, sendo comumente inferior a 0,2 mg/L (SANTOS, 2008).

Neste trabalho, os valores de manganês apresentaram valor mínimo abaixo do LQM para a maioria dos poços analisados (80%), e máximo de 0,4 mg/L (P-22) (Figura 36). A Portaria nº 518/04 estabelece o VMP de 0,1 mg/L para a concentração de manganês em água potável.

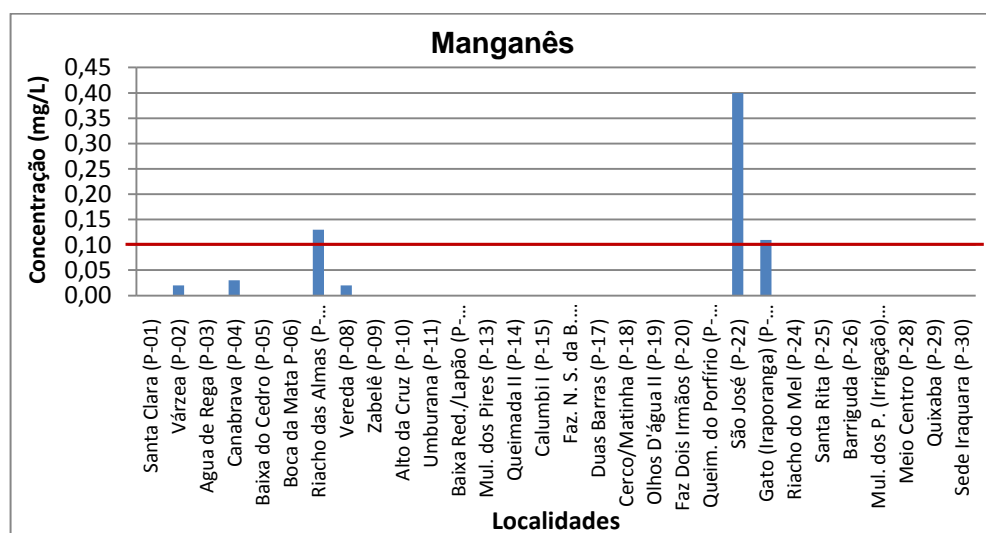


Figura 36 – Concentrações de Manganês nas águas subterrâneas de Iraquara. A linha vermelha indica o limite estabelecido pela Portaria nº 518/04.

Os resultados obtidos mostram que os poços Riacho das Almas (P-07) (0,13 mg/L), Gato (P-23) (0,11 mg/L) e São José (P-22) (0,4 mg/L) apresentam valores acima do limite normatizado para águas de consumo humano. De modo semelhante ao ferro, concentrações de manganês acima de 0,15 mg/L na água acarreta alguns inconvenientes para o consumidor, tais como sabor desagradável, turvação, formação de manchas nas roupas e louças sanitárias, formação de depósitos e/ou corrosão nas tubulações.

A presença do manganês nas águas subterrâneas do município estudado, particularmente nos poços São José (P-22), situado na localidade homônima e Gato (P-23), bairro da localidade de Iraporanga, está associada á ocorrência de sulfetos metálicos de chumbo, zinco e manganês existentes nestas áreas (BAHIA,

2006). Tal associação evidencia a influência dessas mineralizações como possíveis fontes de contaminação geogênica para as águas subterrâneas.

A Figura 37 mostra a distribuição dos teores de manganês na área de estudo, evidenciando uma maior concentração deste elemento a leste e sudeste de Iraquara.

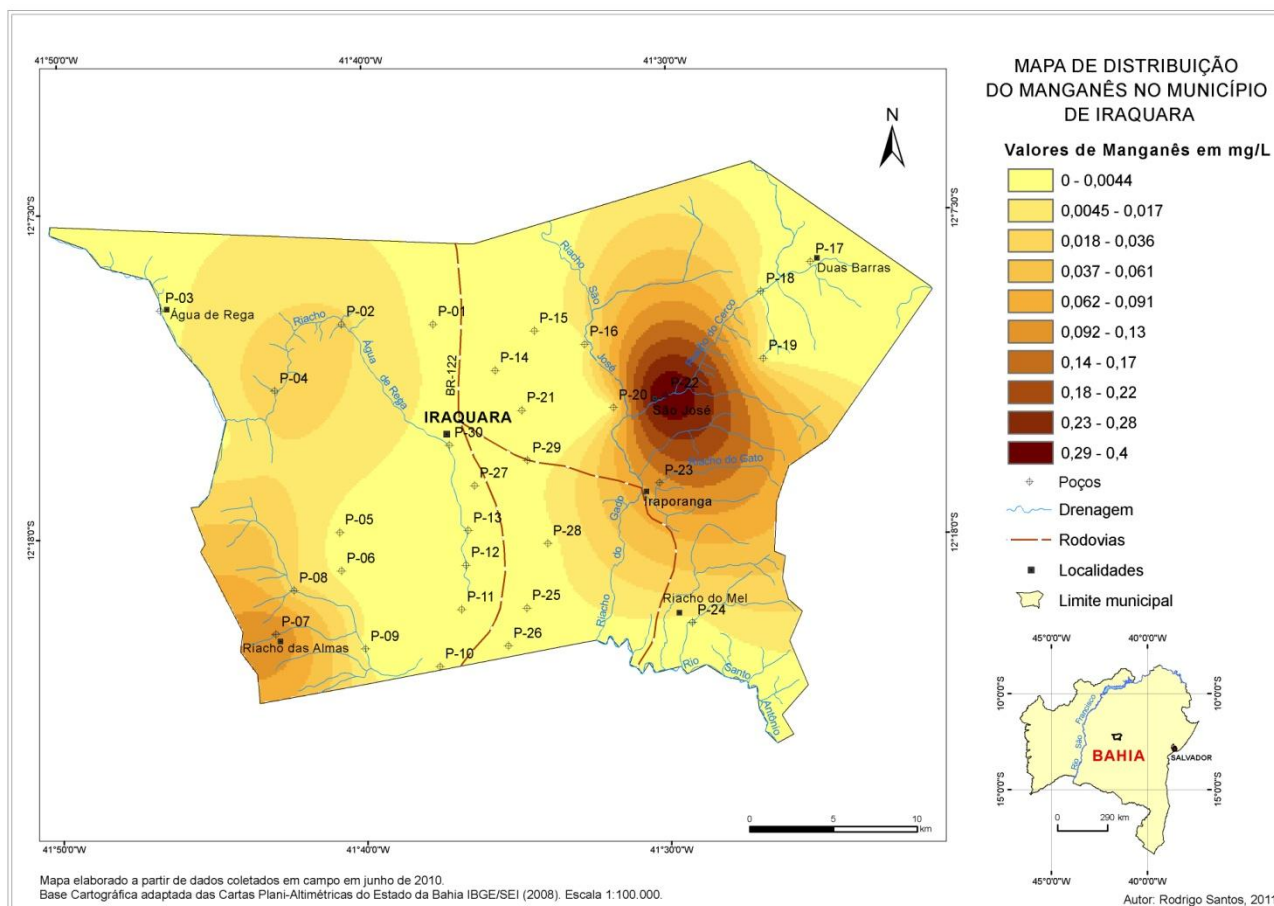


Figura 37 – Mapa de distribuição dos valores de Manganês nas águas subterrâneas de Iraquara.

4.3.4 Zinco

O zinco encontra-se amplamente disperso no ambiente, podendo dissolver-se na água. Contudo, sua mobilidade é mais elevada em condições ácidas e oxidantes, sendo muito baixa em meios redutores e alcalinos. O aparecimento desse elemento na água pode ser resultado da lixiviação de terrenos e rochas, da corrosão de canalizações feitas em ferro galvanizado, ou por contaminação por efluentes industriais (MENDES & OLIVEIRA, 2004; LIMA, 2010).

As águas analisadas possuem baixos teores de zinco, apresentando o total de 93,3% dos poços com valor abaixo do Limite de Quantificação do Método, e o

teor máximo de 0,16 mg/L (P-22) (Figura 38). Todos os valores estão abaixo do limite estabelecido pela Portaria nº 518/04 (5,0 mg/L).

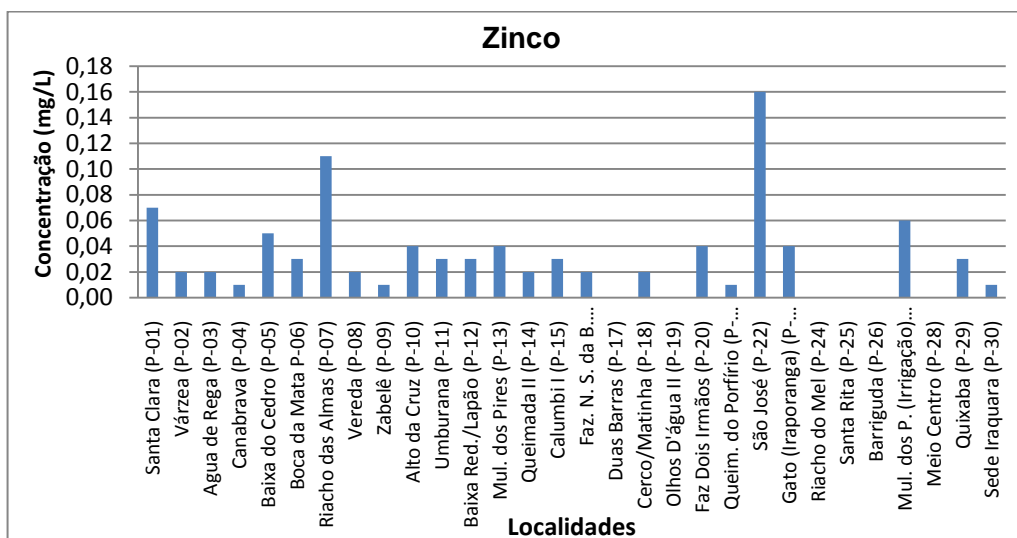


Figura 38 – Valores de Zinco nas águas subterrâneas de Iraquara.

Dados os valores de pH e Eh das águas de Iraquara, não é de se surpreender que os teores de zinco sejam muito baixos. Mesmo assim, a boa correlação com o manganês ($R^2 = 0,84$) evidencia uma associação entre esses elementos, ratificando a hipótese da presença dos sulfetos metálicos na água subterrânea.

O zinco presente na água não apresenta efeitos tóxicos significativos ao homem, embora alguns autores atentam para esporádicos casos de problemas digestivos. Os problemas mais comuns resultados da dissolução deste elemento na água, decorrem de teores acima de 5,0 mg/L, causando sabor desagradável à água e formação de depósitos nas canalizações.

4.3.5 Cobre

O cobre ocorre geralmente em águas naturais em pequenas concentrações. Nas águas subterrâneas este elemento está presente em teores inferiores a 1 mg/L. Dentre os principais minerais de cobre destacam-se a calcopirita (CuFeS_2), calcosita (Cu_2S), covelita (CuS) e a malaquita ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$) (SANTOS, 2008).

No município de Iraquara, as águas analisadas não possuem valores de cobre significativos, sendo que 96,6% dos poços apresentaram concentrações mínimas abaixo do Limite de Quantificação do Método. Apenas o poço P-08 (Vereda) apresentou um teor de 0,09 mg/L, valor este bem abaixo do limite máximo estabelecido pela Portaria nº 518/04 (2,0 mg/L) (Figura 39).

