



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 478

**CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA DOS AQUÍFEROS
FREÁTICOS COSTEIROS NA CIDADE DE SALINÓPOLIS-PA**

Dissertação apresentada por:

ÉRIKA DO SOCORRO FERREIRA RODRIGUES

Orientador: Prof. Dr. José Augusto Martins Corrêa (UFPA)

**BELÉM
2016**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP) Sistema
de Bibliotecas da UFPA

Rodrigues, Érika Ferreira, 1975-
Caracterização hidroquímica dos aquíferos freáticos costeiros na cidade de
Salinópolis-PA / Érika Ferreira Rodrigues. - 2016.

Orientador: José Augusto Martins Corrêa. Dissertação
(Mestrado) - Universidade
Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-
Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2016.

1. Água – Qualidade – Salinópolis (PA). 2. Aquíferos -
Salinópolis (PA). 3. Costa - Salinópolis (PA). 4. Química da
água - Salinópolis (PA). I. Título.

CDD 22. ed. 628.1098115



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA DOS AQUÍFEROS FREÁTICOS COSTEIROS NA CIDADE DE SALINÓPOLIS-PA

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

ÉRIKA DO SOCORRO FERREIRA RODRIGUES

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.**

Data de Aprovação: 08 / 06 / 2016

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Augusto Martins Corrêa
Orientador-UFPA

Prof.ª Dr.ª Aline Maria Meiguins Lima
Membro-UFPA

Prof. Dr. Antonio Carlos F. N.S. Tancredi
Membro-UFPA

Dedico este trabalho aos meus verdadeiros amores:

Minha querida mãe e filhos

AGRADECIMENTOS

À CAPES;

Ao Programa de Pós graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG);

À minha mãe Edna Ferreira e filhos Igor Rodrigues /Hannah Rodrigues.

Meus sinceros agradecimentos ao meu orientador José Augusto Martins Corrêa, pela paciência ao longo do mestrado;

Aos professores Paulo Pontes e Alinhe Meiguins;

Aos meus queridos amigos: Liliane Nogueira, Paloma Camargo, Laís Aguiar, Alexandre Máximo, Susiane Salazar, Darilena Monteiro Porfírio, Jaíne Freitas, Samuel Ribeiro, Boris Freimann, Caio Melo e Leila Hanna;

E os demais amigos que contribuíram para execução do trabalho.

RESUMO

A cidade de Salinópolis está localizada no nordeste paraense, região Bragantina do Estado do Pará. A geologia da área é caracterizada por uma cobertura sedimentar terciário representada pela Formação Pirabas, Grupo Barreiras e recobrimo dessas rochas podem ocorrer sedimentos areno-argilosos a argilo-arenosos do Quaternário atual denominados sedimentos Pós-Barreiras. Os principais sistemas hidrogeológicos de Salinópolis, de forma geral, são: a) sistema aquífero superior desenvolvido no Pós-Barreiras, aquíferos livres; b) sistema aquífero Barreiras, aquíferos livres e semi-confinados; c) sistema aquífero Pirabas, mais profundo, aquíferos confinados, sendo este um aquífero aflorante na região. Para o estudo foram cadastrados 22 poços sendo 17 poços tubulares rasos com profundidade de até 30 m (PT), 2 poços amazonas (AM) e 3 fontes (FT). A coleta das amostras foi realizada em intervalos de 2 meses durante um ciclo hidrológico completo de maio de 2014 a março de 2015. Os principais parâmetros de qualidade da água investigados foram: temperatura, pH, condutividade elétrica, alcalinidade, sólidos totais dissolvidos e os íons principais: cátions (Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) e ânions (F^- , Cl^- , NO_3^- e SO_4^{2-}). Foram identificados quatro grupos hidroquímicos no diagrama de Piper: grupo 1 (SO_4^- , Cl^- e Na^+) que assemelha-se ao aquífero Barreiras, grupo 3 ricas em (HCO_3^- e Ca^{2+}) cálcio e bicarbonato identifica-se com as águas do aquífero Pirabas e grupos 2 e 4 apresentaram características dos grupos 1 e 3. A partir dos diagramas de Piper, observou-se que com o aumento da recarga hídrica as águas do grupo 2 e 4 tiveram um comportamento de conexão hídrica, migrando para outro grupo hidroquímico. No diagrama de Schöller mesmo identificando os íons dominantes foi possível visualizar que há misturas em águas de um mesmo grupo hidroquímico, visualizado pela disposição em leque. No Diagrama de Van Wirdum foi identificado a ação do clima e das rochas na hidroquímica dos aquíferos. Na variação temporal de cada íon, observou-se que com início do déficit hídrico os poços localizados em lava-jatos e próximos a postos de combustíveis assim como próximos a praia e a rios estuarinos apresentaram o aumento de íons dissolvidos nas águas; bem como nas fontes naturais ou nascentes houve um grande aumento de vários íons, principalmente do sulfato. A Influência do clima, rocha, águas oceânicas, rios estuarinos, como também a contribuição do aquífero Barreiras e Pirabas mostraram uma composição hidroquímica bastante peculiar nas águas dos aquíferos costeiros rasos na cidade de Salinópolis.

