

## Caracterização hidroquímica e hidrogeológica do aquífero Cárstico salitre na região de Irecê, Bahia.

Tereza Cristina Bittencourt Villanueva

Companhia de Pesquisa e Recursos Naturais -CPRM, Brasília, DF. [Tereza.villanueva@cprm.gov.br](mailto:Tereza.villanueva@cprm.gov.br)

Luiz Rogério Bastos Leal

Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia -UFBA. [lrogerio@ufba.br](mailto:lrogerio@ufba.br)

Maria do Rosário Zucchi

Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia -UFBA. [mrzucchi@ufba.br](mailto:mrzucchi@ufba.br)

Antônio Expedito Gomes de Azevedo

Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia -UFBA. [expedito@ufba.br](mailto:expedito@ufba.br)

Pablo Ramosandrade Villanueva

Ministério do Meio Ambiente/DF. [Pablo.villanueva@mma.gov.br](mailto:Pablo.villanueva@mma.gov.br)

Recebido: 18/09/13 - Revisado: 17/01/14 - Aceito: 27/05/14

### RESUMO

O aquífero Salitre localizado na porção central do estado da Bahia, na região de Irecê é formado por rochas cársticas, constituindo um aquífero livre e heterogêneo, do tipo cárstico-fissural, em função da atuação de processos de dissolução por carbonato de cálcio, aliado à presença de um sistema de fraturamento. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade das águas subterrâneas e a vulnerabilidade à contaminação do aquífero cárstico Salitre na área, em função dos dados obtidos através da análise química de 40 parâmetros e 32 compostos semi-voláteis eleitos para o diagnóstico hidrogeológico da área. A recarga efetiva média calculada foi de 35,49mm/ano, perfazendo 5,44% da precipitação total na área, com uma reserva reguladora média obtida da ordem de  $8,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ . A análise dos diagramas hidroquímicos de Piper demonstra que 51,62% das amostras analisadas são caracterizadas como água Bicarbonatada Cálcica e Mista e 48,38% apresentam características de água Cloretada Cálcica e Mista. Os índices de saturação dos carbonatos: calcita, dolomita e aragonita apresentam valores médios positivos, indicando que existem condições de supersaturação nas águas das espécies químicas analisadas, correspondendo a águas incrustantes, enquanto que os índices de saturação de gipsita apresentam valores médios negativos, indicando solução subsaturada.

**Palavras Chave:** Hidroquímica. Índices de Saturação. Aquífero Cárstico

### INTRODUÇÃO

O processo de desenvolvimento social e econômico mundial tem ocasionado uma elevação do consumo da água subterrânea e, conseqüentemente, exigido um controle sistemático da sua qualidade, de acordo com o manual da UNESCO (VRBA, 1988). A água subterrânea ocorre em condições hidrogeológicas distintas, que impõem características particulares de interação física, química e bioquímica com o meio onde circula.

O consumo das águas subterrâneas nos países latino-americanos tem aumentado em função do crescimento populacional, bem como da sua utilização para vários usos, dentre os quais: irrigação, industrial e saneamento básico, de acordo com VRBA; ZAPOROZEC (1994).

Foi constatado por López-Vera (2006), Vrba (2006), Hirata e Fernandes (2006) e Foster e Hirata (1991), que o diagnóstico da qualidade das águas subterrâneas efetuado em vários países, requer processos técnicos e financeiros e os resultados obtidos devem ser aplicados para a tomada adequada de decisões em relação ao recurso. Desta forma, faz-se necessário que esses países, dentre os quais o Brasil, viabilizem programas

sistemáticos de proteção dos aquíferos para preservá-los dos processos de contaminação (ANDREO et al., 2002, FOSTER; HIRATA, 1988).

O diagnóstico hidroquímico das águas subterrâneas é importante, de acordo com Hirata e Rebouças (1999), Hirata e Fernandes (2006), Vrba (2006) e Mestrinho (2008), uma vez que busca uma compreensão sobre a qualidade das águas, considerando-se a coleta de novos dados para melhorar a sua modelagem conceitual e numérica, a avaliação de risco de contaminação e a aferição da efetividade das medidas de proteção da qualidade das águas subterrâneas.

A região de Irecê, no estado da Bahia, é uma área de grande interesse econômico, pois os solos férteis e a topografia pouco acidentada dessa região favorecem as práticas agrícolas, sendo esta a principal atividade econômica (BASTOS LEAL; SILVA, 2004). As águas subterrâneas são intensamente utilizadas para a irrigação, devido à pequena disponibilidade de água superficial. Apesar de ser uma região de grande importância agrícola, é uma área pouco estudada do ponto de vista das dinâmicas hidrogeológica e hidroquímica.

A escolha do tema na área em questão deve-se ao fato

de ser um ambiente em que o aquífero apresenta um elevado potencial de vulnerabilidade intrínseca, por ser constituído por rochas carbonáticas, com estruturas cársticas e rochas com vários sistemas de fraturamentos. Nessa área são desenvolvidas atividades antrópicas potencialmente contaminantes como agricultura irrigada com o uso de agrotóxicos, mineração, disposição de resíduos sólidos em locais inadequados e problemas relacionados com a ausência de saneamento básico nas zonas urbanas das cidades de Irecê e Lapão.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade das águas subterrâneas do aquífero cárstico Salitre, na região de Irecê, através dos dados obtidos considerando-se uma análise total de 72 atributos, sendo 40 parâmetros de análise química e 32 compostos semi-voláteis, eleitos para o diagnóstico hidrogeoquímico da área, de forma a possibilitar uma gestão adequada desse recurso, por parte do poder público municipal e estadual, de acordo com a finalidade proposta.

## ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é formada por um polígono que compreende parte dos municípios de Irecê e Lapão, no estado da Bahia, com uma área de aproximadamente 250 km<sup>2</sup> (NOS-

SA, 2011).

O Grupo Una, de acordo com Pedreira et al. (1987) se subdivide da base para o topo na Formação Bebedouro e na Formação Salitre, sendo contornado pelo Grupo Chapada Diamantina, constituindo uma área conhecida como “Bacia de Irecê”.

Na área de pesquisa aflora a Formação Salitre, que é constituída, de acordo com Misi (1979) e Sampaio et al. (2001), por espessas sequências de calcarenitos, calcilitos, calcissiltos e dolomitos intercalados, por vezes, com sequências terrígenas subordinadas constituídas por silexites, arenitos, siltitos, laminitos e margas, com uma espessura máxima para este pacote de 530m.

Métodos de datação radiométrica utilizados em rochas da Formação Salitre por Neves et al. (1980) e Macedo e Bonhome (1984), determinaram idade Rb/Sr de aproximadamente 760Ma. Estudos de Srivastava (1989) realizados com base em estromatólitos conferiram a estas rochas idades entre 950-570Ma., possuindo portanto, idade Neoproterozóica, caracterizada como paleoambiente deposicional continental e marinho de águas rasas (PEDREIRA et al., 1987), com feições cársticas bem desenvolvidas, que juntamente com zonas de fraturamento, constituem os reservatórios de grande armazenamento e circulação de águas subterrâneas (Figura 1).