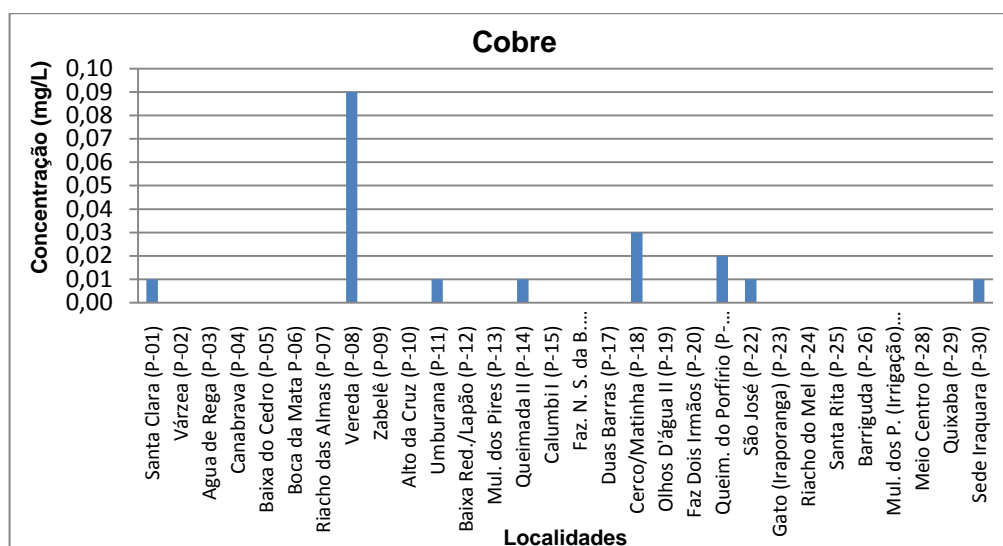


Figura 39 – Valores de Cobre nas águas subterrâneas de Iraquara.

A solubilidade do cobre é diretamente influenciada pelo pH da água, sendo que a respectiva acidez vai determinar uma maior ou menor solubilização/precipitação deste metal. Em águas alcalinas a mobilidade do cobre é muito reduzida, uma vez que sua concentração é muito baixa, como acontece nas águas subterrâneas estudadas, as quais possuem valores médios de pH de 6,5.

O cobre é considerado um elemento essencial para todos os seres vivos, agindo como catalizador em diversas reações enzimáticas e funções biológicas fundamentais (LIMA, 2010). No entanto, as propriedades que conferem ao cobre um papel indispensável aos seres vivos, tornam-no tóxico quando presente em excesso. Além disso, a presença de concentrações superiores a 1 mg/L pode provocar inconvenientes aos consumidores, tal como sabor metálico à água, formação de precipitados de hidróxido de cobre (turvação) e coloração na porcelana das louças sanitárias (MENDES & OLIVEIRA, 2004).

4.3.6 Fluoreto

O fluoreto é freqüentemente encontrado em pequenas concentrações nas águas subterrâneas. A fluorita (CaF_2), o topázio ($\text{Al}_2\text{SiO}_2(\text{F},\text{OH})_2$) e a apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl},\text{OH})$), são minerais tipicamente ricos em flúor, não descartando a sua presença em outros minerais (LIMA, 2010).

A concentração de fluoreto nas águas analisada apresentou valor médio de 0,24 mg/L, variando entre um valor abaixo do LQM (P-05, P-17 e P-24) e máximo de 0,98 mg/L (P-04) (Figura 40). Os teores de fluoreto encontrados para as águas de Iraquara estão abaixo do limite máximo estabelecido pela Portaria nº 518/04 (1,5 mg/L).

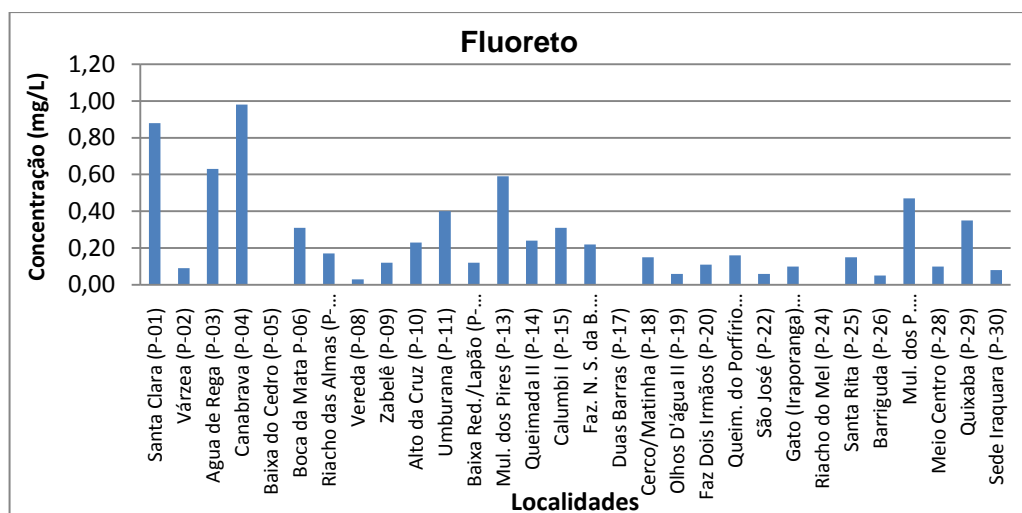


Figura 40 – Concentrações de Fluoreto nas águas subterrâneas de Iraquara.

Do ponto de vista biológico, o flúor é um elemento essencial na dieta humana, já que sua deficiência tem sido relacionada à incidência de cáries dentárias. Nesse sentido, a assimilação de flúor em doses adequadas é benéfica à saúde, pois promove o aumento da resistência da matriz mineral dos dentes e ossos. Todavia, a ingestão crônica de teores acima do máximo recomendado pode provocar a deformação do esmalte dentário (fluorose dentária), e até mesmo dos ossos (fluorose esquelética) (VELÁSQUEZ et. al., 2006).

Em águas subterrâneas, as concentrações de fluoreto variam com o tipo de rocha pela qual a água percola. No município, os maiores valores deste elemento estão evidenciados nos poços localizados sobre litologias carbonáticas. Nesse sentido, a fluorita, presente em cristais disseminados em veios calcíticos dos

calcários e calcarenitos do Grupo Una, constitui, provavelmente, o mineral-fonte da presença de fluoretos nas águas analisadas.

4.3.7 Chumbo

O chumbo, juntamente com o mercúrio e o cádmio, faz parte do grupo dos metais pesados aos quais são associados os maiores riscos para a saúde pública. O chumbo está presente em diversos minerais, dentre os quais se destaca a galena (PbS). Seu teor nas águas naturais varia em média entre 0,01 e 0,03 mg/L (MENDES & OLIVEIRA, 2004).

Na área de estudo, dos 30 poços analisados 27(90%) não apresentaram teores de chumbo detectáveis pelo método analítico adotado (ICP OES¹), porém, os poços Cerco/Matinha – P-18 (0,01 mg/L), Queimada do Porfírio – P-21 (0,02 mg/L) e Vereda – P-08 (0,05 mg/L) apresentaram concentrações desse elementos igual ou superior ao limite estabelecido pela Portaria nº 518/04 (0,01 mg/L) (Figura 41).

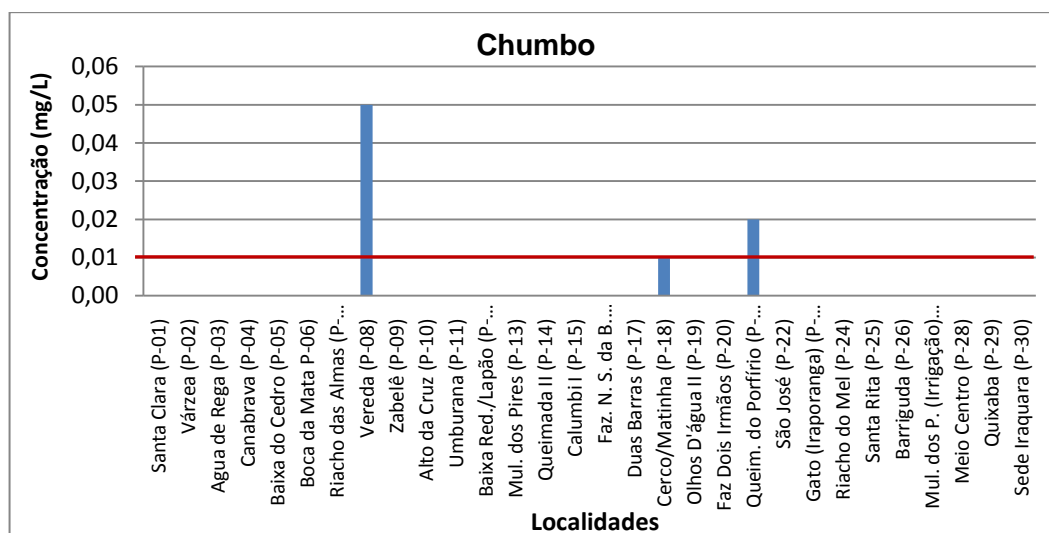


Figura 41 – Concentrações de Chumbo nas águas subterrâneas de Iraquara. A linha vermelha indica o limite estabelecido pela Portaria nº 518/04.

O chumbo encontra-se, em geral, associado a outros metais nos sulfetos, tais como o zinco (blenda) e o ferro (pirita), além de outras impurezas, como o

¹ Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado.

cobre e a prata (LIMA, 2010). No município de Iraquara, a presença de chumbo na água, provavelmente, está associada à presença de sulfetos metálicos de galena (PbS) disseminados nas rochas carbonáticas, além de esfalerita (ZnS) e covelita (CuS) (MISI & SOUTO, 1975). A boa correlação do chumbo com o cobre ($R^2 = 0,95$) apresentada na Tabela 6 evidencia uma associação entre os sulfetos, comprovando mais uma vez a influência das anomalias geoquímicas como fonte de contaminação natural para as águas subterrâneas.

O chumbo é um elemento tóxico cumulativo. Sua intoxicação para o organismo humano traduz-se por alterações clínicas e doenças neurodegenerativas, causando atraso intelectual ou outras alterações neurológicas (MENDES & OLIVEIRA, 2004).

A Figura 42 mostra a distribuição dos teores de chumbo nas águas subterrâneas de Iraquara, evidenciando que os maiores valores estão concentrados na porção Central, NE e SW do município.