Palavras-chave: Qualidade da água. Aquíferos costeiros. Grupos hidroquímicos.

ABSTRACT

The city of Salinópolis is located in northeast Pará, Bragantina region, on Pará State. The geology of the area is characterized by a sedimentary cover Tertiary represented by Pirabas Formation, Barreiras Group and overlying these rocks may occur sandy-clay sediments to clay-sand the quaternary called Pós-Barreiras sediments. The main hydrogeological systems Salinópolis, in general, are: a) upper aquifer system developed in the Pós-Barreiras, unconfined aquifers; b) aquifer system Barreiras, unconfined aquifers and semi-confined; c) aquifer system Pirabas, deeper confined aquifers, which is an outcropping aquifer in the region. For the study were registered 22 wells of which 17 shallow wells with depths up to 30 m (PT), two dug wells (AM) and 3 sources (FT). The collection of samples was performed at intervals of two months for a full hydrological cycle, May 2014 to March 2015. The main quality parameters investigated were water temperature, pH, electrical conductivity, alkalinity, total dissolved solids and main ions: cations (Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) and anions (F^- , Cl^- , NO_3^- and SO_4^{2-}). Hydrochemical four groups were identified in the Piper diagram: group 1 (SO_4^- , Cl^- and Na^+) that resembles the aquifer Barreiras. In the waters of group 3 rich in calcium and bicarbonate is identified with the Pirabas water aquifer (HCO_3^- and Ca^{2+}) since the water in groups 2 and 4 showed characteristics of group 1 and 3. From Piper diagrams, it was observed that with increasing water recharge the group 2 and 4 water had a water connection behavior, migrating to another group hydrochemical. In Scholler diagram, even identifying the main ions was possible to see that there are mixtures in water of the same hydrochemical group, visualized by the provision in fan. In Diagram Van Wirdum was identified climate and rocks actions on the aquifers hydrochemistry. Range distribution has been observed that with the beginning of the drought wells located in car washes and near gas stations as well as near the beach and estuarine rivers showed an increase of ions dissolved in the water. As well as in natural sources or springs there was a large increase in number of ions, especially the sulfate Climate Influence, rock, ocean waters, estuarine rivers, as well as the contribution of the aquifer Barreiras and Pirabas showed a peculiar hydrochemical composition in the waters of aquifers shallow coastal city in Salinópolis.

Key words: Water quality. coastal aquifers. hydrochemical groups.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Balanço hídrico climatológico do município de Salinópolis.	5
Figura 2 - Coluna estratigráfica da região Nordeste do Pará.....	6
Figura 3 - Mapa Geológico, geomorfológico e pedológico do município de Salinópolis.....	8
Figura 4 - Mapa de poços da COSANPA e perfis litológicos descritos por Freimann (2012) conjugados com poços subterrâneos rasos na cidade de Salinópolis.	11
Figura 5 - Mapa de acesso ao município de Salinópolis.	12
Figura 6 - Mapa de drenagem da cidade de Salinópolis identificando os principais rios que contornam a área estudada.....	13
Figura 7 - (a) Poço tubular PTSAL 01; (b) Poço tubular PTSAL02;(c) Fonte natural (FTSAL04); (d) Fonte natural do Caranã (FTSAL05); (e) Poço tubular PTSAL 07; (f) Poço tubular PTSAL08.....	16
Figura 8- (a) Fonte natural (FTSAL09); (b) Poço tubular PTSAL10; (c) Poço tipo amazonas (AMSAL11); (d) Poço tubular PTSAL12; (e) Poço tubular PTSAL13; (f) Poço tubular PTSAL14.....	17
Figura 9- (a) Poço tipo amazonas (AMSAL15); (b) Poço tubular PTSAL16; (c) Poço tubular PTSAL18; (d) Poço tubular PTSAL19; (e) Poço tubular (PTSAL20).....	18
Figura 10- Localização dos poços amostrados na cidade de Salinópolis, nordeste paraense.	21
Figura 11 - Representação do erro da reação do balanço iônico, (Período Seco).	24
Figura 12- Representação do erro da reação do balanço iônico, (Período Chuvoso).....	25
Figura 13- Correlação entre somatório de ânions e cátions nas análises das águas subterrâneas, período seco (meq/L).....	25
Figura 14- Correlação entre somatório de ânions e cátions nas análises das águas subterrâneas, período chuvoso (meq/L).....	26
Figura 15- Histogramas de valores para: A) pH; B) cond. Elétrica (CE); C) cloreto (Cl ⁻); D) cálcio (Ca ²⁺).....	29
Figura 16- Histogramas de valores para: E) sódio (Na ⁺); F) potássio (K ⁺) das águas de 22 poços provenientes de todas as campanhas de amostragem; G) sólidos totais dissolvidos (STD); H) bicarbonato (HCO ₃ ⁻); I) sulfato (SO ₄ ²⁻); e J) magnésio (Mg ²⁺) das águas de 22 poços provenientes de todas as campanhas de amostragem.....	30
Figura 17- Diagrama de Piper mostrando os diferentes grupos hidroquímicos (Período Seco).	32