De acordo com Nossa (2011), o sistema aquífero na área

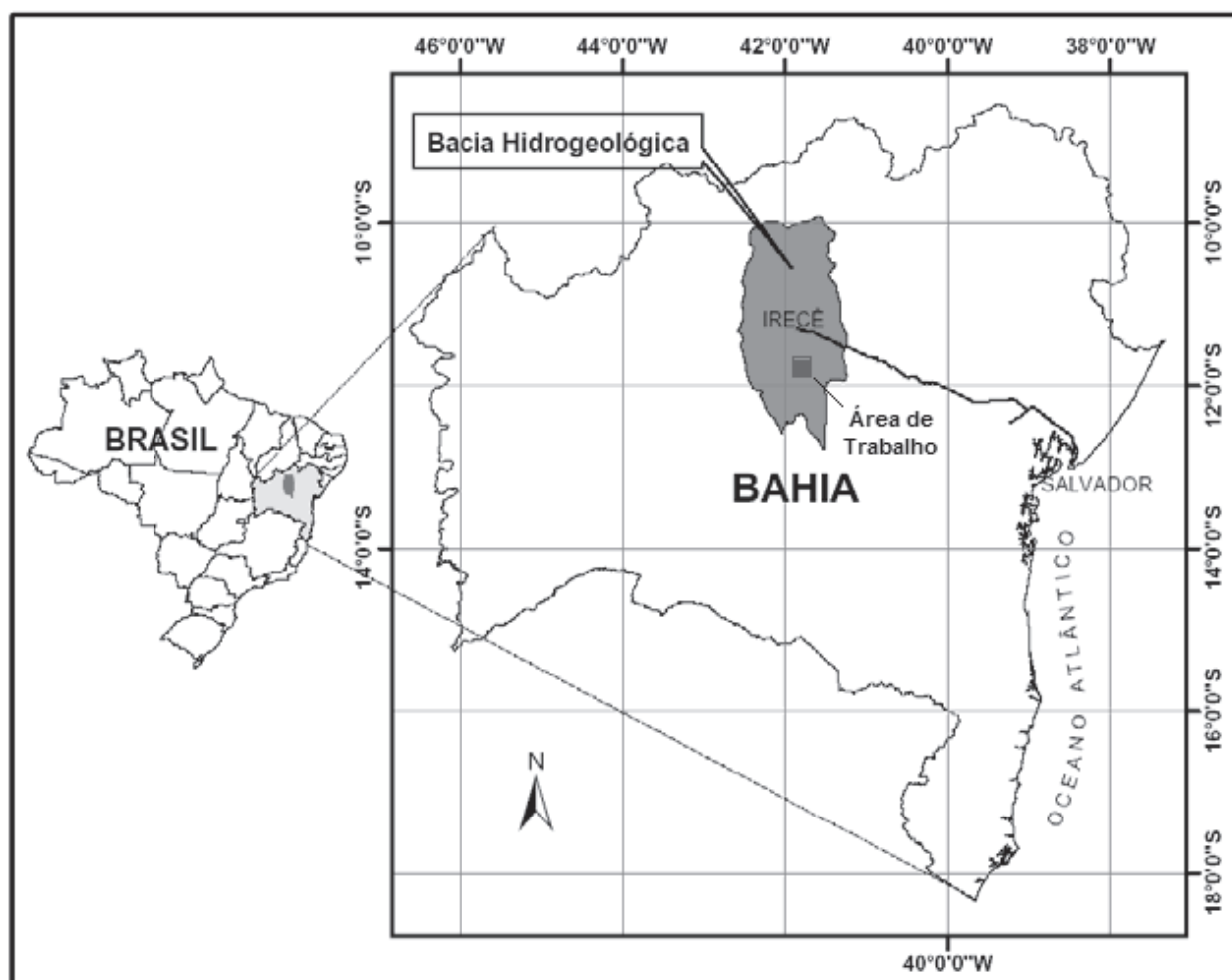


Figura 1 - Mapa de localização da área.

apresenta uma hidrodinâmica que permite caracterizá-lo como sendo de grande capacidade de recarga e de elevada velocidade de fluxo subterrâneo. A pouca profundidade e a sistemática de recarga através de formas de absorção abertas como sumidouros, dolinas e fraturas em que as águas passam diretamente da zona não saturada para a zona saturada sem sofrer os efeitos da filtração natural, predominantes em terrenos sedimentares terrígenos, os tornam extremamente vulneráveis aos contaminantes químicos e biológicos, implicando em uma necessidade de proteção desses sistemas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a determinação do diagnóstico hidroquímico do aquífero Salitre na área foi determinada uma estratégia, desenvolvida por Nossa (2011), que se baseia em uma sequência de atividades integradas, sendo iniciada com a definição das informações necessárias (etapa de pré-campo), seguida da criação de uma malha de amostragem, com coleta de águas subterrâneas para análises químicas, incluindo compostos inorgânicos e orgânicos semi-voláteis (etapa de campo). Essas etapas foram finalizadas com a análise e o cruzamento dos dados obtidos e os mapas temáticos produzidos (etapa de pós-campo). Havendo assim, uma harmonização de procedimentos no estabelecimento e operacionalização de todas as atividades envolvidas na pesquisa.

Nas campanhas de campo foram realizados procedimentos de reconhecimento da área, levantamento geológico, seleção de duas malhas de amostragem com um total de 72 poços tubulares, sendo 36 poços desativados para medida de nível estático e 36 poços em funcionamento para coleta de água, com medida in situ dos parâmetros: pH, temperatura, sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica, além dos níveis estáticos dos poços tubulares que foram medidos sazonalmente durante dois anos, captura de pontos de controle com GPS Diferencial (DGPS) para elaboração da superfície piezométrica do aquífero, bem como das direções de fluxos subsuperficiais (Figura 2). Foram efetuados também, coleta de água para análise química de 40 elementos e análise de 32 compostos semi-voláteis, considerando-se os parâmetros que atendem a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde e a Resolução CONAMA 396/2008. A Portaria 2914 do Ministério da Saúde, não foi utilizada porque entrou em vigência em dezembro de 2011, posteriormente ao término da pesquisa na área. Essas análises foram realizadas pelo LAMIN-CPRM (Laboratório de Águas Minerais da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais).

A delimitação das linhas de fluxos subterrâneos auxiliou na seleção dos 36 poços tubulares utilizados na malha de amostragem para as análises químicas e de compostos semi-voláteis das águas subterrâneas da área (Figura 2).

### Análise de compostos semi-voláteis

Os compostos semi-voláteis analisados compreenderam 32 parâmetros, dentre os sugeridos pelas legislações aplicáveis e aqueles que são analisados pelo LAMIN: Hexachlorobenzene, Lindane, Heptachlor, Heptachlor Epoxide, Aldrin, Glifosato,

Gamma-Chlordane, Alpha-Chlordane, 4,4-DDT, Endrin, Methoxychlor, Molinate, Trifluralin, Simazine, Propanil, Pendimetalina, Atrazine, Alachlor, Metolachlor, Endosulfan I, Endosulfan II, Endosulfan Sulfate, Permethrin, 2,4,6-Trichlorophenol, 2,4-D, Dieldrin, Pendimetalina, Pentachlorophenol, Bentazone, Chlorthalonil, Melathion, Chlorpyrifos e P,P-DDE.

O preparo das amostras foi efetuado utilizando-se a técnica de Extração em Fase Sólida (SPE). A análise cromatográfica foi realizada pelo método de Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrometria de Massas (GC-MS). O equipamento utilizado foi um GC-MS 4000 Varian. Os cálculos hidroquímicos foram executados com o software PHREEQC (Parkhurst; Appelo, 1999) e a representação gráfica dos resultados foi efetuada através de diagramas hidroquímicos (PIPER, 1944).

### Análise química

Foram analisados por Nossa (2011), um total de 40 parâmetros adotados para o diagnóstico hidrogeoquímico da área, definidos com base na Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, a qual estabelece valores máximos permitidos para padrões de potabilidade da água para consumo humano e na Resolução CONAMA 396/2008 que estabelece esses valores para diversas finalidades, além do consumo humano, como: dessedentação de animais, irrigação e recreação.

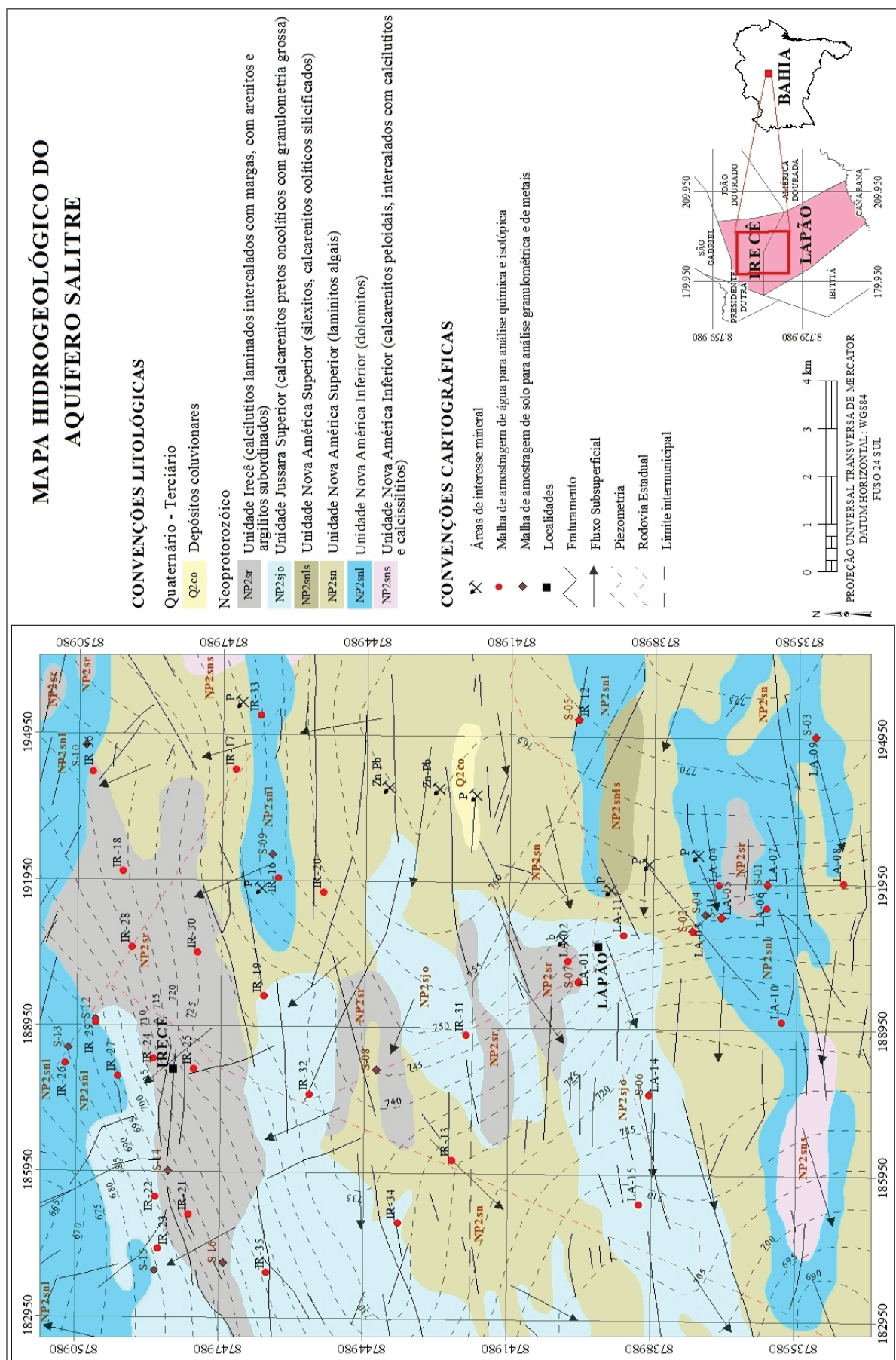
A qualidade das águas foi avaliada seguindo as recomendações especificadas pelo Laboratório de Águas Minerais da CPRM - LAMIN, baseadas em SMEWW (CLESCERI et al., 1998).