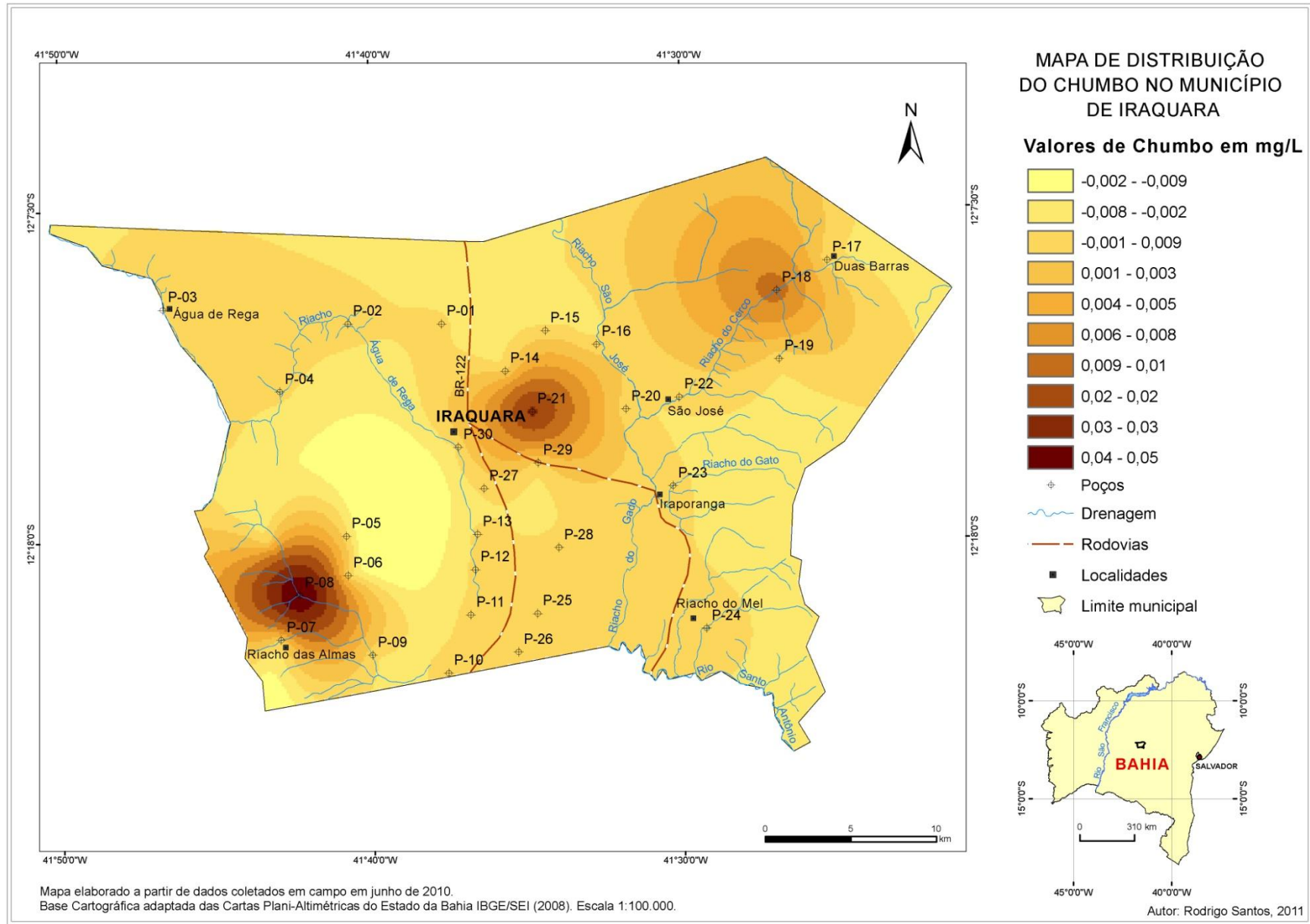


Figura 42 – Mapa de distribuição dos valores de Chumbo nas águas subterrâneas de Iraquara.

4.3.8 Bário

O bário ocorre essencialmente sob a forma de barita (BaSO_4), podendo ser liberado para as águas subterrâneas através da solubilização deste mineral. Nas águas naturais o bário apresenta, em geral, concentrações de 0,01 mg/L, devido à reduzida solubilidade de seus sais. Os sais de bário mais solúveis são os cloretos, nitratos e, particularmente, os carbonatos (SANTOS, 2008).

As concentrações de bário nas águas de Iraquara variaram desde valores abaixo do LQM para 36,7% dos poços amostrados à concentração máxima de 0,51 mg/L (P-20), com média de 0,15 mg/L (Figura 43). Todos os valores estão abaixo do limite estabelecido pela Portaria nº 518/04 (0,7 mg/L).

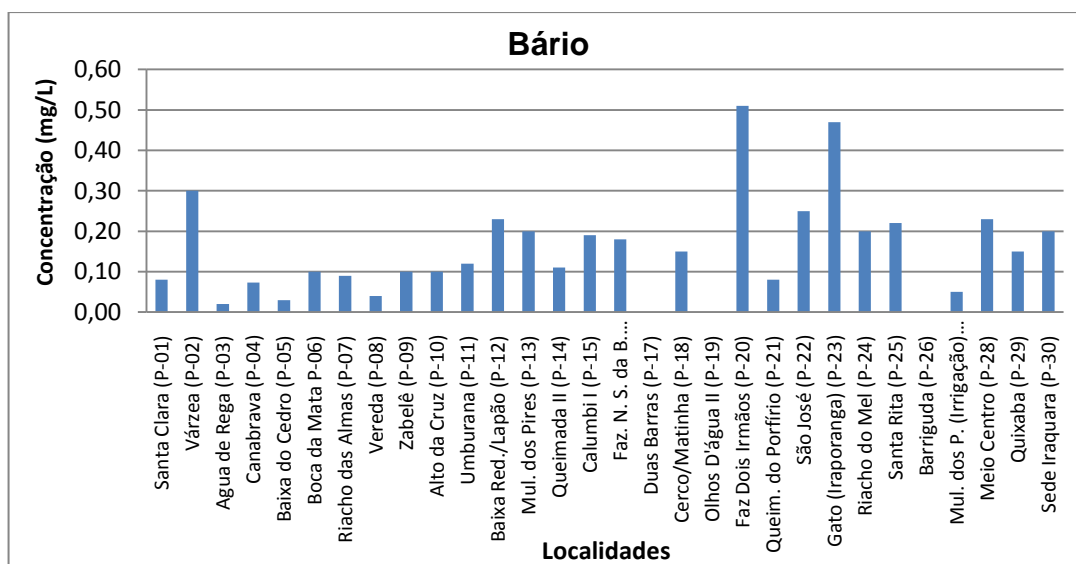


Figura 43 – Valores de Bário nas águas subterrâneas de Iraquara.

O bário não é um elemento essencial para o homem, podendo estar freqüentemente associado à situações de toxicidade. No organismo humano, elevadas concentrações deste elemento causam efeitos nocivos ao coração, no sistema nervoso, constrição dos vasos sanguíneos e elevação da pressão arterial (LIMA, 2010).

Tabela 4 – Análises químicas dos poços tubulares do município de Iraquara.

Poço/Localidade	Poços	UTM X	UTM Y	STD (mg/L)	Tur (UTN)	NO ₃ (mg/L)	SO ₄ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Alc. Total (mg/L)	DUR (mg/L)	pH	Eh [mV]	Tem (°C)	C. E. (µS/cm)	OD	Ca ²⁺ (mg/L)	Ba (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)	K (mg/L)	
Santa Clara	P-01	214003	8651535	334,0	0,10	0,24	184,0	36,8	0,88	29,4	212,1	6,8	-2,0	24,6	754,0	2,7	84,6	<LQM	<LQM	<LQM	29,3	11,9	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	1,16
Várzea	P-02	208533	8651540	137,0	0,10	0,92	2,7	19,3	0,09	15,5	137,0	6,7	4,0	29,3	339,0	3,6	31,6	0,30	<LQM	<LQM	13,9	5,8	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	4,29
Água de Rega	P-03	197724	8652323	13,0	0,20	0,46	1,9	13,3	0,63	2,5	3,0	4,8	120,0	25,0	34,0	5,4	0,3	<LQM	<LQM	1,30	0,4	3,1	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	
Canabrava/Canabrasil	P-04	204556	8647548	118,0	0,20	0,11	2,9	13,3	0,98	14,1	4,0	6,1	35,0	25,4	286,0	6,7	<LQM	<LQM	<LQM	0,27	2,3	4,5	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	1,33
Baixa do Cedro	P-05	208458	8639101	143,0	0,10	0,19	6,1	21,0	<LQM	15,6	138,0	6,9	-5,0	24,8	345,0	4,7	29,7	<LQM	<LQM	<LQM	15,2	7,4	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	4,30
Boca da Mata	P-06	208550	8636815	146,0	0,10	0,20	7,0	22,2	0,31	16,2	128,2	6,5	15,0	26,5	350,0	5,8	27,0	0,10	<LQM	<LQM	14,6	7,5	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	4,04
Riacho das Almas	P-07	204656	8633026	48,0	0,40	0,21	0,9	26,1	0,17	3,3	27,0	5,7	66,0	23,6	122,0	6,3	2,0	<LQM	0,13	0,51	5,6	6,9	0,11	<LQM	<LQM	<LQM	2,88
Vereda	P-08	205721	8635647	40,0	0,40	2,24	0,5	21,8	0,03	<LQM	7,0	5,7	73,0	24,0	103,0	6,4	0,2	<LQM	<LQM	0,60	1,6	9,9	<LQM	0,09	0,05	1,06	
Zabelê	P-09	209983	8632151	302,0	0,10	0,41	86,0	45,5	0,12	36,5	331,3	7,2	-23,0	21,0	845,0	7,7	92,0	0,10	<LQM	<LQM	24,3	18,6	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	2,24
Alto da Cruz	P-10	214505	8630246	308,0	0,10	2,94	111,7	134,5	0,23	8,8	253,0	7,0	-13,0	25,0	737,0	6,3	78,9	0,10	<LQM	<LQM	13,5	19,5	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	9,70
Umburana	P-11	215729	8634517	404,0	0,10	4,30	102,3	120,9	0,40	22,7	306,0	6,8	4,0	25,0	917,0	6,7	86,4	0,12	<LQM	<LQM	21,5	32,6	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	1,69
Baixa Redonda/Lapão	P-12	215986	8637160	218,0	0,15	0,83	12,1	45,5	0,12	22,3	264,3	7,0	-4,0	26,7	517,0	6,2	68,7	0,23	<LQM	<LQM	22,2	11,5	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	4,89
Mulungu dos Pires	P-13	216118	8639224	203,0	0,10	0,16	62,2	24,2	0,59	19,2	201,0	7,0	-14,0	28,5	480,0	5,8	50,8	0,20	<LQM	<LQM	17,8	9,3	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	
Queimada II	P-14	217716	8648781	251,0	0,10	0,38	77,6	41,6	0,24	23,1	246,5	6,8	6,0	25,5	582,0	6,4	64,7	0,11	<LQM	<LQM	20,4	9,0	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	3,90
Calumbi I	P-15	220058	8651148	217,0	0,10	0,41	21,9	30,7	0,31	24,4	68,5	6,5	19,0	25,7	510,0	4,4	<LQM	0,19	<LQM	<LQM	16,5	7,2	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	3,88
Faz. N. S. da Boa Esperança	P-16	223055	8650345	193,0	0,20	0,18	21,5	29,0	0,22	22,2	179,5	6,9	-9,0	24,1	455,0	5,4	46,3	0,18	<LQM	<LQM	15,3	5,7	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	2,81
Duas Barras	P-17	236527	8655292	115,0	0,70	0,20	9,3	45,5	<LQM	7,6	51,5	6,4	24,0	22,7	290,0	3,2	20,7	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	
Cerco/Matinha	P-18	233572	8653529	66,0	0,40	0,30	0,5	47,9	0,15	<LQM	6,5	5,9	48,0	24,1	164,0	6,4	1,3	0,15	<LQM	0,14	0,8	22,5	<LQM	<LQM	0,01	1,69	
Olhos D'água II	P-19	233722	8649520	48,0	0,20	0,31	0,9	39,2	0,06	<LQM	1,0	4,9	111,0	24,0	121,0	4,3	0,4	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	
Faz Dois Irmãos	P-20	224784	8646563	175,0	0,30	0,29	3,3	28,2	0,11	20,4	172,0	6,5	21,0	25,4	408,0	6,7	43,4	0,51	<LQM	<LQM	15,2	7,4	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	4,25
Queimada do Porfírio	P-21	219307	8646404	269,0	0,20	0,70	73,6	48,9	0,16	26,6	286,0	7,0	5,0	25,4	638,0	6,8	80,0	<LQM	<LQM	<LQM	20,6	11,3	<LQM	<LQM	0,02	4,29	
São José	P-22	227889	8647277	85,0	0,10	0,33	0,4	39,7	0,06	6,8	60,5	6,4	29,0	27,1	213,0	5,4	11,8	0,25	0,40	<LQM	7,4	11,0	0,16	<LQM	<LQM	<LQM	4,19
Gato (Iraporanga)	P-23	227531	8642074	118,0	0,10	<LQM	4,1	19,3	0,10	14,7	104,0	6,6	9,0	24,5	289,0	4,4	21,6	0,47	0,11	0,13	12,1	8,2	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	4,68
Riacho do Mel	P-24	229495	8633739	40,0	0,60	0,75	0,8	22,0	<LQM	3,1	13,5	5,8	58,0	25,4	85,0	4,7	0,7	0,20	<LQM	<LQM	3,0	8,7	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	1,68
Santa Rita	P-25	219620	8634594	309,0	0,10	2,85	25,5	105,0	0,15	21,7	211,0	7,1	-12,0	25,8	745,0	5,4	54,5	0,22	<LQM	<LQM	18,0	36,1	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	3,84
Barriguda	P-26	218517	8632342	360,0	0,10	3,22	44,5	145,1	0,05	18,4	206,0	7,1	-14,0	24,6	860,0	6,3	82,5	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	
M. dos Pires (Irrigação)	P-27	216495	8641909	325,0	0,10	0,91	153,3	83,2	0,47	21,6	305,0	6,7	6,0	26,6	748,0	4,6	72,6	<LQM	<LQM	0,13	28,5	21,2	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	3,54
Meio Centro	P-28	220872	8638459	219,0	0,10	1,09	23,3	40,1	0,10	23,7	194,9	6,8	2,0	26,6	521,0	4,7	51,4	0,23	<LQM	<LQM	16,0	10,4	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	4,25
Quixaba	P-29	219643	8643411	704,0	0,10	5,90	103,3	298,4	0,35	31,3	507,7	6,8	5,0	25,1	1634,0	5,3	130,6	0,15	<LQM	<LQM	41,8	60,7	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	1,47
Sede Iraquara	P-30	214991	8644320	245,0	0,10	0,93	41,9	42,6	0,08	24,2	238,2	6,7	9,0	25,8	565,0	6,1	58,7	0,20	<LQM	<LQM	20,6	10,5	<LQM	<LQM	<LQM	<LQM	4,30