Figura 18- Diagrama de Schöller mostrando a assinatura geoquímica dos 4 grupos de água, Período seco.....	33
Figura 19 - Diagrama de Piper com os diferentes grupos hidroquímicos (Período Chuvoso).	35
Figura 20- Diagrama de Schöller mostrando a assinatura geoquímica dos 4 grupos de águas, Período chuvoso.	36
Figura 21- Diagrama Van Wirdum para as águas subterrâneas dos grupos hidroquímicos 1,2,3 e 4 (a) período seco e (b) período chuvoso. Onde At = atmosférica, Li = litotróficas e Th = Thalassotrófico = (marinha).	38
Figura 22- (a) Na^+ vs Cl^- das amostras (meq/L) do grupo 1, períodos seco e chuvoso; (b) Na^+ vs HCO_3^- das amostras (meq/l) do grupo 2, períodos seco e chuvoso.....	42
Figura 23 - (a) Ca^+ vs HCO_3^- das amostras (meq/L) do grupo 3, períodos seco e chuvoso. (b) Ca^{2+} vs Cl^- das amostras (meq/L) do grupo 4, períodos seco e chuvoso.	43
Figura 24- Diagrama mostrando a variação temporal dos valores de pH nas águas dos diferentes grupos hidroquímicos na área de estudo. E o mês de setembro indicando início de déficit hídrico (maio/2014 a março/2015).....	45
Figura 25- Diagramas mostrando a variação temporal da condutividade elétrica nas águas dos diferentes grupos hidroquímicos na área de estudo. E o mês de setembro indicando início de déficit hídrico (maio/2014 a março/2015).....	47
Figura 26- Diagramas mostrando a variação temporal dos valores de bicarbonato nas águas dos diferentes grupos hidroquímicos na área de estudo. E o mês de setembro indicando início de déficit hídrico (maio/2014 a março/2015).	49
Figura 27- Diagramas mostrando a variação temporal dos valores de cloreto nas águas dos diferentes grupos hidroquímicos na área de estudo. E o mês de setembro indicando início de déficit hídrico (maio/2014 a março/2015).....	51
Figura 28- Diagramas mostrando a variação temporal dos valores de sulfato nas águas dos diferentes grupos hidroquímicos na área de estudo. E o mês de setembro indicando início de déficit hídrico (maio/2014 a março/2015).	53
Figura 29-Diagramas mostrando a variação temporal dos valores de sódio nas águas dos diferentes grupos hidroquímicos na área de estudo. E o mês de setembro indicando início de déficit hídrico (maio/2014 a março/2015).....	55

- Figura 30- Diagramas mostrando a variação temporal dos valores de cálcio nas águas dos diferentes grupos hidroquímicos na área de estudo. E o mês de setembro indicando início de déficit hídrico (maio/2014 a março/2015). 57
- Figura 31- Diagramas mostrando a variação temporal dos valores de magnésio nas águas dos diferentes grupos hidroquímicos na área de estudo. E o mês de setembro indicando início de déficit hídrico (maio/2014 a março/2015) 59
- Figura 32- Diagramas mostrando a variação temporal dos valores de potássio nas águas dos diferentes grupos hidroquímicos na área de estudo. E o mês de setembro indicando início de déficit hídrico (maio/2014 a março/2015). 61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais características dos poços amostrados. (Continua).....	14
Tabela 2 - Relação entre a condutividade elétrica e o erro admissível segundo Custódio e Llamas (2001).....	24
Tabela 3 - Resumo estatístico dos parâmetros físico-químicos e químicos das amostras de água subterrânea na área em estudo- Período Seco.....	27
Tabela 4 - Resumo estatístico dos parâmetros físico-químicos e químicos das amostras de água subterrânea na áreas de estudo - Período Chuvoso.....	28
Tabela 5 - Matriz de correlação dos principais parâmetros hidroquímicos dos grupos 1, 2 e 3 (período seco).	40
Tabela 6 - Matriz de correlação dos principais parâmetros hidroquímicos dos grupos 1, 2 e 3 (período chuvoso).	41