As análises químicas foram realizadas considerando-se os cátions: alumínio, antimônio, arsênio, bário, berílio, boro, cádmio, cálcio, chumbo, cobalto, cobre, condutividade elétrica, ferro, lítio, magnésio, manganês, molibdênio, níquel, nitrato, nitrito e sulfato. Selecionou-se para análise também o carbonato e bicarbonato, em função da litologia calcária da área e os parâmetros dureza total, sólidos totais dissolvidos e pH, potássio, selênio, silício, sódio, titânio, vanádio e zinco; além dos ânions: brometo, cloreto, fluoreto, fosfato, cromo, estanho, estrôncio, perfazendo um total de 40 parâmetros químicos analisados.

As análises dos ânions foram efetuadas através do método de Cromatografia Iônica e para as análises dos cátions foi utilizado o método ICP-OES.

### Índices de Saturação

Os índices de saturação (IS) expressam o quanto uma água natural desvia do estado de equilíbrio (WHITE, 1988). Relacionam os processos de dissolução e precipitação e refletem o tempo de circulação e interação das águas. Para a determinação dos índices de saturação de calcita, dolomita, aragonita e gipsita ( $IS_{\text{CALCITA}}$ ,  $IS_{\text{DOLOMITA}}$ ,  $IS_{\text{ARAGONITA}}$  e  $IS_{\text{GIPSITA}}$ ), foi utilizado o software PHREEQC (PARKHURST; APPELO op. cit., 1999). Foram efetuados também os cálculos de concentração molar, atividade iônica e coeficiente de atividade das espécies químicas nas águas subterrâneas da área, obtendo-se os valores dos índices de saturação da fase sólida de vários minerais em equilíbrio com a solução aquosa.



**Figura 2 - Mapa Hidrogeológico**

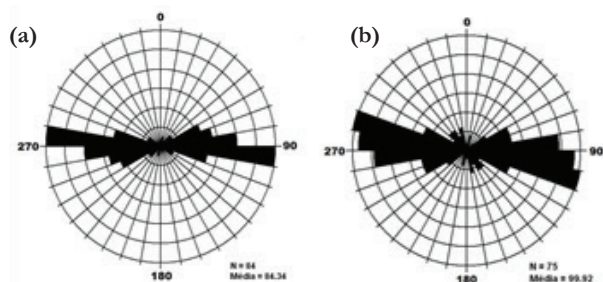


## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Mapeamento dos sistemas de fraturas

O mapeamento dos sistemas de fraturas da área (Figura 3), foi realizado a partir de imagens AVNIR-2/ALOS (IBGE, 2007), com resolução espacial de 10m x 10m, utilizando-se filtros direcionais do software Spring, desenvolvido por Câmara et al. (1996), possibilitando a geração de uma rede de fraturamentos da área (NOSSA et al., 2009). Alguns sistemas de fraturas, laminações e contatos foram observados e medidos em campo.

Os diagramas de rosas foram construídos para representação gráfica das fraturas utilizando-se o Azimuth Extension do aplicativo ArcView 3.2, da ESRI. Os dados de direções obtidos foram processados pelo software StereoStat, da Rockware, de onde se obteve os diagramas de rosas das principais fraturas presentes nos municípios de Lapão (Figura 3a) e de Irecê (Figura 3b) na área, utilizados na interpretação dos resultados.



**Figura 3 - Diagramas de rosas das principais fraturas presentes nos municípios de Lapão (Figura 3a) e de Irecê (Figura 3b) na área**

A análise dos diagramas e medidas efetuadas em campo permitiu constatar que os principais sistemas de fraturas da área se concentram no sentido E-W. Sendo observados também, sistemas de fraturas no sentido SE-NW e NE-SW, concordantes com os alinhamentos regionais descritos por Brito Neves (1967), registradas em toda a Bacia de Irecê.

### Mapeamento de feições cársticas

O Mapa Morfométrico (Figura 4), foi obtido com o levantamento das feições cársticas da área, elaborado com a análise de imagens AVNIR-2/ALOS (IBGE, 2007), com resolução 10m x 10m, utilizando-se o software ENVI 4.5 e realização dos devidos ajustes em trabalhos de campo. No meio cárstico a recarga ocorre fundamentalmente, através de feições cársticas como dolinas e sumidouros, além de fraturas, evidenciando a anisotropia do meio.

A ocorrência das feições cársticas perfaz aproximadamente 4,7% da superfície da área total com 250 km<sup>2</sup>, equivalendo a aproximadamente, 11,73 km<sup>2</sup> da área de pesquisa.

### Variações dos níveis freáticos em poços tubulares e estimativa da reserva reguladora do aquífero Salitre

Em 36 poços tubulares analisados na área, foram

constatadas cotas variáveis entre 692m e 808m, com valores médios de 756,2m. As profundidades dos poços variaram de 50m a 150m, com valores médios de 84,3m. Os níveis freáticos medidos nos poços pertencentes à malha de amostragem no período de 2009 variaram de 0,0m (poço surgente) a 105,7m, com valores médios de 24,7m. Em 2010, estes níveis variaram de 0,0m (poço surgente) a 118,3m, com valores médios de 30,6m, ou seja, a diferença média dos níveis freáticos dos poços no período medido, considerando-se a estação chuvosa e a seca, foi de aproximadamente 5,9m na área.

No trabalho em questão, a área total tem uma dimensão de 250km<sup>2</sup> e a precipitação histórica média obtida no período (1961-1990) foi de 653mm. Considerando-se como base o valor médio de porosidade de 3,2%, encontrado por Plata et al. (1980) para a zona de saturação da região de Irecê, foi obtida uma recarga anual aproximada de 755mm. De acordo com Wahnfried e Hirata (2005) qualquer variação do parâmetro porosidade influencia significativamente no resultado e como este parâmetro foi calculado de forma regional, implica em um resultado estimado de recarga na área.

A estimativa de taxas de recarga de aquíferos é extremamente importante para o desenvolvimento dos estudos hidrogeológicos. Os métodos utilizados para a avaliação da recarga produzem estimativas em várias escalas de tempo e espaço e englobam uma larga faixa de complexidade e extensão. Descrições sobre diferentes métodos podem ser encontradas em Simmers (1988, 1997), Sharma (1989), Lerner et al. (1990), dentre outros. Devido ao atual estado de conhecimento é extremamente difícil definir a acurácia de qualquer método de estimativa de recarga.

Na área, foram efetuadas medidas sazonais do nível estático de uma malha de 36 poços tubulares desativados, sendo possível constatar que a recarga não ocorre apenas em função dos índices pluviométricos (653mm/ano), mas também, que parte das águas que recarregam o aquífero Salitre são provenientes de outras fontes, como por exemplo, dos metarenitos do Grupo Chapada Diamantina localizados nas bordas da Bacia de Irecê.