Tabela 5: Dados hidrogeológicos dos poços analisados no município de Iraquara. Fonte: Banco de dados CERB.

LOCALIDADES	POÇOS	COD. CERB/CPRM	UTM X	UTM Y	PROF. (m)	Q (m ³ /h)	NE	ND	COTA	LITOLOGIA	USO DA ÁGUA
Santa Clara	P-01	1_5520	214003	8651535	200,0	6,9	112,9	113,3	771,0	Calcário	Abastecimento doméstico
Várzea	P-02	1_4120	208533	8651540	31,0	7,5	12,5	19,5	666,0	Calcário	Abastecimento doméstico
Água de Rega	P-03	BA 2840	197724	8652323	32,0	9,0	13,0	15,0	805,0	Quartzito/Metarenito	Abastecimento doméstico
Canabrava/Canabrazil	P-04	1_2613	204556	8647548	47,0	8,4	19,7	26,9	687,0	Quartzito/Metarenito	Abastecimento doméstico
Baixa do Cedro	P-05	BA 6234	208458	8639101	176,0	7,2	87,3	88,6	731,0	Calcário	Abastecimento doméstico
Boca da Mata	P-06	BA 6222	208550	8636815	124,0	10,5	93,5	106,0	738,0	Calcário	Abastecimento doméstico
Riacho das Almas	P-07	2_1663	204656	8633026	32,0	10,0	13,0	15,0	815,0	Quartzito/Metarenito	Abastecimento doméstico
Vereda	P-08	2_1666	205721	8635647	123,0	6,4	51,0	67,5	752,0	Quartzito/Metarenito	Abastecimento doméstico
Zabelê	P-09	BA 6215	209983	8632151	110,0	8,8	8,1	14,7	686,0	Calcário	Abastecimento doméstico
Alto da Cruz	P-10		214505	8630246	102,0	7,3	8,7		738,0	Calcário	Abastecimento doméstico
Umburana	P-11		215729	8634517	95,0	7,0	62,0	68,0	724,0	Calcário	Abastecimento doméstico
Baixa Redonda/Lapão	P-12	3_996	215986	8637160	101,0	49,5	13,9	17,2	660,0	Calcário	Abastecimento doméstico
Mulungu dos Pires	P-13	BA 0006	216118	8639224	71,5	6,6	55,4	56,1	647,0	Calcário	Abastecimento doméstico
Queimada II	P-14	BA 6211	217716	8648781	100,0	12,8	73,6	76,4	723,0	Calcário	Abastecimento doméstico
Calumbi I	P-15	BA 6223	220058	8651148	86,0	10,3	65,4	77,7	720,0	Calcário	Abastecimento doméstico
Faz. N. S. da Boa Esperança	P-16		223055	8650345	180,0	18,0	74,0	75,4	731,0	Calcário	Irrigação
Duas Barras	P-17		236527	8655292	85,0	7,0	56,4		878,0	Quartzito/Metarenito	Abastecimento doméstico
Cerco/Matinha	P-18	BA 6236	233572	8653529	120,0	4,6	4,8	20,7	799,0	Quartzito/Metarenito	Abastecimento doméstico
Olhos D'água II	P-19	BA 6233	233722	8649520	79,0	4,5	39,5	42,4	935,0	Quartzito/Metarenito	Abastecimento doméstico
Faz Dois Irmãos	P-20	1_2393	224784	8646563	100,0	6,6	48,3		732,0	Calcário	Irrigação
Queimada do Porfírio	P-21	BA 62 13	219307	8646404	110,0	8,6	57,4	58,7	717,0	Calcário	Abastecimento doméstico
São José	P-22	BA 6205	227889	8647277	120,5	6,9	47,7	52,6	685,0	Quartzito/Metarenito	Abastecimento doméstico
Gato (Iraporanga)	P-23	BA 6239	227531	8642074	180,0	1,3	10,5	72,7	671,0	Quartzito/Metarenito	Abastecimento doméstico
Riacho do Mel	P-24	BA 6302	229495	8633739	50,0	4,6	0,5	40,0	643,0	Quartzito/Metarenito	Abastecimento doméstico
Santa Rita	P-25	BA 6221	219620	8634594	100,0	6,6	48,3		685,0	Calcário	Abastecimento doméstico
Barriguda	P-26	BA 6226	218517	8632342	155,0	4,9	66,5		155,0	Calcário	Abastecimento doméstico
M. dos Pires (Irrigação)	P-27	1_6834	216495	8641909	150,0	5,2	58,8	59,5	697,0	Calcário	Irrigação
Meio Centro	P-28		220872	8638459	120,0	4,7	57,0		709,0	Calcário	Abastecimento doméstico
Quixaba	P-29	DD489	219643	8643411	80,0	7,9	54,5		708,0	Calcário	Irrigação
Sede Iraquara	P-30	3_998	214991	8644320	75,0	20,0	25,0	50,0	677,0	Calcário	Abastecimento doméstico

Tabela 6 – Matriz de correlação estatística.

	STD	Turbidez	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	Alc. Total	Dureza	pH	Eh	Temp. °C	C. E.	OD	Ca ²⁺	Ba	Mn	Fe	Mg ²⁺	Na	Zn	Cu	Pb	K
STD	1																						
Turbidez	-0,49	1																					
NO₃⁻	0,74	-0,20	1,00																				
SO₄²⁻	0,72	-0,39	0,36	1,00																			
Cl⁻	0,85	-0,23	0,90	0,47	1,00																		
F⁻	0,19	-0,27	-0,04	0,45	0,01	1,00																	
Alc. Total	0,75	-0,59	0,22	0,58	0,32	0,21	1,00																
Dureza	0,91	-0,54	0,57	0,71	0,68	0,07	0,82	1,00															
pH	0,65	-0,48	0,25	0,47	0,32	-0,06	0,78	0,74	1,00														
Eh	-0,63	0,48	-0,22	-0,46	-0,30	0,02	-0,76	-0,70	-0,99	1,00													
Temp.	0,02	-0,40	0,00	-0,04	-0,07	0,16	0,07	0,08	0,19	-0,18	1,00												
C. E.	1,00	-0,49	0,73	0,71	0,84	0,17	0,77	0,92	0,67	-0,64	-0,01	1,00											
OD	0,04	-0,07	0,15	-0,07	0,05	0,03	0,05	0,14	0,09	-0,05	-0,15	0,07	1,00										
Ca²⁺	0,91	-0,49	0,59	0,77	0,69	0,11	0,78	0,97	0,73	-0,70	0,00	0,92	0,12	1,00									
Ba	-0,05	-0,13	-0,10	-0,30	-0,13	-0,26	0,15	0,06	0,22	-0,23	0,37	-0,06	0,01	-0,05	1,00								
Mn	-0,27	-0,04	-0,16	-0,24	-0,13	-0,14	-0,28	-0,26	-0,12	0,13	0,14	-0,26	-0,03	-0,28	0,24	1,00							
Fe	-0,42	0,21	-0,08	-0,26	-0,22	0,27	-0,49	-0,44	-0,68	0,69	-0,15	-0,42	0,14	-0,43	-0,24	0,05	1,00						
Mg²⁺	0,72	-0,52	0,41	0,43	0,51	-0,02	0,72	0,85	0,60	-0,57	0,23	0,73	0,16	0,69	0,27	-0,17	-0,37	1,00					
Na	0,70	-0,22	0,76	0,35	0,79	0,02	0,33	0,64	0,29	-0,27	0,01	0,70	0,21	0,54	0,11	-0,07	-0,15	0,69	1,00				
Zn	-0,16	-0,11	-0,12	-0,10	-0,05	-0,08	-0,22	-0,10	-0,05	0,06	0,20	-0,17	0,08	-0,18	0,20	0,84	0,10	0,08	0,06	1,00			
Cu	-0,23	0,28	0,14	-0,15	-0,10	-0,20	-0,35	-0,24	-0,25	0,30	-0,15	-0,23	0,37	-0,23	-0,15	0,05	0,29	-0,22	0,04	-0,01	1,00		
Pb	-0,20	0,29	0,09	-0,11	-0,11	-0,18	-0,26	-0,18	-0,19	0,26	-0,16	-0,20	0,38	-0,16	-0,19	-0,05	0,28	-0,18	0,00	-0,10	0,95	1,00	
K	0,08	-0,35	0,01	0,02	0,02	-0,29	0,14	0,24	0,40	-0,38	0,27	0,08	0,08	0,15	0,42	0,14	-0,24	0,39	0,14	0,29	-0,14	-0,11	1

4.4 CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA

A classificação hidroquímica das águas subterrâneas de Iraquara resultou da coleta e análise em 30 poços tubulares distribuídos sobre a superfície territorial do município. Do total de poços amostrados, 10 estão localizados em zonas de contato dos calcários com os quartzitos Chapada Diamantina, estando os demais (20 poços) distribuídos sobre os carbonatos do Grupo Uma (Tabela 5).

4.4.1 *Classificação das águas subterrâneas*

Para a classificação hidroquímica das águas subterrâneas de Iraquara foram utilizados os valores dos cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) e dos ânions (CO_3 , HCO_3 , Cl^- e SO_4^{2-}), dispostos no diagrama triangular de Piper (1944).

A interpretação geral do diagrama permite classificar essas águas como sendo, predominantemente, cloretadas cálcicas, sulfatadas ou magnesianas (86,7%) e, secundariamente, sulfatadas ou cloretadas sódicas (13,3%) (Figura 44).

Analisando separadamente as águas armazenadas nos quartzitos Chapada Diamantina, observa-se que do total de 10 amostras, 5 estão associadas ao campo das águas classificadas como cloretadas cálcicas ou mistas (P-02, P-07, P-17, P-19 e P-22) e 5 podem ser classificadas como cloretadas sódicas (P-03, P-04, P-08, P-18 e P-24) (Figura 45).

Para as águas retiradas dos poços localizados sobre os carbonatos do Grupo Uma, evidencia-se que todas as 20 amostras estão plotadas no campo das águas classificadas como sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas (100%) (Figura 46).