LISTA DE SIGLAS

APHA– American Public Health Association

BI – Balanço Iônico

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

COSANPA – Companhia de Saneamento do Pará

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

RMB – Região Metropolitana de Belém

STD- sólido totais dissolvidos

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	IV
AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	VIII
LISTA DE TABELAS	XI
LISTA DE SIGLAS	XII
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	4
3.1 CLIMA	4
3.1.1 balanço hídrico	4
3.2 VEGETAÇÃO.....	5
3.3 GEOLOGIA LOCAL	6
3.4 COBERTURA DE SOLOS	8
3.5 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO.....	9
3.5.1 Aquíferos Pós-Barreiras	9
3.5.2 Aquíferos Barreiras	9
3.5.3 Aquíferos Pirabas	9
4 LOGÍSTICA E ASPECTOS DEMOGRÁFICOS	12
5 ANÁLISE DESCRITIVA DOS POÇOS ESTUDADOS NA CIDADE DE SALINÓPOLIS	14
6 MATERIAIS E MÉTODOS	19
6.1 DIAGRAMAS HIDROQUÍMICOS.....	19
6.1.1 Diagrama de Piper	19
6.1.2 Diagrama de Schöller	19
6.1.3 Diagrama de Van Wirdum	20
6.2 PROCEDIMENTO DE CAMPO.....	20
6.3 PROCEDIMENTO DE LABORATÓRIO.....	22

6.4	BALANÇO IÔNICO	23
7	RESULTADOS E DISCURSÕES	27
7.1	ANÁLISE ESTATÍSTICA	27
7.2	CARACTERIZAÇÃO DOS GRUPOS HIDROQUÍMICOS	31
7.2.1	Período com baixa pluviosidade (Período Seco)	31
7.2.2	Período com elevada pluviosidade (Período Chuvoso)	34
7.3	INTERPRETAÇÕES ATRAVÉS DO DIAGRAMA DE VAN WIRDUM	37
7.4	ANÁLISE DE CORRELAÇÃO	39
7.5	VARIAÇÃO SAZONAL OBSERVADA NOS GRUPOS HIDROQUÍMICOS.....	44
7.5.1	pH	44
7.5.2	Condutividade Elétrica	46
7.5.3	Ânions e Cátions	48
7.5.3.1	Bicarbonato (HCO_3^-)	48
7.5.3.2	Cloreto (Cl^-)	50
7.5.3.3	Sulfato (SO_4^{2-})	52
7.5.3.4	Sódio (Na^+)	54
7.5.3.5	Cálcio (Ca^{2+})	56
7.5.3.6	Magnésio (Mg^{2+}).....	58
7.5.3.7	Potássio (K^+).....	60
8	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS	64
	ANEXO	68

1 INTRODUÇÃO

Em regiões urbanas litorâneas, o principal recurso hídrico a se utilizar são as águas subterrâneas (Post 2005). A gestão das águas subterrâneas requer um entendimento dos principais processos que controlam a evolução geoquímica e a origem dessas águas. Nesse sentido, um estudo hidrogeoquímico detalhado da qualidade dessas águas, fornecerá informações sobre a sua história hidrogeológica, a influência dos solos e rochas por onde a água circula e seu modo de origem dentro do ciclo hidrológico (Paranhos 2010).

Áreas em regiões litorâneas têm por característica, águas afetadas por processos químicos e físicos, que em sua conjuntura causam variações extremas tanto temporal como espacial na qualidade das águas (Pulido-Lenboef 2004).

O abastecimento de água potável para a população no município de Salinópolis é feito pela COSANPA (Companhia de Saneamento do Pará), através de diversos poços (Freimann 2012) assim como em poços construídos em residências e comércios, podendo ser do tipo tubular, amazonas (escavados) ou provenientes de surgências (fontes e nascentes). A profundidade dos poços de abastecimento da COSANPA varia de 80 a 160 metros, sempre captando água subterrânea nos aquíferos da Formação Pirabas (Freimann 2012).

Freimann (op. cit.) através de estudos hidrogeológico e de perfis geofísicos em poços de Salinópolis, mostrou que as rochas do Grupo Barreiras, devido à alternância entre camadas argilosas e arenosas, confinam diversos aquíferos na região. Em sua pesquisa, observou que sotoposta ao Grupo Barreiras, a Formação Pirabas se configura por uma sequência de calcário e arenito calcífero apresentando intercalações periódicas de argilitos

Esses dois sistemas hidrogeológicos contribuem por aumentar as chances de armazenamento de água para abastecimento e também para uma complexa misturas de águas, agregando diferentes características hidrogeoquímicas para às águas da área de estudo.

As características hidrogeoquímicas de águas subterrâneas associadas às coberturas cenozóicas (Pós-Barreiras, Grupo Barreiras e Formação Pirabas), na mesorregião do nordeste do Pará, foram apresentadas por Otobo (1995) e Souza (1996). Enquanto Otobo concentrou-se em águas subterrâneas de Capanema, Salinópolis e outras localidades, Souza (1996) avaliou situações observadas em Tauari e Salinópolis. Em ambos os trabalhos enfatizou-se a influência do calcário do sistema aquífero Pirabas, na rica composição dos íons dominantes, em contraste com a influência do material areno-argiloso do Pós-Barreiras (mais superficial) e

do Grupo Barreiras (situado na porção intermediária dos perfis) que dá origem a águas com baixo conteúdo eletrolítico (Costa 2004).