A área de ocorrência das feições cársticas perfaz aproximadamente 4,7% da superfície da área de pesquisa (250km<sup>2</sup>), ou seja 11,73km<sup>2</sup> (Figura 4). Dessa forma, pode-se estimar uma recarga efetiva média de 35,49mm/ano ou 5,44% da precipitação média na área, que equivale a aproximadamente 653mm/ano. Sendo assim, a reserva reguladora média estimada para a área é de aproximadamente 8,9 x 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/ano. Este valor é considerado menor do que as reservas reguladoras obtidas por Guerra (1986), de 2,2 x 10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>/ano e por Ramos (2005), de 7,9 x 10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>/ano, uma vez que estes autores consideraram para esses cálculos toda a área da Bacia de Irecê.

### Análises químicas das águas subterrâneas

Os elementos que apresentam valores acima dos limites máximos permitidos para potabilidade, constantes nas legislações aplicáveis foram listados, considerando-se a sua ocorrência em relação ao percentual de amostras analisadas: cálcio (100,00%), magnésio (50,00%), dureza total (52,82%), sólidos totais dissolvidos (11,12%), fluoreto (5,56%), cloreto (13,9%), nitrito (2,78%), nitrato (83,4%) e sulfato (5,56%).

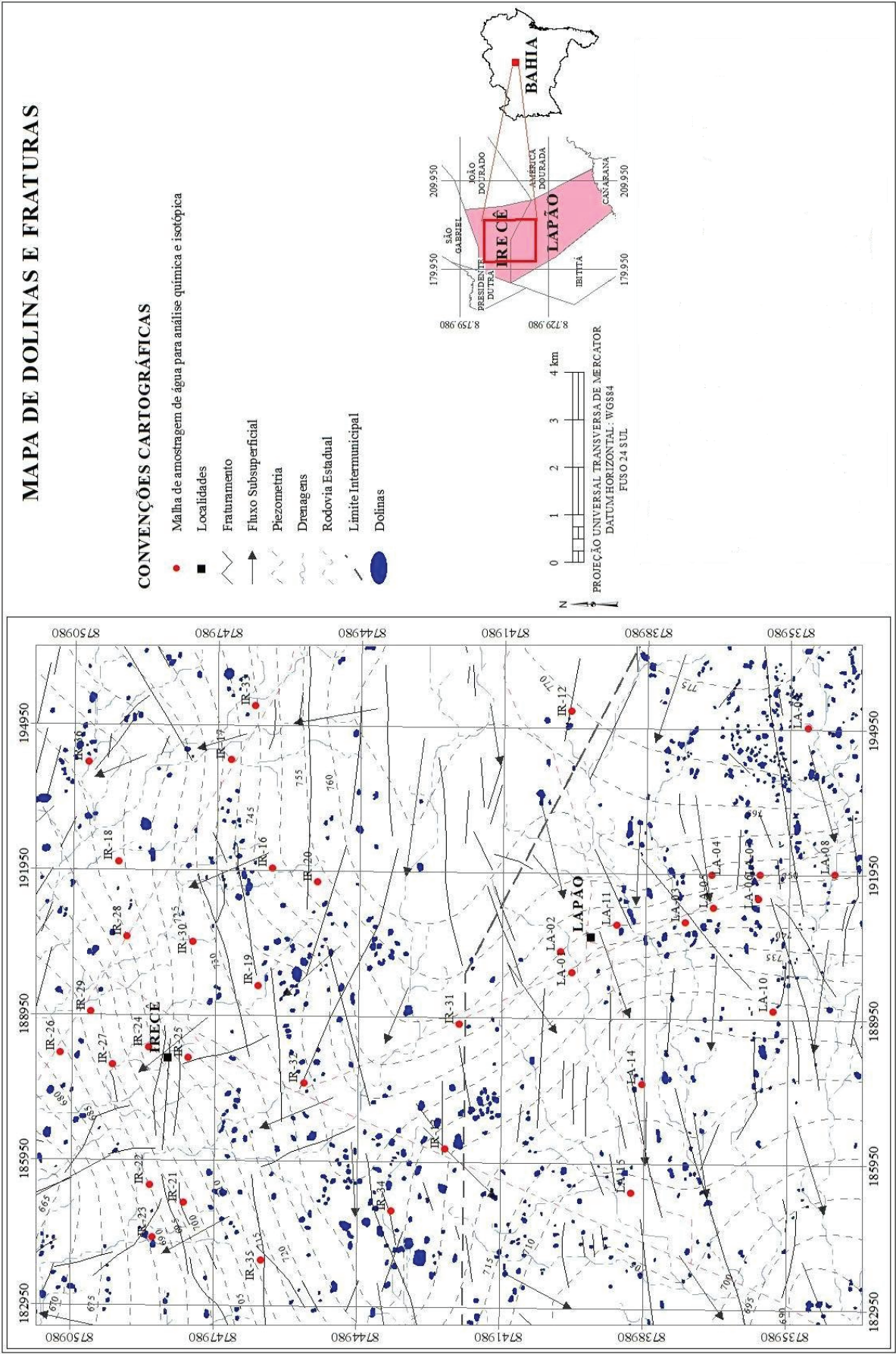


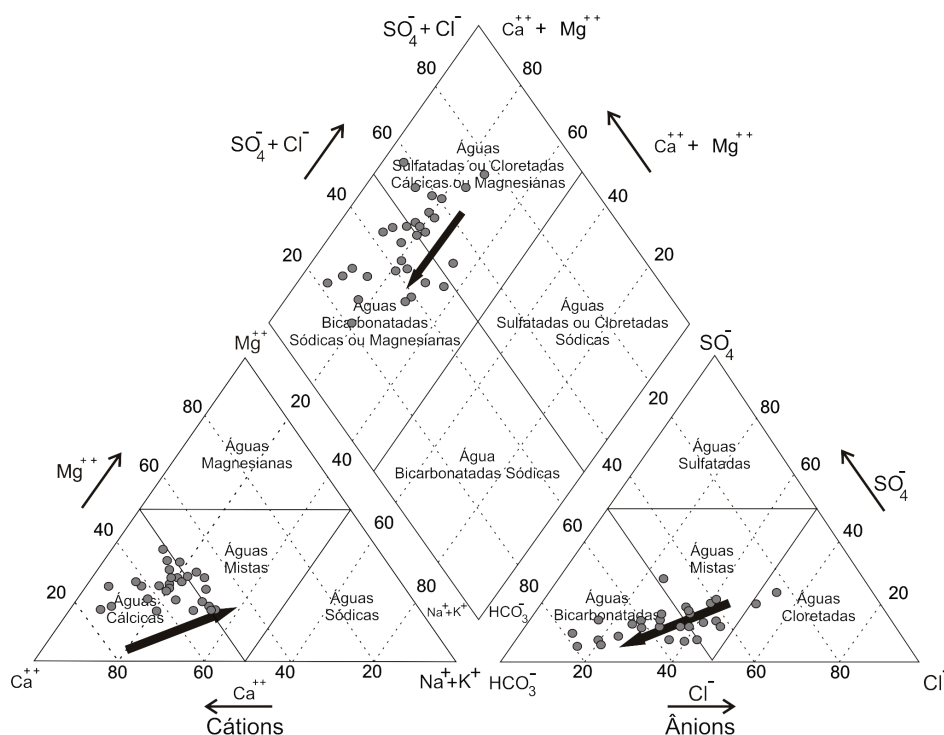
Figura 4 - Mapa Morfométrico, com representação das dolinas e fraturas

## Classificação de Piper

A análise dos Diagramas de Piper referentes às campanhas de 2009 (Figura 5a) e 2010 (Figura 5b) demonstra que das amostras analisadas 51,62% são caracterizadas como água Bicarbonatada Cálcica e Mista e 48,38% apresentam caracterís-

ticas de água Cloretada Cálcica e Mista (NOSSA 2011, NOSSA et al., 2011). Essa classificação é corroborada por trabalhos anteriores efetuados na área, como Guerra (1986), Bastos Leal e Silva (2004), Valle (2004), Beraldo (2005), Barreto (2006) e Santos (2008).