A análise dos resultados a partir da classificação geral das águas do município, com a classificação específica para as águas dos quartzitos e dos carbonatos, permite traçar algumas observações:

Os resultados evidenciam o caráter dominante de águas cloretadas sódicas para os poços localizados sobre os quartzitos, em oposição ao caráter cálcico ou misto das águas dos carbonatos. Observa-se claramente diferenças na composição dessas águas, principalmente em relação aos baixos teores de sais

dissolvidos nas águas armazenadas nos quartzitos, em relação às águas dos cársticos.

Esta tendência se reflete através de um balanceamento hidroquímico das águas subterrâneas de Iraquara. Este fato beneficia o município, seja através da mistura de águas com distintas mineralizações, ou mesmo através do aumento na recarga do aquífero.

Tal comportamento está subordinado, sobretudo, aos fatores geológicos e hidrogeológicos, destacando-se a composição química das rochas, as condições locais de recarga, e a circulação subterrânea.

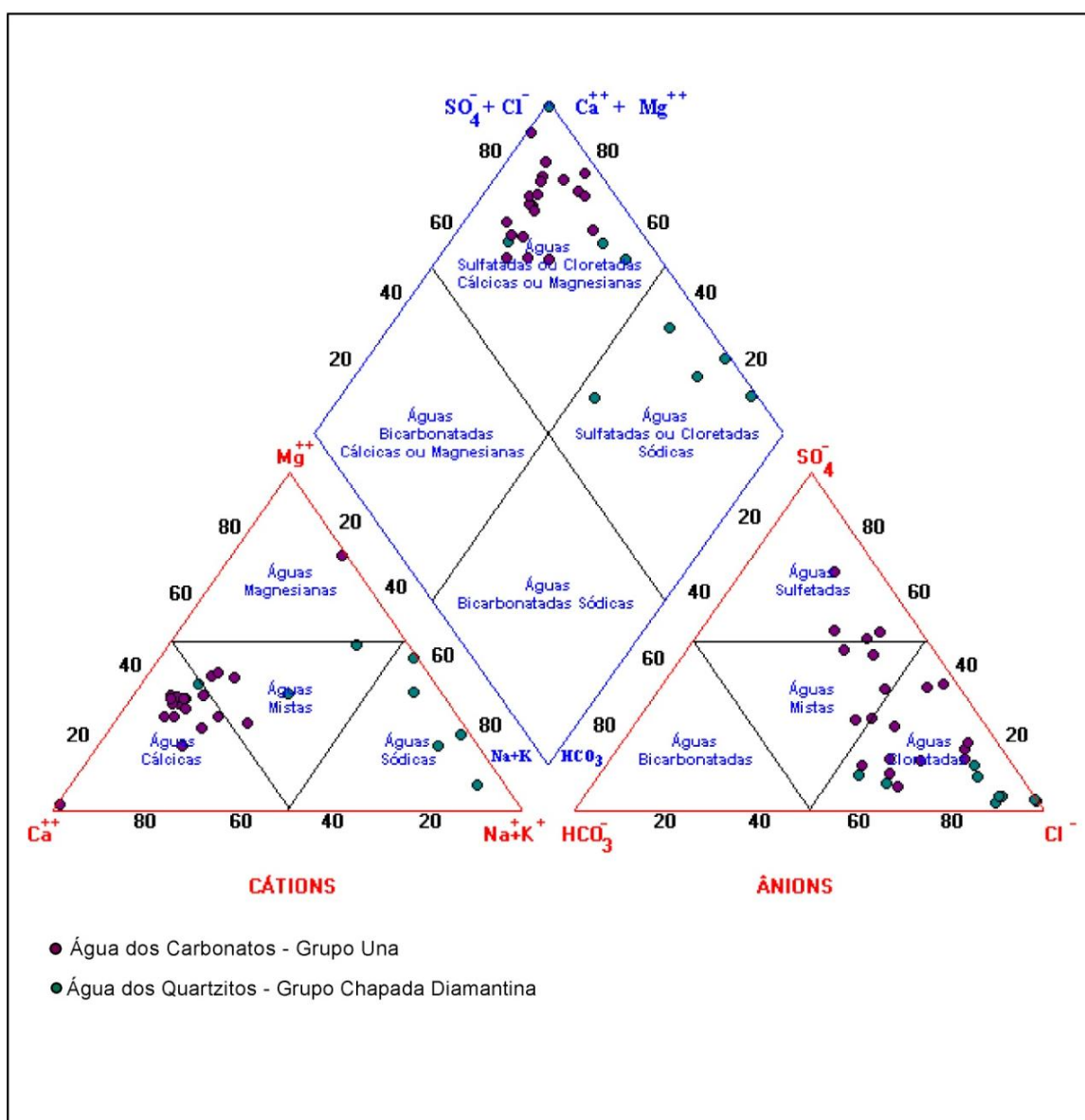


Figura 44 – Diagrama de Piper com a caracterização hidroquímica das águas subterrâneas de Iraquara.

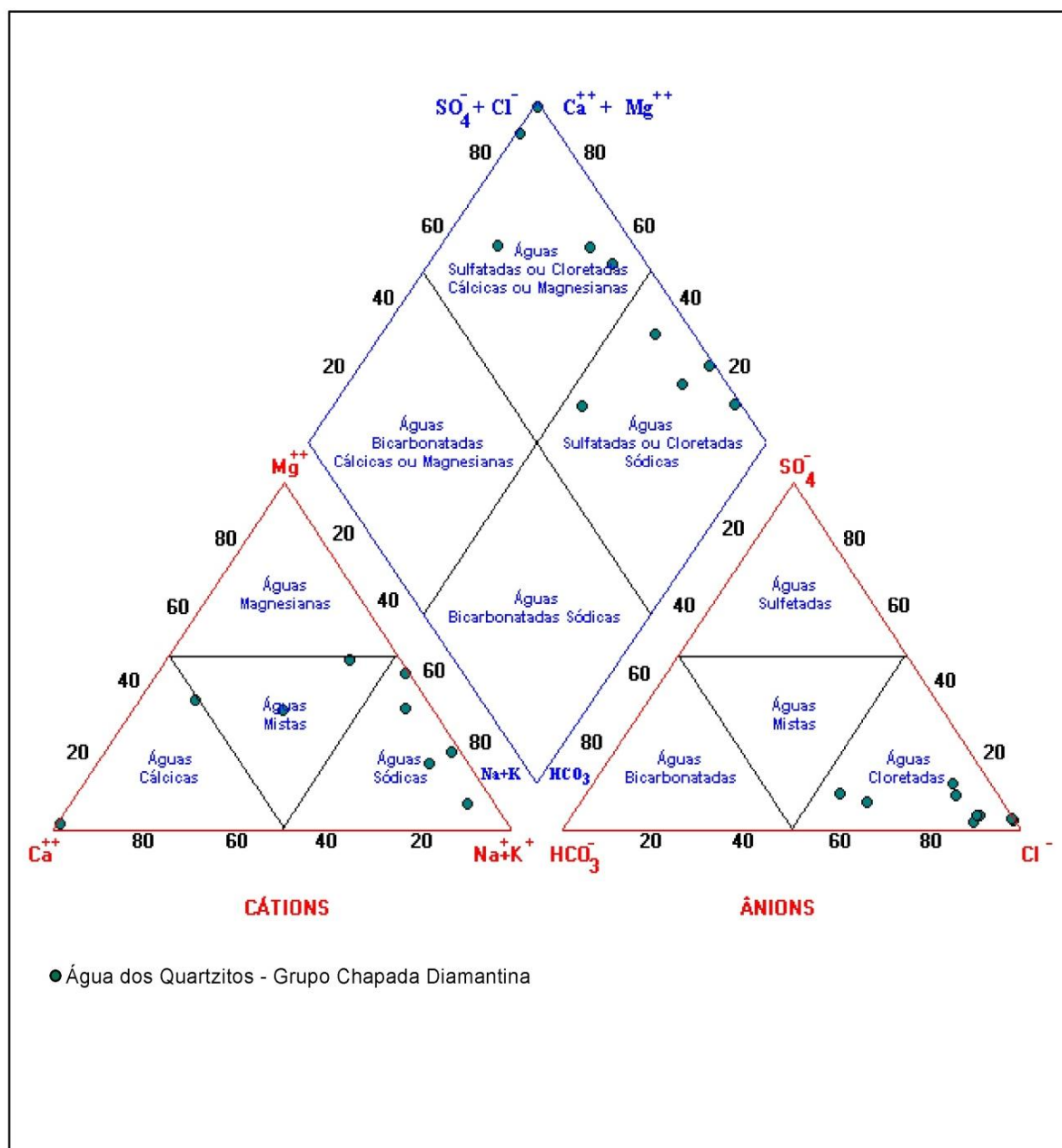


Figura 45 – Caracterização hidroquímica das águas subterrâneas armazenadas nos quartzitos Chapada Diamantina, localizados em Iraquara.

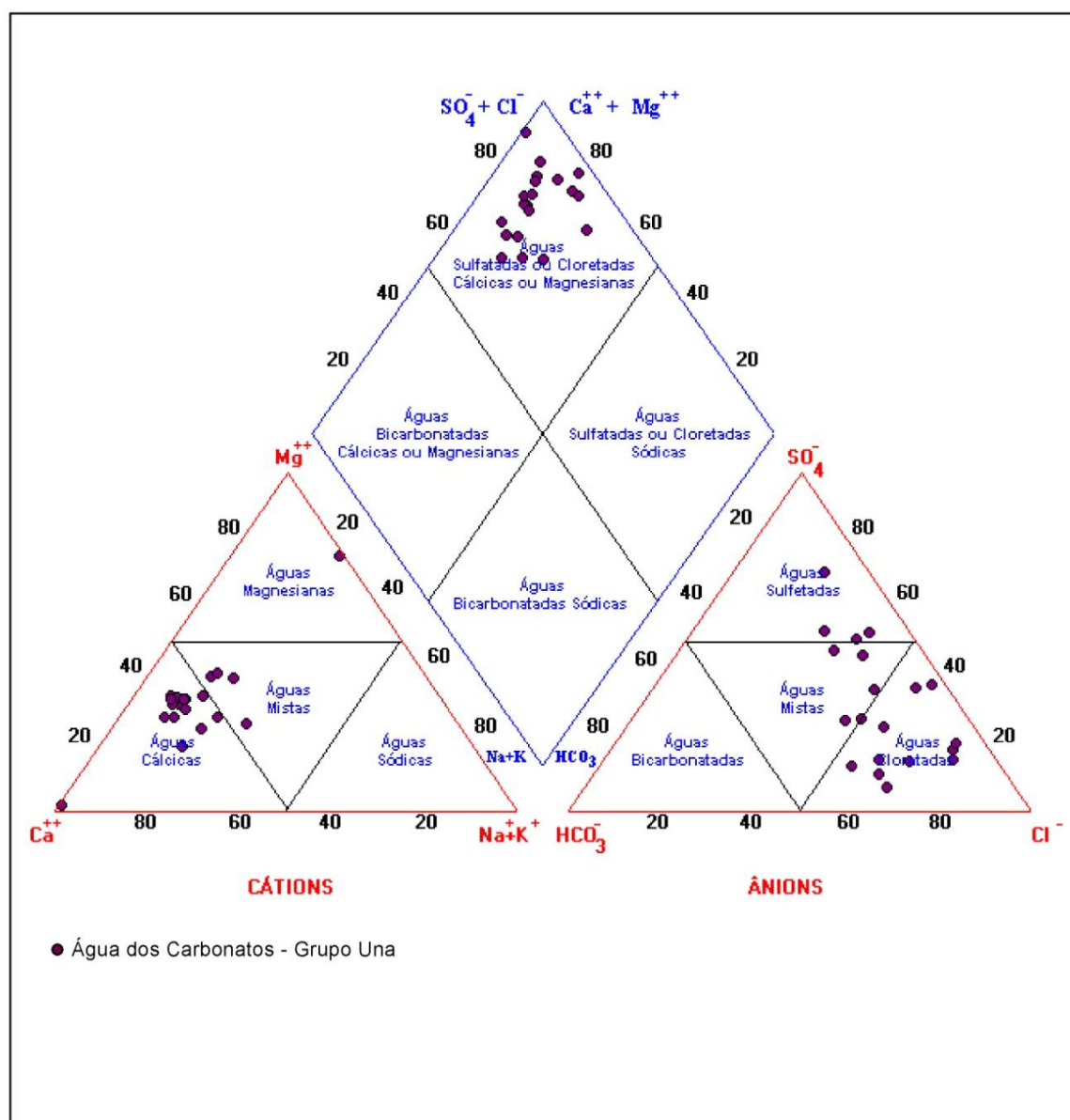


Figura 46 - Caracterização hidroquímica das águas subterrâneas armazenadas nos carbonatos do Grupo Una, localizados em Iraquara.