Nesse contexto, um estudo que identifique e caracterize geoquimicamente as águas dos aquíferos rasos situados na cidade de Salinópolis é essencial para explicar a complexa composição geoquímica das águas subterrâneas de poços situados na cidade de Salinópolis entre os rios Sampaio e Urindeua e o oceano Atlântico.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar a caracterização hidrogeoquímica dos aquíferos costeiros rasos na cidade de Salinópolis, definindo os diferentes tipos de água observadas na área e apontando os principais fatores que influenciam a sua composição.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a análise qualitativa e quantitativa das águas dos aquíferos rasos na cidade de Salinópolis.
- Determinar os principais fatores que influenciam na composição das águas superficiais na área de estudo.
- Discutir a influência do clima, das rochas e do mar na qualidade das águas nos diferentes aquíferos estudados.
- Estabelecer fácies hidroquímicas.
- Realizar a variação temporal entre os grupos hidroquímicos.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 CLIMA

O município de Salinópolis apresenta o clima *Aw*, na classificação de Köppen, de reduzida amplitude térmica. O índice pluviométrico anual é cerca de 2.335,20 mm, sendo que 90% dessa pluviosidade se distribui nos seis primeiros meses do ano (INMET 2015).

Salinópolis apresenta características peculiares da região Equatorial, com temperatura média anual em torno de 27,4 °C, sendo as mínimas e máximas com valores de 26,5 °C e 28,2°C respectivamente (INMET, 2015). O período entre julho e dezembro é o mais quente do ano (Mengawaco 1995). O clima na Costa amazônica é direcionado pela sazonalidade na posição da zona de convergência Inter-Tropical (ZCIT). Climatologicamente a posição longitudinal da ZCIT é de 14°N em agosto e setembro e cerca de 2°S em março e abril (Souza Filho et al., 2009).

3.1.1 balanço hídrico

O balanço hídrico, foi estabelecido com base em dados climatológicos do município de Salinópolis obtidos por consulta genérica para a seção de observação e meteorologia aplicada (SEOMA), distrito ligado ao Inmet que compete controlar o funcionamento da rede de meteorológica, em nível regional.

O cálculo do balanço hídrico foi realizado empregando o método de Thornthwaite & Mather (1955) através do programa “BHnorm” elaborado em planilha eletrônica por Rolim *et al.*(1998) entre o período de março de 2014 à fevereiro de 2015. Foi utilizado o nível máximo de armazenamento ou capacidade de água disponível apropriada (CAD) Informações sobre a precipitação pluviométrica da região são importantes para a interpretação dos parâmetros físico-químicos. Em geral, o período entre agosto de 2014 a janeiro de 2015, na área de estudo foi que apresentou a menor precipitação. O balanço hídrico, pela classificação de Thornwaite, corresponde ao clima B2 S”Aa”, ou seja, úmido, com moderada deficiência no verão, megatérmico, com evapotranspiração potencial de 1.675,48 mm e a evapotranspiração real 1.016,58 mm. Apresenta, assim, excedente hídrico anual entre janeiro a junho de 1318,62 mm e deficiência hídrica de 697,35 mm (Figura 1)

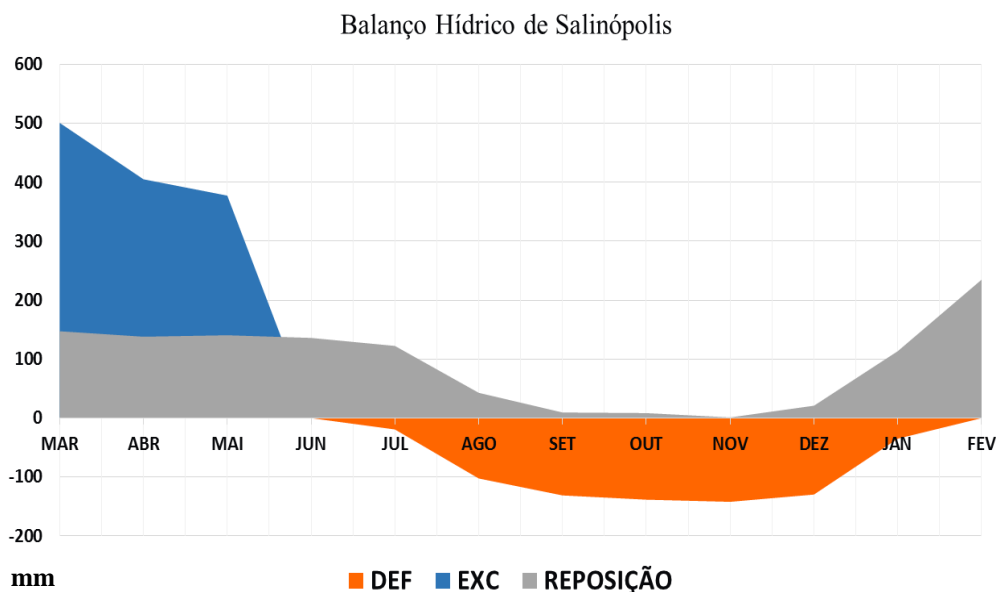


Figura 1- Balanço hídrico climatológico do município de Salinópolis.
Fonte: Adaptado INMET 2015