(a)



(b)

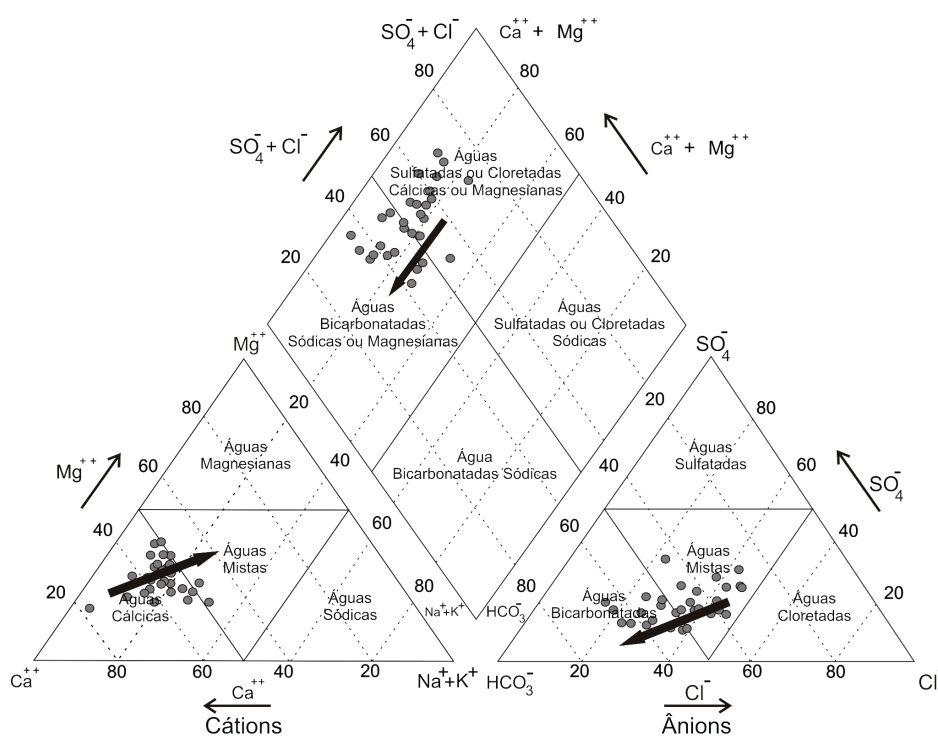


Figura 5 - Diagramas de Piper mostrando o comportamento químico das águas subterrâneas do aquífero Salitre nos períodos de coleta. (a) 2009 e (b) 2010



## Distribuição de nitratos no aquífero Salitre

Os teores de nitrato obtidos em alguns pontos de amostragem de poços tubulares variaram de 3,81 mg/L a 291,90 mg/L, com valores médios de 77,90 mg/L e desvio padrão de 62,59 mg/L, perfazendo um total de 83% do total de amostras analisadas acima de 10 mg/L, considerado valor máximo permitido para consumo humano pela legislações aplicáveis (Figura 6).

Os elevados teores de nitrato detectados na área podem ser indicativos de contaminação oriunda de saneamento básico precário, disposição de resíduos sólidos em locais inadequados, ou mesmo devido ao uso intensivo de fertilizantes nitrogenados ou ao excesso de matéria orgânica presente no ambiente.

A distribuição de nitratos em águas de abastecimento público acima dos valores máximos permitidos pode ocasionar problemas de saúde como a metahemoglobina, que pode levar crianças à asfixia. A doença é letal quando 70% da hemoglobina do corpo é convertida em metahemoglobina. Foi constatado também que elevadas concentrações de nitrato tem sido associadas ao câncer estomacal ou de esôfago pela formação de n-nitrosaminas, um potente agente carcinogênico derivado da interação de nitrito com aminas secundárias (ZUBLENA et al., 2001).

## Distribuição de cloretos no aquífero Salitre

Os teores de cloreto obtidos nos pontos de amostragem de águas subterrâneas na área variaram de 45,02 mg/L a 314,59 mg/L, com valores médios de 174,9 mg/L e desvio padrão de 72,68 mg/L.

Concentrações de cloreto acima do valor máximo permitido pelas legislações aplicáveis na área, ou seja, 250 mg/L, podem estar associadas à deficiência na circulação hídrica subterrânea associada à recarga ou a focos esparsos de contaminação (Figura 7).

## Correlação linear entre parâmetros químicos

Valores médios elevados de  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$  refletem a litologia calcária característica de toda a área, representada pela Formação Salitre. O aumento das concentrações desses elementos durante o fluxo subterrâneo ocorre através do intemperismo químico de minerais carbonáticos, tais como calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), bem como a ação de possíveis processos de misturas e troca iônica no interior do aquífero. Essa situação foi ilustrada na Figura 8 (a) e (b), em que se observa uma forte correlação entre esses elementos e os sólidos totais dissolvidos.

Nas amostras analisadas constantes na Figura 8a e b, valores de índice de saturação negativos indicam solução subsaturada, com elevada capacidade de dissolução da calcita ( $\text{IS}_{\text{CAL}} < 0$ ), não permitindo a sua deposição neste período, naturalmente em função da frequente presença de águas insaturadas em circulação, denotando a presença de águas corrosivas. Isso ocorre em função do pequeno tempo de circulação das águas no aquífero cárstico Salitre, uma vez que as águas de precipitação que recarregam este aquífero fluem rapidamente através de condutos existentes na estrutura do carste formados pela solubilidade das rochas carbonáticas da Formação Salitre. Por outro lado, valores de índice de saturação positivos ( $\text{IS}_{\text{CAL}} > 0$ ), predominantes na área, indicam condições de supersaturação, com tendência à precipitação dos carbonatos e correspondem a águas incrustantes.

## Índices de saturação [ $\text{IS}_{\text{CALCITA}}$ , $\text{IS}_{\text{DOLOMITA}}$ , $\text{IS}_{\text{ARAGONITA}}$ e $\text{IS}_{\text{GIPSITA}}$ ]

Os índices de saturação variaram de  $\text{IS}_{\text{CAL}}$  (-0,0 a 0,4 média = 0,2),  $\text{IS}_{\text{DOL}}$  (-0,3 a 0,5 média = 0,1),  $\text{IS}_{\text{ARA}}$  (-0,2 a 0,5 média = 0,0) e  $\text{IS}_{\text{GIP}}$  (-1,8 a -1,0 média = -1,4), (Figura 9 a e b).

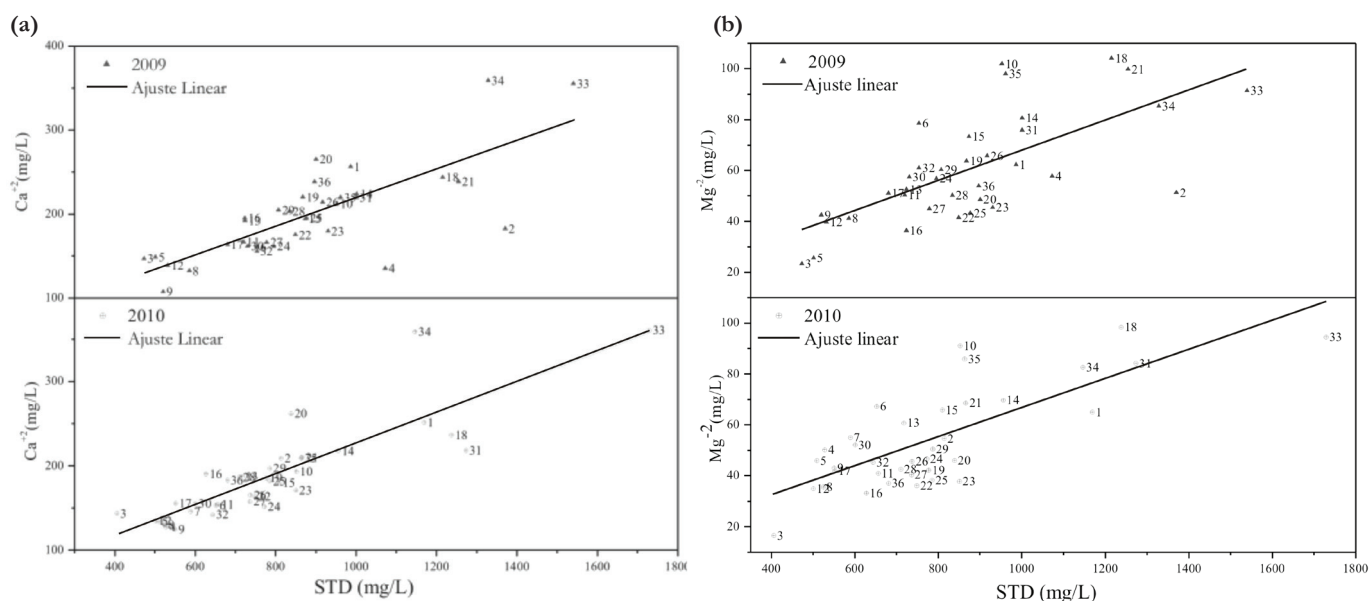


Figura 8 - Gráficos de distribuição dos elementos cálcio e magnésio com STD nas amostras de águas subterrâneas analisadas: (a) STD x  $\text{Ca}^{++}$  e (b) STD x  $\text{Mg}^{++}$