4.4.2 Qualidade das águas subterrâneas para consumo humano

As águas geralmente são consideradas potáveis quando podem ser consumidas pelo ser humano, sem ocasionar prejuízos à sua saúde (NASCIMENTO, 2008). Nesse sentido, o conhecimento das propriedades físicas, químicas e bacteriológicas são fundamentais. Para este trabalho, os aspectos bacteriológicos não foram pesquisados.

Comparando os dados obtidos nos poços investigados com os limites estabelecidos pela Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde, verifica-se que

mesmo na condição de água *in natura*, de forma geral, a maioria dos poços enquadra-se dentro do limite estabelecido para águas potáveis (Tabela 7).

De modo geral, das 23 variáveis analisadas, incluindo aquelas medidas em campo (Capítulo 2), apenas os valores de **cloreto** (3,3% dos pontos amostrados), **dureza** (3,3%), **ferro total** (10%), **manganês** (10%) e **chumbo** (10%) apresentaram teores acima do limite legislado. Todas as outras variáveis analisadas na água subterrânea apresentam valores normais de potabilidade segundo os padrões de qualidade utilizados, não contribuindo para a contaminação da água.

Tabela 7 – Padrão de potabilidade de água para consumo humano conforme a Portaria nº 518/04.

Parâmetro	Valores máximos na área de estudo	VMP pela Portaria 518/04 MS	Unidade
STD	704,0	1000	mg/L
CE	1634,0	*	µS/cm
pH	7,2	*	
Eh	120,0	*	mV
Turbidez	0,7	5	UT
Temperatura	29,3	*	°C
Cloretos	298,4	250	mg/L
Sulfatos	184,0	250	mg/L
Cálcio	130,5	*	mg/L
Magnésio	41,7	*	mg/L
Sódio	60,9	200	mg/L
Potássio	9,7	*	mg/L
OD	7,8	*	
Alcalinidade Total	36,5	*	mg/L
Dureza Total	507,7	500	mg/L
Nitrato	5,9	10	mg/L
Ferro Total	1,3	0,3	mg/L
Manganês	0,4	0,1	mg/L
Zinco	0,4	5,0	mg/L
Cobre	0,09	2,0	mg/L
Fluoreto	0,98	1,5	mg/L
Chumbo	0,5	0,01	mg/L
Bário	0,51	0,7	mg/L

* Valores sem referência.

Os maiores valores de cloreto e dureza foram encontrados no poço Quixaba (P-29), com teores de 298,4 mg/L e 507,7 mg/L respectivamente. Lembrando que altos teores de cloreto e dureza na água potável afetarão de maneira adversa o seu sabor, o consumo de sabão, ou restringirá o seu uso

industrial. Porém, provavelmente, não afetará a saúde do homem. Contudo, tais restrições não se aplicam ao poço Quixaba, uma vez que este atualmente é utilizado apenas para irrigação, estando sujeito a outras implicações descritas posteriormente.

As maiores ocorrências de ferro total nas águas utilizada para abastecimento doméstico, estão presentes nos poços Riacho das Almas (0,5 mg/L), Vereda (0,6 mg/L) e Água de Rega (1,3 mg/L). Já os maiores valores de manganês foram encontrados nos poços Riacho das Almas (0,13 mg/L), Gato (0,11 mg/L) e São José (0,4 mg/L). Tanto o ferro como o manganês, encontrados na água de consumo, podem causar alguns inconvenientes como sabor desagradável (metálico) à água ou manchas nas roupas e louças sanitárias, não oferecendo sérios riscos à saúde pública para as concentrações identificadas.

Dentre os metais pesados identificados nas águas subterrâneas de Iraquara, o chumbo é seguramente aquele que apresenta os maiores riscos à saúde. A ocorrência de chumbo foi identificada nos poços Cerco/Matinha (0,01 mg/L), Queimada do Porfírio (0,02 mg/L) e Vereda (0,05 mg/L). O chumbo não é um elemento essencial ao homem, pelo contrário, é um tóxico cumulativo, apresentando elevada toxicidade aguda e crônica, podendo danificar as conexões nervosas e causar desordens no sangue e no cérebro, especialmente em crianças (FRIZZO, 2006).

A não identificação de possíveis fontes de contaminação (indústrias ou postos de combustíveis) que justifiquem a ocorrência e/ou dispersão dos teores de chumbo na área de estudo, reforça a hipótese outrora levantada, da influência de zonas mineralizadas de chumbo (anomalias) como fontes naturais de contaminação das águas subterrâneas.

4.4.3 Qualidade das águas subterrâneas para irrigação

A qualidade da água para irrigação depende tanto dos seus constituintes químicos quanto dos efeitos destes sobre a cultura e o solo cultivado. Além disso, fatores como a natureza do solo, o clima, o tipo de cultura, o método de irrigação e as condições locais de drenagem, devem ser considerados para se estabelecer o uso da água e o risco de salinização do solo.

Neste estudo, os parâmetros utilizados para se estabelecer a qualidade da água subterrânea para irrigação foram a razão de adsorção de sódio (RAS) e a condutividade elétrica, identificados através do Diagrama SAR, adotado pelo U.S. Salinity Laboratory (Figura 47). Para tanto, utilizou-se o *software* Qualigraf (MOBUS, 2003).

A classificação da água para irrigação segundo o U.S. Salinity Laboratory (USSL, 1954), indica que existe uma predominância das classes **C₂-S₁** (63,0%), evidenciando um baixo risco de sódio e médio risco de salinidade, seguido de **C₃-S₁** (14,8%), indicando baixo risco de sódio e alto risco de salinidade, **C₁-S₁** (14,8%) baixo risco de sódio e baixo risco de salinidade e **C₀-S₁** (7,4%), refletindo baixo risco de sódio e risco de salinidade nulo (Tabelas 8 e 9).

Tabela 8 – Classificação das águas segundo o U.S. Salinity Laboratory.

Classe	Risco de sódio	Classe	Risco de salinidade
S ₁	Baixo	C ₀	Nulo
S ₂	Médio	C ₁	Baixo
S ₃	Alto	C ₂	Médio
S ₄	Muito alto	C ₃	Alto
		C ₄	Muito alto
		C ₅	Excepcionalmente alto

Tabela 9 – Classificação do U.S. Salinity Laboratory para 27 poços analisados no município de Iraquara.

Classificação	Nº de amostras	%
C ₂ -S ₁	17	63,0
C ₃ -S ₁	4	14,8
C ₁ -S ₁	4	14,8
C ₀ -S ₁	2	7,4
Total	27	100

De maneira geral, as águas subterrâneas de Iraquara possuem baixos teores de sódio e média salinidade, podendo ser utilizadas para irrigar solos moderadamente permeáveis. Em contrapartida, as amostras dos poços Zabelê (P-09), Umburana (P-11), Barriguda (P-26) e Quixaba (P-29) pertencentes à classe **C₃-S₁** possuem alta salinidade, não podendo ser utilizadas para irrigar solos com drenagem deficiente. Particularmente para o poço Quixaba, a situação

se torna agravante, uma vez que esta água é utilizada exclusivamente para a rega de culturas de ciclo curto, como tomate, cebola, pimentão e cenoura, aumentando seriamente o risco de salinização do solo.

Como era de se esperar, as águas pertencentes à classe C_1-S_1 localizam-se nos poços locados sobre os quartzitos, possuindo, conseqüentemente, baixas salinidades, podendo ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas e solos. Reforçando esta análise, observa-se que apenas 27 poços puderam ser utilizados para a classificação das águas para irrigação, uma vez que os poços Duas Barras (P-17), Olhos D'Água II (P-19) e Barriguda (P-26), apresentaram valores nulos para sódio e salinidade, ficando fora do domínio do diagrama.

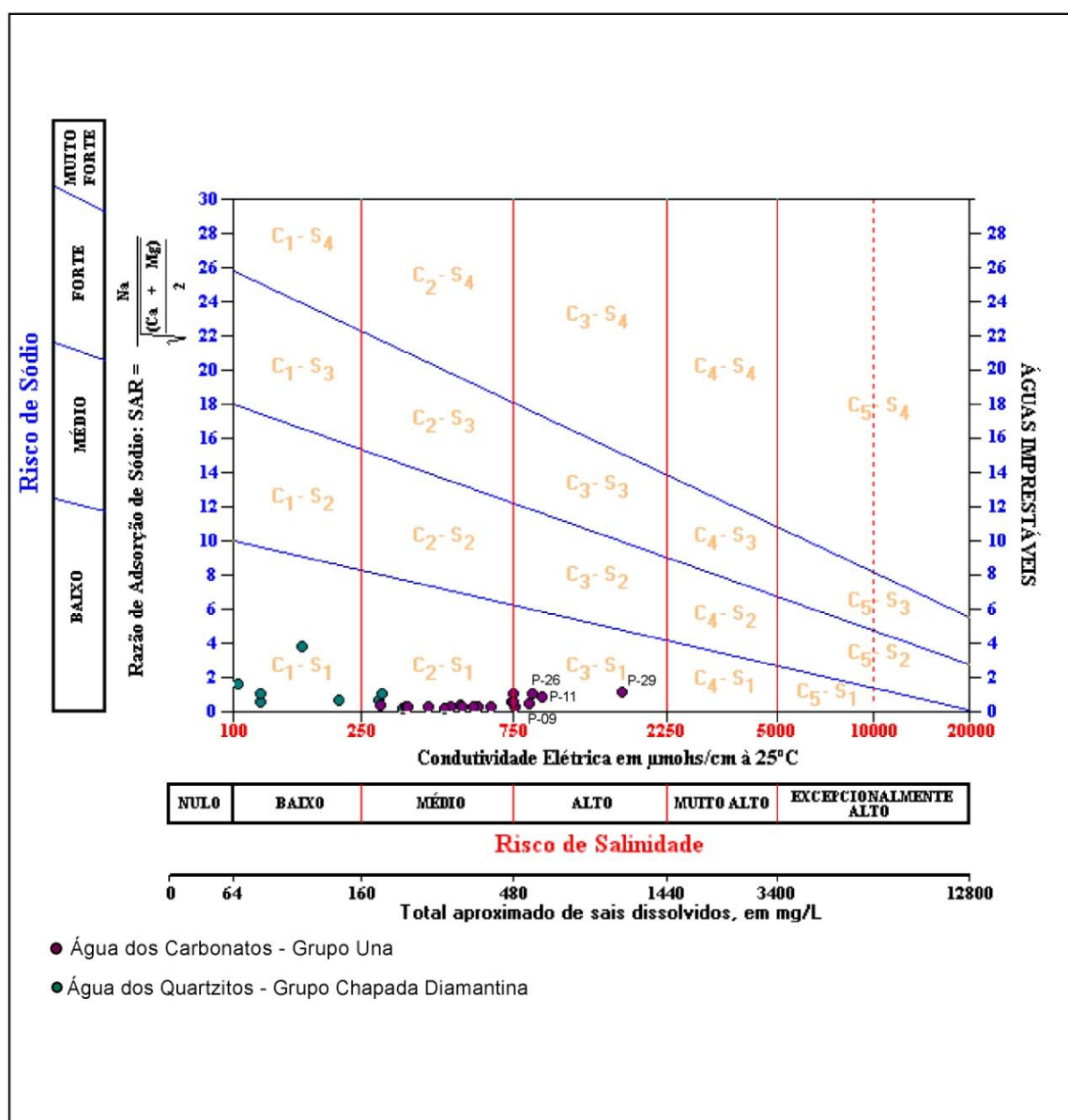


Figura 47 – Classificação das águas subterrâneas de Iraquara para agricultura (U.S.S.L., 1954).