3.2 VEGETAÇÃO

A vegetação recobre terrenos de terras firmes e várzeas, no âmbito municipal de Salinópolis. Na terra firme, a forte ação do homem implantando cultivos de subsistência migratórios, alterou a vegetação original, dando ensejo à ocorrência de Florestas Secundárias, onde se verifica uma grande intensidade de palmeiras, principalmente das espécies *Maximiliano regia* e *Orbygnia oleífera* (Inajá e Babaçu, respectivamente). A floresta primitiva, ainda remanescente em pequenos tratos isolados, corresponde ao tipo geral das Florestas Tropicais Úmidas, e ao subtipo Floresta Densa dos baixos platôs Pará-Maranhão (Costa 2004).

Nas áreas sujeitas a inundações, devido à influência salina da água do mar, predominam os manguezais, com suas espécies características (*Rhizophora* e *Avicennia*). Ao longo do litoral, também é possível detectar a presença de pequenas áreas de vegetação de dunas e restingas. Ao longo dos altos cursos d'água e pequenos igarapés, onde não ocorre a influência salina, ainda é possível encontrar as matas ciliares com elevada presença de palmeiras, dentre as quais se destaca o buriti ou miriti (*Mauritia ssp*) (Sepof 2008).

3.3 GEOLOGIA LOCAL

A cidade de Salinópolis está situada sobre a Plataforma Bragantina (Figura 2). Dessa plataforma duas unidades litoestratigráficas são observadas, da base para o topo, rochas da Formação Pirabas do final do Oligoceno-Mioceno inferior e na parte superior, as rochas siliciclásticas do Grupo Barreiras do Mioceno Médio (Rossetti 2001). Recobrimdo essas rochas podem ocorrer sedimentos areno-argilosos a argilo-arenosos do Quaternário Pleistocênico denominados sedimentos Pós-Barreiras e sedimentos modernos do Holoceno (dunas, aluviões, praias e mangues) (Rossetti 1989).





ERA	PERÍODO	ÉPOCA	UNIDADE ESTRATIGRÁFICA	LITOLOGIA	DESCRIÇÃO
CENOZÓICA	QUATERNÁRIO	HOLOCENO	Sedimentos Modernos (aluviões e dunas)		Areias de granulometria fina a média de cor marrom, intercaladas a argilas escuras, com restos de vegetais, distribuídas nas orlas dos rios e igarapés.
		PLEISTOCENO	Pós-Barreiras		Sedimentos areno-argilosos sem estruturas, depósitos aluvionares siliciclásticos areno-argilosos com tons amarelados e localmente avermelhados nas porções inferiores.
	TERCIÁRIO	PLIOCENO	Grupo Barreiras		Sedimentos areno-argilosos, arenosos, conglomeráticos polimíticos, cores mosqueadas, arenitos amarelados de granulação média.
		MIOCENO INFERIOR	Formação Pirabas		Calcários fossilíferos e margas intercalados a folhelhos cinza esverdeados e negros.

Figura 2 - Coluna estratigráfica da região Nordeste do Pará.
Fonte: Modificado de Borges (1988, *apud* Costa 2004)

Rossetti (2001) propôs uma divisão das rochas na região nordeste do Pará em três sequências:

- **Sequência A:** Compreende a Formação Pirabas e a parte inferior do Grupo Barreiras. Esta sequência representa a passagem gradual lateral e ascendente dos depósitos Pirabas para os sedimentos do Grupo Barreiras. As fases finais da sedimentação Pirabas e o início da deposição Barreiras são considerados de idade contemporânea (Costa et al., 1992; Góes et al., 1990; Rossetti 2001; Palheta 2008);
- **Sequência B:** Corresponde a parte intermediária e superior do Grupo Barreiras;
- **Sequência C:** representada pelos sedimentos Pós-Barreiras.

O Pós-Barreiras (Quaternário antigo) consiste de sedimentos areno-argilosos inconsolidados, facilmente desagregáveis, com partículas de fração silte e fração argila, com leitos poucos espessos de seixos e blocos líticos rolados ou pouco movimentados de arenito ferruginoso. Incluem também os sedimentos modernos aluvionares holocênicos da faixa costeira e dos vales dos rios e igarapés que cortam a região (Rossetti et al., 1990).

O Grupo Barreiras encontra-se distribuído amplamente no litoral norte do Brasil, com depósitos siliciclásticos constituídos por uma variedade de rochas onde se destacam arenitos maciços e estratificados, argilitos laminados e maciços, pelitos e conglomerados (Palheta 2008). São ambientes que sugerem deposição atribuída a ambientes transicionais do tipo estuarino, a partir de análises faciológicas e polinomórficas, sendo que a deposição de sua parte inferior pode ter ocorrido a partir do Mioceno (Rossetti et al., 1990).