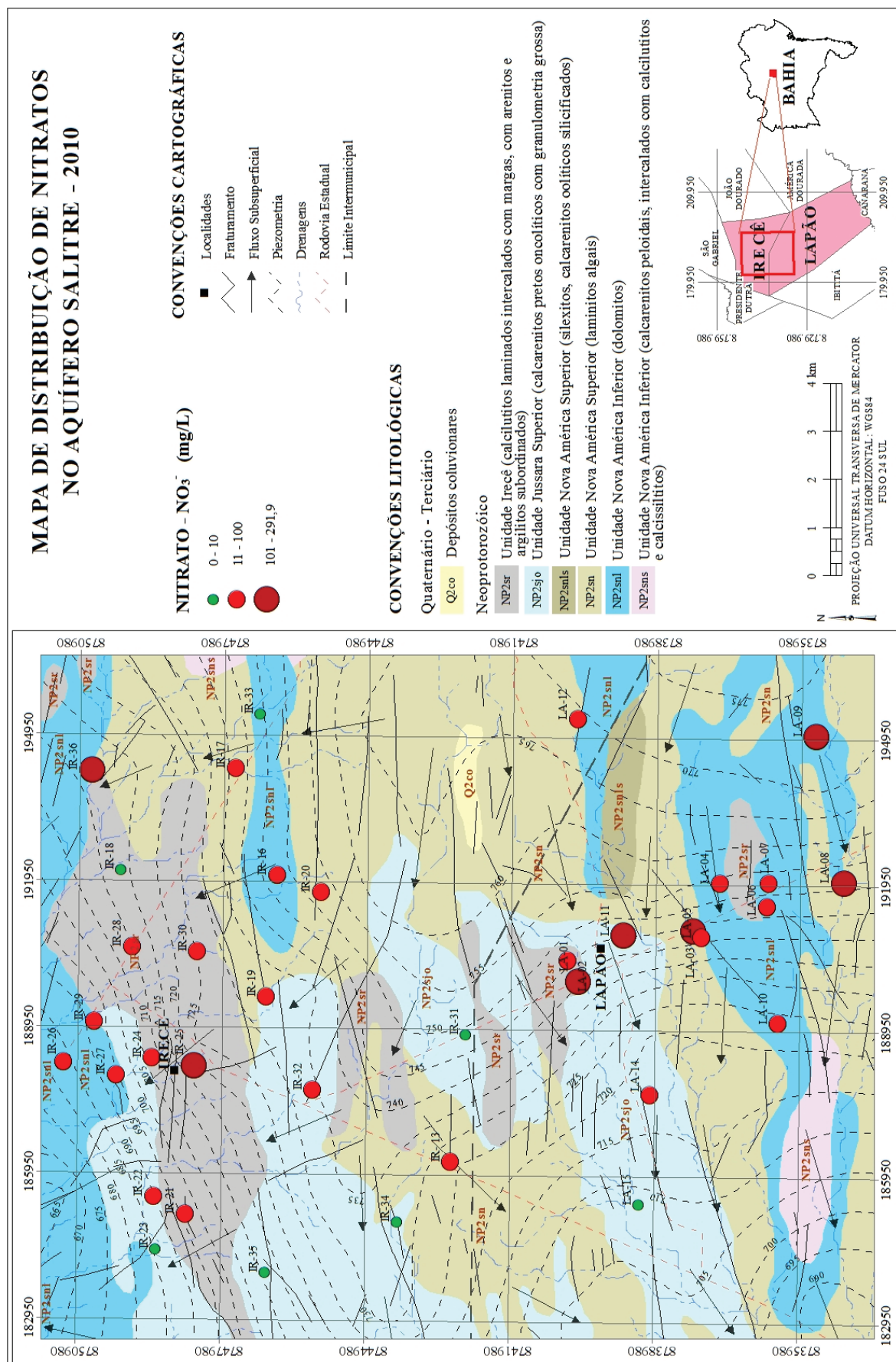
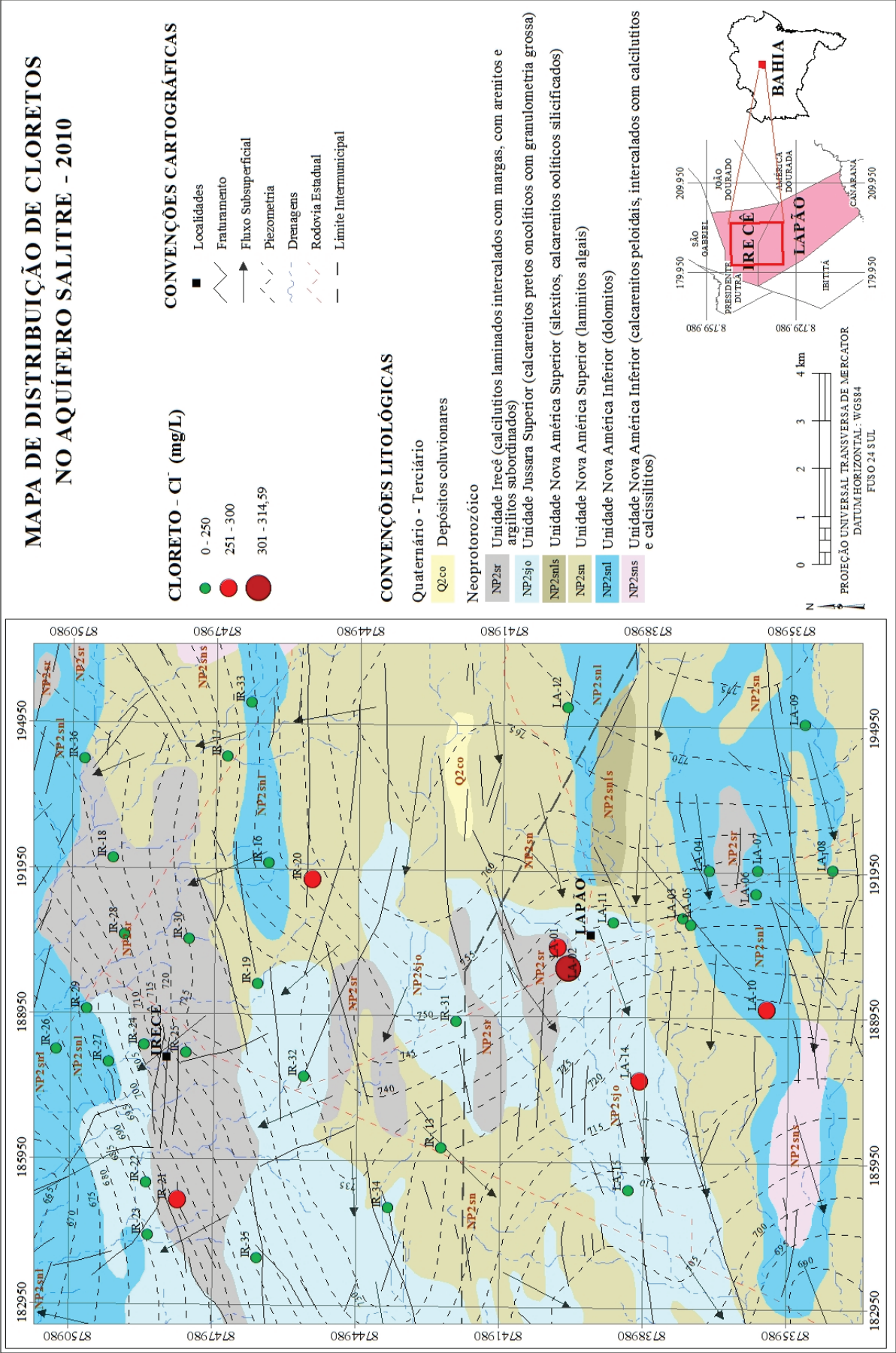