5 DISCUSSÃO

A interação química da água de percolação com os minerais da rocha se apresenta como um dos fatores determinantes para a ocorrência dos diferentes tipos de constituintes químicos nas águas subterrâneas. Além disso, fatores externos ao aquífero, tais como a ocorrência de atividades antrópicas poluentes, podem exercer influência significativa no comportamento hidroquímico das águas, afetando, conseqüentemente, a sua qualidade para consumo.

De forma geral, a maioria das águas analisadas estão de acordo com os limites estabelecidos pela Portaria nº 518/04, do Ministério da Saúde. Dentre os parâmetros pesquisados, apenas os valores de Cloreto, Dureza, Ferro Total, Manganês e Chumbo se apresentaram em desacordo com os padrões legislados para águas potáveis em alguns pontos amostrados.

O maior teor de cloreto foi identificado no poço Quixaba (P-29). Além disso, neste mesmo poço foi encontrado o mais alto valor de nitrato analisado nas águas subterrâneas de Iraquara. As observações de campo e uma análise da correlação estatística destes parâmetros permitem concluir que ambos os elementos estão relacionados com o processo de contaminação antrópica, particularmente por afluentes domésticos, lançados em fossas sem qualquer tratamento prévio.

Os maiores valores de ferro total foram identificados nos poços Água de Rega (P-03), Riacho das Almas (P-07) e Vereda (P-08). Todos esses poços encontram-se localizados em litologias não-carbonáticas, áreas ricas em matéria orgânica e próximas a leitos fluviais, tornando-se ambientes potencialmente propícios à acidificação natural das águas. Não por acaso, nessas águas foram observados os menores valores de pH, possuindo, conseqüentemente, maior poder para oxidar as tubulações metálicas ou solubilizar os minerais ferromagnesianos.

Os maiores valores de manganês estão localizados nos poços Riacho das Almas (P-07), Gato (bairro de Iraporanga) (P-23) e São José (P-22). Particularmente na região de São José e Iraporanga foram identificados sulfetos metálicos de chumbo, zinco e manganês (SOUZA et al., 1993). Dessa forma, a maior ocorrência de manganês nessas águas, provavelmente, estará relacionada à contaminação natural da água subterrânea.

Além disso, relatos de alguns moradores da localidade de São José², atentam para o fato da existência de uma coloração escura e gosto metálico da água, principalmente no início do bombeio do poço. Tal fato evidencia a presença do manganês solubilizado na água de consumo, descartando uma possível contaminação da amostra em laboratório.

O chumbo foi encontrado nos poços Cerco/Matinha (P-18), Queimada do Porfírio (P-21) e Vereda (P-08). Assim como os teores de manganês, os maiores valores de chumbo identificados na água subterrânea estão relacionados à existência de sulfetos metálicos, particularmente a galena, disseminada nas rochas carbonáticas. Tais evidências reforçam a premissa de influência de anomalias geoquímicas como agentes comprometedores da qualidade natural das águas subterrâneas pesquisadas em algumas localidades.

A caracterização hidroquímica das águas de Iraquara evidencia um caráter de natureza, predominantemente, sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas. Analisando-se separadamente as águas dos quartzitos e dos carbonatos, observa-se que as primeiras variaram sua classificação, para cloretadas cálcicas ou mistas e cloretadas sódicas. Em contrapartida, todas as amostras oriundas dos carbonatos classificam-se como sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas.

Tais variações se refletem através da caracterização das águas quanto à dureza (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983). O resultado da classificação mostra que 44% das águas classificam-se como “muito duras”, seguindo de 23% de “águas duras”, 23% “pouco duras” e 10% “brandas”. Como era de se esperar, todos os poços localizados sobre os carbonatos apresentaram os maiores teores de dureza (reflexo da dissolução do carste), valores estes inversamente proporcionais para os poços localizados em litologias siliclástica.

Realizando a classificação das águas subterrâneas para irrigação, observa-se que de forma geral as águas analisadas classificam-se como sendo de baixo risco de sódio e médio risco de salinidade. Novamente as águas dos quartzitos se destacam por apresentarem baixa salinidade, podendo ser usadas para irrigar todos os tipos de solo.

² Informação verbal.

Com relação às águas armazenadas nos carbonatos, pode ser observada uma predominância de águas com baixo risco de sódio e médio risco de salinidade. Merece destaque os poços Zabelê (P-09), Umburana (P-11), Barriguda (P-26) e Quixaba (P-29), uma vez que os mesmos apresentaram baixo risco de sódio e alto risco de salinidade, impondo restrições à irrigação de solos com drenagem deficiente.

A interpretação dos resultados permite concluir que, particularmente os quatro últimos poços mencionados, apresentam-se com altos riscos de salinização do solo, caso se utilize de suas águas para irrigação. A situação se torna agravante especialmente no poço Quixaba (P-29), uma vez que este é aproveitado exclusivamente para irrigação. Entretanto, sabe-se que tal processo poderá ser minimizado através do emprego de técnicas de irrigação baseadas no uso racional da água, a exemplo do sistema de gotejamento.

Com relação aos aspectos hidrogeológicos, observa-se que os altos potenciométricos da área em estudo estão localizados nas serras quartzíticas da Chapada Diamantina. A partir desses altos, as drenagens superficiais e subterrâneas fluem em direção aos carbonatos, particularmente para as regiões centro-sul e leste do município, coincidindo com a direção dos Riachos Água de Rega e do Gado.

O resultado é um balanceamento hidroquímico das águas subterrâneas de Iraquara, tornando esse aquífero singular com relação ao seu potencial e qualidade, facilitada naturalmente pelas melhores condições de armazenamento e recarga.

Além disso, tais aspectos favorecem o entendimento de algumas observações levantadas anteriormente por Guerra (1986), Negrão (1987) e Valle (2004), acerca do grau de desenvolvimento do carste em escala regional e local. Nesse sentido, a ocorrência de um maior grau de desenvolvimento (maturidade) do aquífero cárstico na porção Sul da Bacia de Irecê, estaria condicionado não apenas a fatores climáticos, mas também à sua proximidade com as zonas de contato topográfico com as litologias siliclásticas da Chapada Diamantina. Estas zonas se caracterizam como altos potenciométricos para as águas subterrâneas, direcionando-as no sentido dos carbonatos. O resultado é a existência de extensas redes de condutos (cavernas) particularmente na área estudada.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

A água subterrânea é um recurso natural fundamental e estratégico para o município de Iraquara, devendo, portanto, ser tratada como um bem coletivo, onde a conservação de sua qualidade estará diretamente relacionada à saúde e bem estar de toda a população.

O estudo qualitativo destas águas mostrou que de forma geral, este recurso possui boa característica hidroquímica para a maioria dos parâmetros amostrados, com algumas ressalvas específicas, no que diz respeito à sua qualidade para abastecimento doméstico.

Em contrapartida, fica evidente a relação de algumas mineralizações sulfetadas, dispostas em áreas específicas do município, com o comprometimento da qualidade de suas águas subterrâneas. Os resultados mostraram que alguns poços localizados sobre a área de influência dessas anomalias geoquímicas apresentaram altos teores de elementos como manganês e chumbo.

Tanto o manganês como o chumbo não são elementos essenciais à saúde humana. A presença desses metais na água de consumo pode provocar desde pequenos transtornos como a formação de manchas nas roupas e louças sanitárias, ou sabor desagradável à água, até sérios problemas de saúde, como intoxicações crônicas. Estudos revelam que o chumbo se comporta como um tóxico cumulativo no organismo humano, podendo causar doenças neurológicas e sanguíneas.

A contaminação orgânica foi identificada através da ocorrência de nitrato, existente em concentrações de alerta para alguns poços amostrados. Além disso, tais valores mostraram-se diretamente relacionados à contaminação antrópica, particularmente através do lançamento de efluentes domésticos em fossas construídas em desacordo com os critérios técnicos.

Sendo assim, o presente estudo possibilitou além da elaboração de um diagnóstico acerca da qualidade das águas subterrâneas de Iraquara, a realização de um mapeamento das condições hidrogeoquímicas locais do aquífero.

Estas informações se apresentam como ferramentas importantes para o desenvolvimento de políticas de uso e controle da qualidade das águas subterrâneas. Ademais, oferece subsídios para a elaboração de um Plano Municipal de Gestão dos Recursos Hídricos, seja através da delimitação de áreas estratégicas para o abastecimento hídrico municipal, seja a partir da identificação das principais fontes de contaminação das águas subterrâneas de Iraquara.

Nesse sentido, acredita-se que o presente estudo atingiu os objetivos propostos inicialmente e que seus resultados possibilitaram o estabelecimento de um diagnóstico da qualidade das águas subterrâneas pesquisadas. Em fim, o sistema aquífero cárstico-fissural da porção sul da Bacia de Irecê, região de Iraquara, se apresenta como importante e estratégico recurso natural, devendo ser explorado de forma sustentável para assegurar uma água com qualidade e quantidade às futuras gerações.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Considerando o papel das águas subterrâneas no abastecimento público municipal, a elaboração de um programa de gerenciamento, monitoramento e controle da utilização dos recursos hídricos subterrâneos, torna-se de fundamental importância na percepção dos danos ambientais e proteção do aquífero, sendo sugeridas as seguintes recomendações:

- a) A ausência de rede de esgotamento sanitário no município deve ser considerada. Este problema pode afetar a qualidade das águas subterrâneas e conseqüentemente a saúde da população;
- b) Pesquisas posteriores devem considerar, além dos parâmetros hidroquímicos, a ocorrência de contaminação microbiológica, a exemplo dos coliformes totais e termotolerantes;
- c) Um estudo mais aprofundado sobre a presença dos sulfetos metálicos de chumbo, zinco, manganês, dentre outros, nas águas subterrâneas, possibilitará um melhor controle sobre o seu uso pela população local;
- d) Torna-se importante uma avaliação da mobilidade dos metais pesados identificados nas águas de Iraquara, sobretudo, cobre, chumbo e manganês,

além da espécie química nitrato, uma vez que o grau de desenvolvimento do carste local poderá facilitar a dispersão dessas substâncias;

- e) Cuidados especiais devem ser tomados para os poços Cerco/Matinha, Queimada do Porfírio, Vereda, Riacho das Almas, Gato e São José, onde foram encontrados teores de chumbo e manganês superiores ao limite estabelecido pela legislação. Para tanto, torna-se fundamental um monitoramento acerca da presença desses metais na água de consumo;
- f) Restrições de atividades agrícolas e industriais nos setores de confluência dos fluxos subterrâneos, uma vez que estes locais se apresentam vulneráveis à contaminação dos recursos hídricos subterrâneos;
- g) Pesquisas de caráter hidrogeológico devem ser realizadas na área, objetivando, principalmente, a determinação das reservas hídricas e a variação dos níveis freáticos do aquífero;

Sendo assim, faz-se necessário a realização de um programa de monitoramento da qualidade e quantidade das águas subterrâneas de Iraquara, principalmente em função do elevado consumo dessas águas pela população do município.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA); INSTITUTO DE GESTÃO DAS ÁGUAS E CLIMA (INGÁ). **Sistema de Informações Hidrológicas e Meteorológicas – SIHM**. Disponível em <http://www.inga.ba.gov.br>, acesso em junho de 2010.