Sotoposta ao Grupo Barreiras encontra-se a Formação Pirabas, esta aflora no nordeste do Pará, de forma destacada nos municípios de Salinópolis, Capanema e São João de Pirabas. Formada por calcários, areias, argilas, margas, arenitos, siltitos, argilitos, depositados em ambiente marinho, durante o Mioceno, ricamente fossilífera (Oliveira et al., 2001; Matta, 2002; Paranhos 2010).

No município de Salinópolis estão presentes as unidades litoestratigráficas: Formação Pirabas, Grupo Barreiras, Sedimentos do Pós-Barreiras e Recente (Quaternário) (Leite 2010). A presença de falésias deixa evidente os sedimentos da formação Barreiras e Pós-Barreiras na região da praia do Maçarico, foz do Rio Sampaio, e reentrâncias das baías que cortam o município, ponta do Cocal (Extremo leste do Atalaia) e Cuiarana.

Afloramentos rochosos da formação Pirabas são encontrados expostos na praia do Maçarico e Farol Velho (Ranieri 2014). Ao longo da costa, predominam sedimentos de idade Quaternária (Depósitos holocênicos) que compõem as praias, zonas inundáveis e campo de dunas recentes (Figura 3).

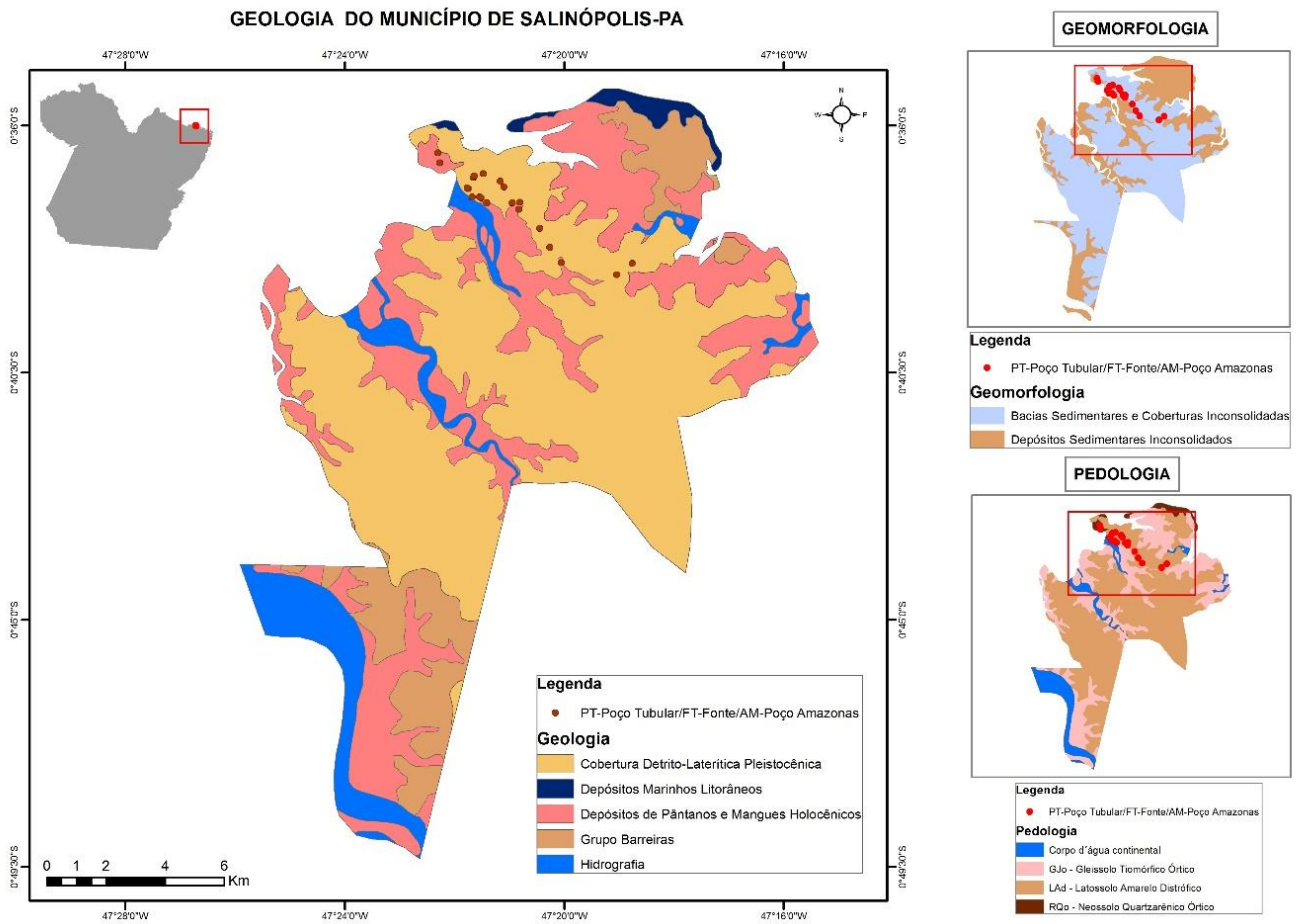


Figura 3 - Mapa Geológico, geomorfológico e pedológico do município de Salinópolis.
Fonte: Base vetorial IBGE (2006), elaborado pelo autor

3.4 COBERTURA DE SOLOS

Quanto a Pedologia, como mostra a Figura 3, a cidade de Salinópolis apresenta latossolos amarelos, de textura variada e concrecionário laterítica; latossolos amarelos de textura média. Solos hidromórficos gleizados de textura variada; e podzol hidromórfico. (Oliveira 2010).