Figura 6 - Mapa de Distribuição de Nitratos no Aquífero Salitre



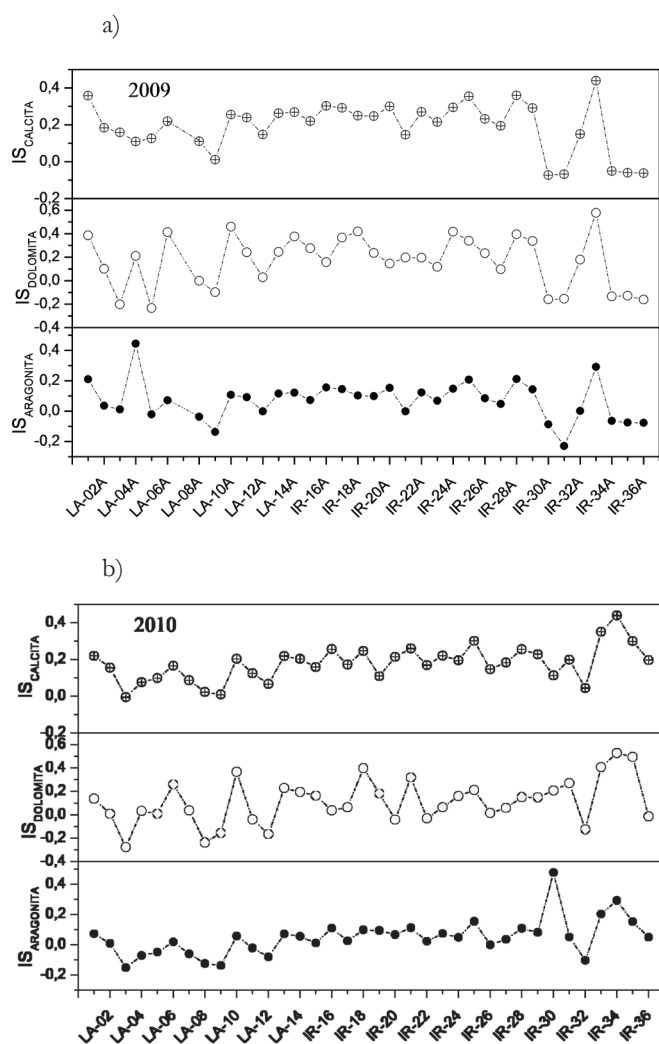


Figura 9 - Gráficos comparativos entre os índices de saturação de calcita, dolomita, aragonita e gipsita [ $IS_{\text{CALCITA}}$ ,  $IS_{\text{DOLOMITA}}$ ,  $IS_{\text{ARAGONITA}}$  e  $IS_{\text{GIPSITA}}$ ] e os pontos de amostragem. (a) 2009 e (b) 2010

### Análises de compostos semi-voláteis

As análises efetuadas demonstraram que em todas as amostras coletadas, não foram detectados os compostos pesquisados.

A não detecção dos compostos semi-voláteis nas análises realizadas significa que esses compostos podem se encontrar em quantidades muito reduzidas e, portanto, não detectáveis ou mesmo ausentes no momento da coleta, uma vez que o sistema de fraturamentos da área, juntamente com os condutos formados por processos de dissolução de  $\text{CaCO}_3$ , propiciam a formação de regimes de fluxo, ora turbulentos, ora laminares no interior destas cavidades, que possibilita uma circulação mais rápida do fluxo nesses sistemas e por isso os compostos semi-voláteis podem não ter sido detectados no momento da coleta.

A área de Irecê é caracterizada, fundamentalmente, por propriedades tipo minifúndios, nas quais é praticada a agricultura de subsistência por uma população, em geral, com baixo poder aquisitivo. Essa situação implica, de acordo com Nossa

(2011), na não aplicação ou no uso insipiente de fertilizantes e agrotóxicos, o que também contribui com a não detecção de compostos semi-voláteis nas águas dos poços tubulares pesquisados durante o período de coleta na área.

### CONCLUSÕES

A ocorrência de feições cársticas, como dolinas e sumidouros, correspondem a 4,7% da superfície da área com 250km<sup>2</sup>, sendo mapeadas 177 feições cársticas no total, equivalendo a 11,73km<sup>2</sup>. Dessa forma, a recarga efetiva média calculada foi de 35,49mm/ano, perfazendo 5,44% da precipitação total da área, com uma reserva reguladora média estimada da ordem de  $8,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ .

A recarga na área não ocorre apenas em função dos índices pluviométricos (653mm/ano), pois parte das águas que recarregam o aquífero Salitre são provenientes de outras fontes, como por exemplo, dos metarenitos do Grupo Chapada Diamantina, localizados nas bordas da Bacia de Irecê.

A análise do Mapa Morfométrico demonstra que as áreas preferenciais de recarga compreendidas pelas feições cársticas que formam as dolinas e sumidouros, juntamente com os locais de intenso fraturamento, são zonas propícias a um maior aporte hídrico e, portanto, devem ser áreas preservadas pelo poder público municipal, de forma a viabilizar uma gestão racional dos recursos hídricos desses municípios.

Os percentuais dos parâmetros químicos analisados, obtidos nas amostras de água acima dos valores máximos permitidos, de acordo com as legislações aplicáveis para os seguintes elementos: cálcio (100,00%), dureza total (75,06%), magnésio (69,00%), sólidos totais dissolvidos (22,24%), sulfato (5,56%) e fluoreto (5,56%), retratam as condições naturais do aquífero cárstico Salitre com ocorrência em toda a área. O nitrato (83,4%) e o nitrito (2,78%) podem ter origem natural, oriundos do excesso de matéria orgânica no ambiente ou antropogênica, devido à contaminação ocasionada por saneamento básico inadequado, ou ainda, em função do uso intensivo de fertilizantes nitrogenados. A detecção de cloreto (16,68%) pode ser associada à uma circulação hídrica subterrânea restrita ou à focos esparsos de contaminação. A ocorrência do arsênio em 8,33% das amostras, presente de forma pontual nas águas subterrâneas, pode estar relacionada à utilização inadequada de defensivos agrícolas nas culturas da área. A presença desse elemento é sugestiva da realização de outras coletas sazonais nestes pontos e imediações, de forma a possibilitar um diagnóstico mais preciso.

O predomínio de índices de saturação positivos indica condições de supersaturação, com tendência à precipitação de carbonatos, correspondendo a águas incrustantes. As amostras que apresentam índices de saturação negativos indicam solução subsaturada, com elevada capacidade de dissolução de calcita, não permitindo a deposição desse mineral neste período, naturalmente em função da frequência de águas insaturadas em circulação. Isso pode ter ocorrido em função do pequeno tempo de circulação das águas no aquífero Salitre, uma vez que as águas de precipitação que recarregam esse aquífero fluem rapidamente através de condutos existentes na estrutura do carste, formados



pela solubilidade das rochas calcárias da Formação Salitre.

A análise dos diagramas de Piper referentes às campanhas de 2009 e 2010 demonstra que 51,62% das amostras analisadas são caracterizadas como água Bicarbonatada Cálcica e Mista e 48,38% apresentam características de água Cloretada Cálcica e Mista. Dessa forma, foi constatado um certo equilíbrio entre a qualidade das águas analisadas.

Os valores médios dos parâmetros químicos obtidos nas análises das águas subterrâneas da área para as campanhas de 2009 e 2010 são concordantes com os dados históricos obtidos na Bacia de Irecê. Essa constatação indica que a qualidade das águas subterrâneas na área se manteve sem grandes alterações ao longo dos últimos 30 anos.

Os resultados obtidos pelo trabalho realizado poderão ser utilizados para fins de planejamento urbano e gestão territorial e hídrica dos municípios envolvidos.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos especialmente à CPRM - Serviço Geológico do Brasil, pelo apoio efetuado nos trabalhos de campo e pelas análises laboratoriais realizadas pelo LAMIN - Laboratório de Águas Minerais (CPRM/RJ).

## REFERÊNCIAS

- ANDREO B.; VÍAS, J. M.; PERLES, M. J.; CARRASCO, F.; VADILLO, I.; JIMENÉZ, P. *Ensayo metodológico para la protección de aguas subterráneas em acuíferos carbonatados. Aplicación al sistema de Torremolinos. Jornadas sob presente y futuro del agua subterránea em España y La Directiva Marco Europea. Zaragoza (Spain). IAH-Spanish Chapter.*, 2002. p. 147-153.
- BARRETO, F. S. *Avaliação da qualidade e análise de risco de contaminação da água subterrânea utilizada para fins de abastecimento humano na região de Irecê-BA*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. 117p. 2006.
- BASTOS LEAL, L. R.; SILVA, H. P. da. (Org.) *Modelização da dinâmica hidrológica e instrumentos para a gestão do sistema aquífero-rio das bacias hidrográficas dos rios Verde e Jacaré - região semi-árida do estado da Bahia*. Relatório técnico final do convênio de cooperação técnico-científica celebrado entre a Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia e a Universidade Federal do Estado da Bahia. 2004. 435p.
- BERALDO, V. J. *Estudo isotópico ( $\delta H$  e  $\delta^{18}O$ ) e hidroquímica na região de Irecê, Bahia: contribuição ao entendimento do ciclo hidrológico regional*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. 2005. 84p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº518/MS, de 25 de março de 2004. *Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências*. Legislação. Disponível em: <http://portal.saude.gov.br/saude/>. Acessado em 15 fev. 2008.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução 357, de 17 de março de 2005. *Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*. Disponível em: <http://conama.gov.br>. Acessado em 25 set 2010.
- BRITO NEVES, B. B. *Geologia das folhas de Upamirim e Morro do Chapéu-Ba*. Recife. CONESP. 1967, 53p.
- CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. *Spring: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling*. Computers & Graphics. v.20, n.3 p. 395-403. 1996.
- CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20<sup>th</sup> ed. American Public Health Association, Washington. 1325 p. ISBN 0875532357. 1998.
- FOSTER, S. S. D., HIRATA, R. C. A. *Groundwater pollution risk evaluation: a survey manual using available data*. 2ed. LIMA: Pan American Sanitary Engineering and Environmental Science Center. (CEPIS / PAHO / WHO). 1988, 91p.
- FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. *Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas: una metodología basada en datos existentes*. 1991. CEPIS. 81p.
- GUERRA, A. M. *Processos de carstificação e hidrogeologia do Grupo Bambuí na região de Irecê - Bahia*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 1986. 198p.
- HIRATA, R. C. A.; FERNANDES, A. *Monitoramento das águas subterráneas: um grande desafio para países emergentes*. Anais... Simpósio Latino-Americano de Monitoramento das Águas Subterráneas, I. Belo Horizonte. 2006.
- HIRATA, R. C. A.; REBOUÇAS, A. *La protección de los recursos hídricos subterráneos: una visión integrada, basada em perímetros de protección de pozos y vulnerabilidad de acuíferos*. Boletín Geológico y Minero. v.110,n.4, p. 423-436. 1999.