ANDRADE FILHO, E. L. de; LOUREIRO, H. S. C.; PEDREIRA, A. J. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB**. Seabra, Folha SD.24-V-A. Estado da Bahia. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 1999.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association. Washington, 1995. D.C. 193p.

BIGARELLA, J. J.; DECKER, R. D.; SANTOS, G. F. dos. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1994.

BOVOLATO, L. E. **Uso e gestão de águas subterrâneas em Araguaína/TO**. 2007, 184 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, – UNESP, Presidente Prudente, 2007.

CRUZ JÚNIOR, F. W. da. **Aspectos geomorfológicos e geoespeleologia do carste da região de Iraquara, centro norte da Chapada Diamantina, Estado da Bahia**. 1998, 108 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 1998.

CUSTÓDIO, E.G.; LLAMAS, M.R. **Hidrologia Subterrânea**. Barcelona: Ediciones Omega S.A., 1983. 2 v.

FEITOSA, F.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 2008, 812p.

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

FERRARI, J. A. **Interpretação de feições cársticas na região de Iraquara - Bahia**. 1990. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal da Bahia - UFBA, Salvador, 1990, 96 p.

FREEZE, A. R.; CHERRY, J. A. **Groundwater**. New Jersey: Prentice Hall, 1979, 598 p.

FRIZZO, S. J. **Elementos químicos (metais pesados) em águas de abastecimento público no Estado do Ceará**. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2006.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual prático de análise de água**. Brasília: FUNASA, 2006, 2ª ed. ver.

GOMES, A.S.R. **Modelagem metalogenética das minerações de Pb-Zn hospedadas em carbonatos neoproterozóicos de Irecê (BA), Serra do Ramalho (BA) e Montalvânia (MG)**. 2005. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2005.

GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA. SEPLANTEC/SEI – **Análise dos Atributos Climáticos do Estado da Bahia**. SEI, Salvador, 1998.

_____. **Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH-BA)**. Relatório Síntese. Salvador: SRH, 2004.

_____. **Projeto Mapa Metalogenético do Estado da Bahia**: distribuição das mineralizações sobre base geológica. Versão 1.1 – atualização setembro, 2006.

GUERRA, A. M. **Processos de Carstificação e Hidrogeologia do Grupo Bambuí na Região de Irecê - Bahia**. 1986. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1986.

GUIMARÃES, J. T. **A Formação Bebedouro no Estado da Bahia**: Faciologia, estratigrafia e ambientes de sedimentação. 1996. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociência, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 1996.

HIRATA, R. **Recursos Hídricos**. In: TEIXEIRA, W. [et al.]. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003 p. 422 – 444.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Dados do Censo 2010 publicados no Diário Oficial da União do dia 24/11/2010**. Disponível em http://www.censo2010.ibge.gov.br/dados_divulgados/index.php?uf=29. Acesso em 14 de dezembro de 2010.

LIMA, A. **Composição e Origem das Águas Minerais Naturais**: Exemplo de Caldas da Saúde. Lisboa: Edições Almedina, 2010.

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

MENDES, B., OLIVEIRA, J.F.S. **Qualidade da Água para Consumo Humano**. Lisboa: Lidel, Edições Técnicas Ltda., 2004, 626p.

MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL. **Portaria Nº 518/2004 de 25 de março de 2004**. Brasília – DF: Republicado no Diário Oficial da União nº 1-E de 25/03/2004.

MISI, A.; SOUTO, P. **Controle estratigráfico das mineralizações de Chumbo, Zinco, Flúor e Bário no Grupo Bambuí – Parte Leste da Chapada de Irecê (Bahia)**. Revista Brasileira de Geociências, 1974, 5(1): p30-45.

MISI, A. **O Grupo Bambuí no Estado da Bahia**. In: Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia (H. A. V. Inda Ed.). Salvador: SME, CPM, 1979, p. 120-154.

MISI, A.; SILVA, M. da G. **Chapada Diamantina Oriental – Bahia: Geologia e Depósitos**. Salvador: Superintendência de Geologia E Recursos Minerais – SGM, 1996.

MOBUS, G. **Qualifraf**. Programa para análise da qualidade de água. FUNCEME. <http://www.funceme.br/DEHID/index.html>. 2003. Acesso em 22 de outubro de 2009.

NASCIMENTO, S. A. de M. **Diagnóstico hidrogeológico, hidroquímico e da qualidade da água do aquífero freático do alto cristalino de Salvador, Bahia**. 2008, 194 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2008..

NEGRÃO, F. I. **Caracterização Hidrogeoquímica e Vulnerabilidade do Sistema Hidrogeológico Cárstico da Região de Irecê, Bahia**. 1987. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1987.

PEDREIRA-DA-SILVA, A. J. **O Supergrupo Espinhaço na Chapada Diamantina Centro Oriental, Bahia: sedimentologia, estratigrafia e tectônica**. 1994. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1994.

PIPER, A. M. **A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis**. Transactions American Geophysical Union: Washington, 1944, v. 25, p. 911-923.

RAMOS, S. O. **Variações sazonais dos níveis hidrostáticos do aquífero cárstico da região de Irecê, Bahia: implicações para estimativa de recarga**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geoquímica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2005.

SANTOS, A. C. **Noções de hidroquímica**. In: Feitosa A. C.; Manoel Filho, J. (Eds.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 2008. p. 81–108.

SANTOS, R. A. **O Sistema Cárstico da Caverna Lapa Doce: caracterização física e da atividade turística no município de Iraquara**. 2008a. Monografia (Graduação em Geografia) – Departamento de Ciências Humanas – Campus IV, Universidade do Estado da Bahia – UNEB, Jacobina, 2008a.

_____. **Espeleoturismo na Caverna Lapa Doce:** Potencialidades para um turismo sustentável no município de Iraquara – Bahia. **Pesquisa em Turismo e Paisagens Cársticas** – Sociedade Brasileira de Espeleologia (SeTur/SBE), Campinas, 2008b, 1(2)p.131-144.

SILVA, A. B. **Hidrogeologia de Meios Cársticos.** In: FEITOSA, F. A. C. [et al.]. **Hidrogeologia:** conceitos e aplicações. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008, 3 ed. rev. e amp., p.153-174.

SILVA, H. M. da. **Sistema de Informações Geográficas do Aquífero Cárstico da Micro-região de Irecê, Bahia:** Subsídios para a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Verde e Jacaré. 2005. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2005.

SOUZA, S. L. de; BRITO, P.C.R.; SILVA, R.W.S. **Estratigrafia, sedimentologia e recursos minerais da Formação Salitre na Bacia de Irecê, Bahia.** Salvador: CBPM, 1993.

UNITED STATES SALINITY LABORATORY (USSL). **Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali soils.** U.S.D.A. Handbook. Nº 60 -. 1954.

VALLE, M. A. **Hidrogeoquímica do Grupo Una (Bacias de Irecê e Salitre):** Um Exemplo da Ação do Ácido Sulfúrico no Sistema Cárstico. 2004. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2004.

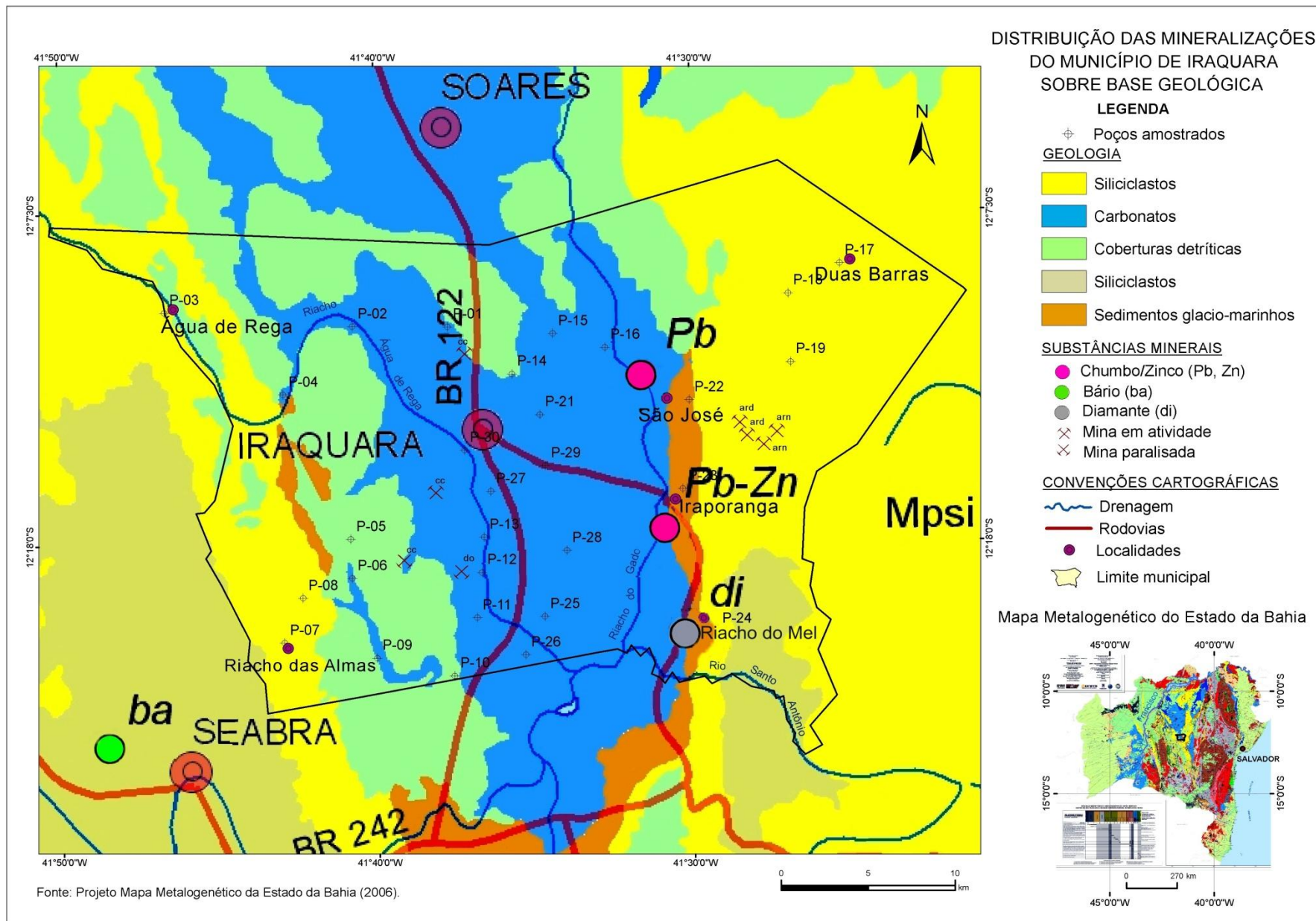
VELÁSQUEZ, L.N.M.; FANTINEL, L.M.; FERREIRA, E.F.; CASTILLO, L.S. de; UHLEIN, A.; VARGAS, A.M.D.; ARANHA, P.R.A. **Fluorose dentária e anomalias de flúor na água subterrânea no município de São Francisco, Minas Gerais, Brasil.** In: SILVA, C. R. da. FIGUEIREDO, B. R. CAPITANI, E. M. de. CUNHA, F. C. da. **Geologia Médica no Brasil:** efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana e meio ambiente. Rio de Janeiro: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2006.

ANEXO I
FORMULÁRIOS DE CAMPO

ANEXO II
ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

ANEXO III

MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DAS MINERALIZAÇÕES DO MUNICÍPIO DE IRAQUARA SOBRE BASE GEOLÓGICA



Mapa de distribuição das mineralizações do município de Iraquara sobre base geológica (Adaptado de Bahia, 2006).