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Imagem AVNIR-2/ALOS*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/alos>. Acessado em 10 jan. 2009. 2007.
- LERNER, D.; ISSAR, A.; SIMMERS, I. Groundwater recharge. A guide to understanding and estimating natural recharge. *International Association of hydrogeologists*. Vol. 8. Heise, Hannover, p. 345, 1990.
- LÓPEZ-VERA, F. *Estado actual del monitoreo en la Unión Europea*. Anais... Simpósio Latino-Americano de Monitoramento das Águas Subterrâneas, I. Belo Horizonte, 2006.
- MACEDO, M. H. F.; BONHOME, M. G. Contribuição à cronoestratigrafia das Formações Caboclo, Bebedouro e Salitre da Chapada Diamantina (Ba), pelos métodos Rb-Sr e K-Ar. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, Vol. 14, n.3. p.153-163. 1984.
- MESTRINHO, S. S. P. Monitoramento em água subterrânea. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMÉTRIO, J. G. A. (Org.) *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 3ed. Revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID. 2008. p.673-685.
- MISI, A. O Grupo Bambuí no estado da Bahia. In: INDA, H. A. V. (Ed.) *Geologia e recursos minerais do Estado da Bahia: textos básicos*. Salvador: CPM, 1979. vol. 1. p.119-154.
- NEVES, B. B. de B.; CORDANI, U. G.; TORQUATO, J. R. *Evolução geocronológica do Pre- cambriano do estado da Bahia*. In: INDA, H. A. V.; DUARTE, F. (Ed) *Geologia e recursos minerais do estado da Bahia: textos básicos*. Salvador: COM, 1980. vol. 3. p.1-101.
- NOSSA, T. C. B. *Avaliação da vulnerabilidade do aquífero cárstico Salitre - Bahia, através de análises hidroquímicas, isotópicas e aplicação da metodologia COP*. 2011. 226f. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 2011.
- NOSSA, T. C. B.; BASTOS LEAL, L. R; ZUCCHI, M. do R. *Hidroquímica e índices de saturação dos minerais do sistema aquífero cárstico Salitre na região de Irecê-Lapão, Bahia, Brasil*. Anais ...Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, II. São Paulo-SP. 2011.
- NOSSA, T. C. B.; SILVA, H. M. da; BASTOS LEAL, L. R. *A influência do sistema de fraturamentos no regime de fluxo em aquíferos cársticos: um estudo de caso nos municípios de Irecê e Lapão-BA*. Anais ....in: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XVIII . Campo Grande-MS. 16p. 2009.
- PARKHURST, D. L.; APPELO, C. A. J. User's guide to PHREEQC (Version 2): a computer program for especiation, batch-reaction, one-dimensional transport and inverse geochemical calculations. US Geol. Survey, *Water Resourch Investig. Rep.* p. 99-4259. 1999.
- PEDREIRA, A. J.; ROCHA, A. J. D.; COSTA, I. V. G. da; MORAIS FILHO, J. C. *Projeto Bacia de Irecê-II: relatório final*. Salvador, CPRM. 1987.
- PIPER, A. M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Transactions - American Geophysical Union* v.25, p. 914-923. 1944.
- PLATA, A.; SILVA, A. B.; JARDIM, F. E.; OLIVEIRA, L. B. Contribuição de diversas técnicas isotópicas no estudo do aquífero cárstico da região central da Bahia (Irecê-Iraquara). *ABAS - Águas Subterrâneas*, Vol II, n.1, 1980.
- RAMOS, S. O. *Variações sazonais dos níveis freáticos do aquífero cárstico da região de Irecê, Bahia: implicações para estimativa da recarga*. , 2005. 117f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia, 2005.
- SAMPAIO, A. R. (Org). *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB*. Jacobina. Folha SC 24-y-C, Estado da Bahia. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM/ DIEDIG/DEPAT, 2001.
- SANTOS, C. P. L. dos. *Análise dos processos de salinização das águas subterrâneas da bacia do rio Salitre por meio de traçadores ambientais*. 2008. 152f. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. 2008.
- SHARMA, M. L. (ed). *Groundwater recharge*. Balkema, Rotterdam. 1989. 323p.
- SIMMERS, I. (ed). *Recharge of phreatic aquifers in semi-arid áreas*. Balkema, Rotterdam. 1997. 277p.
- SRIVASTAVA, N. K. *Relatório preliminar sobre os estromatólitos da Formação Caboclo na região de Morro do Chapéu (Bahia)*. Relatório de consultoria para CPRM/ SUREG/SA, 1989.
- VALLE, M. A. *Hidrogeoquímica do Grupo Una (Bacias de Irecê e Salitre): um exemplo da ação de ácido sulfúrico no sistema cárstico*. 2004. 122f. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 2004.
- VRBA J.; SOBLSEK P. *Groundwater monitoring*. En *Geology and Environment International Manual in three volumes*. UNESCO. UNEP, 1988.
- VRBA, J.; ZAPOROZEC, A. *Classification and review of groundwater vulnerability maps*. En VRBA, J.

y ZAPOROZEC, A. (Eds.), *Guidebook on mapping groundwater vulnerability*. International contributions to hydrogeology. (16):21-30. 1994.

VRBA, J. *The role of groundwater monitoring in the management of groundwater resources*. Simpósio LatinoAmericano de Monitoramento de Águas Subterrâneas, I. Belo Horizonte-MG. 16p. 2006.

WAHNFRIED, I.; HIRATA, R. *Comparação de métodos de estimativa de recarga de aquíferos em uma planície aluvionar na bacia hidrográfica do Alto Tietê (São Paulo)*. In: RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 10, n. 2., 15-2, Abr/Jun 2005.

WHITE, W. B. *Geomorphology and hydrology of karst terrains*. New York, Oxford University Press. 1988. 464p.

ZUBLENA, J. P.; COOK, M. G.; ST CLAIR, M. B. *Pollutants in groundwater: health effects*. 2001. Disponível: <http://ces.soil.ncsu.edu/soilscience/publications/soil facts>. Acessado em 10 out 2010.

### ***Hydrochemical and Hydrogeological Characterization of the Karst Salitre Aquifer in region of Irecê, Bahia.***

#### **ABSTRACT**

*The Salitre aquifer located in the central portion of the State of Bahia, in the Irecê basin is formed by karstic rocks, constituting a free and heterogeneous aquifer, of the karst-fissure type, depending on the action of calcium carbonate dissolution processes, together with the presence of a fracturing system. In this context, this article aims to evaluate the quality of groundwater and aquifer vulnerability to contamination of the karst Salitre aquifer in the area, according to the data obtained by chemical analysis of 40 parameters and 32 semi-volatile compounds chosen for the hydrogeochemical diagnosis of the area. The average effective recharge calculated was 35.49mm/year, accounting for 5.44% of the total rainfall in the area, with an average regulating reservation obtained in the order of  $8.9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ . The analysis of the Piper hydrochemical diagrams shows that 51.62% of the analyzed samples are characterized as Calcic Bicarbonated and Mixed water and 48.38% have Calcic Chlorinated and Mixed water. The saturation index of carbonates: calcite, aragonite and dolomite present positive mean values indicating that chemical species analyzed present supersaturation conditions in the waters, corresponding to fouling waters, while the saturation indices of gypsum have mean negative values, indicating subsaturated solution.*

**Keywords:** Hydrochemistry. Saturation indices. Karst aquifer.