3.5 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

Os principais sistemas hidrogeológicos no nordeste Paraense, de forma geral, são conhecidos como sistema hidrogeológico do Pós-Barreiras, Barreiras e o Pirabas (Carvalho 2001, Matta 2002, Cabral 2004, Paranhos 2010).

3.5.1 Aquíferos Pós-Barreiras

São formados por camadas de rochas argilo-arenosas, inconsolidadas. De acordo com Matta (2002), esses aquíferos apresentam um fraco potencial hidrogeológico, com baixas vazões ($5 \text{ m}^3/\text{h}$). Normalmente apresentam água de boa qualidade para consumo humano, apesar de sua vulnerabilidade, podendo apresentar teores excessivos de nitrato e amônia, além de ferro (Cabral 2004). São classificados como aquíferos livres cuja recarga se dá diretamente através das precipitações pluviométricas enquanto a descarga se efetiva através dos rios, fontes, evapotranspiração e poços (Oliveira et al., 2001).

3.5.2 Aquíferos Barreiras

Segundo Oliveira et al. (2001) são aquíferos de natureza livre, não apresentam grandes vazões ($10 \text{ a } 70 \text{ m}^3/\text{h}$) e frequentemente, apresentam teores de ferro fora do padrão recomendado pela Portaria 2914/2011 MS. Um dos fatores que define a potencialidade do aquífero é a espessura da camada. Na área de estudo, o Grupo Barreiras apresenta arenitos de espessura que oscila em torno de 15 m, sendo explorado através de poços tipos escavados (amazonas) ou tubulares rasos (Araújo 1998).

3.5.3 Aquíferos Pirabas

Aflora em áreas restritas da região Nordeste do Pará mais precisamente na zona Bragantina, nos municípios de Capanema, Peixe-Boi, Nova Timboteua, Bragança, Irituia e na faixa litorânea da zona do Salgado, nos municípios de Primavera, Marapanim, Maracanã e Salinópolis (Costa et al., 1977; Bezerra 1991). O sistema aquífero Pirabas possui um potencial moderado, com aquíferos apresentando permeabilidades relativamente altas nos arenitos de granulação mais grossa (Oliveira et al., 2001).

As características hidrogeoquímica de águas dos aquíferos Pirabas, na mesorregião Nordeste do Pará, foram estudadas por Otobo (1995), Souza (1996), Araújo (1998) e Costa (2004). Em todos os trabalhos este aquífero é caracterizado como possuindo águas com uma forte influência da rocha hospedeira (calcário), ricas em cálcio, magnésio e bicarbonato. O

calcário geralmente é compacto, bastante cimentado, com porosidade primária e secundária o que representa um bom potencial para o confinamento de água subterrânea. A espessura da Formação Pirabas oscila em torno de 110 m e apresenta grande potencialidade para o abastecimento de Salinópolis (Araújo 1998).

Do ponto de vista da qualidade das águas, apresentam água de boa qualidade, não havendo nenhuma restrição para o consumo humano. O pH varia entre 7 e 7,5 e o conteúdo em sólidos totais dissolvidos oscila entre 242 e 383 mg/L. A dureza total (em CaCO_3) varia entre 110 a 235 mg/L, com uma média de 165 mg/L CaCO_3 (Paranhos 2010).

Carvalho (2001) considerando os principais cátions e ânions classificou as águas dos aquíferos Pirabas como cálcico-magnesianas-bicarbonatadas. O manganês e o ferro, dependendo da área onde o poço foi construído mostram concentrações baixas.

Freimann (2012) utilizando perfis geofísicos em poços na cidade de Salinópolis concluiu que existem camadas de rochas carbonáticas que devem iniciar na cota aproximada de -5 m, o que deve corresponder aos afloramentos de calcário que ocorrem em alguns pontos. A sequência de rochas sedimentares possui camadas permeáveis e impermeáveis de diferentes espessuras. As camadas permeáveis são constituídas de areias, arenitos, calcários e calcarenitos, conforme as descrições litológicas de amostra de calha contida no perfil litológico e impermeáveis com argilas e folhelhos.

A Figura 4 mostra alguns poços na área de estudo descritos por Freimann (2012). Utilizando-se os pontos (I, N, J, B, P e D) e (C, H, I) foi possível construir os perfis litológicos I a D no sentido NW-SE e C a I aproximadamente N-S.

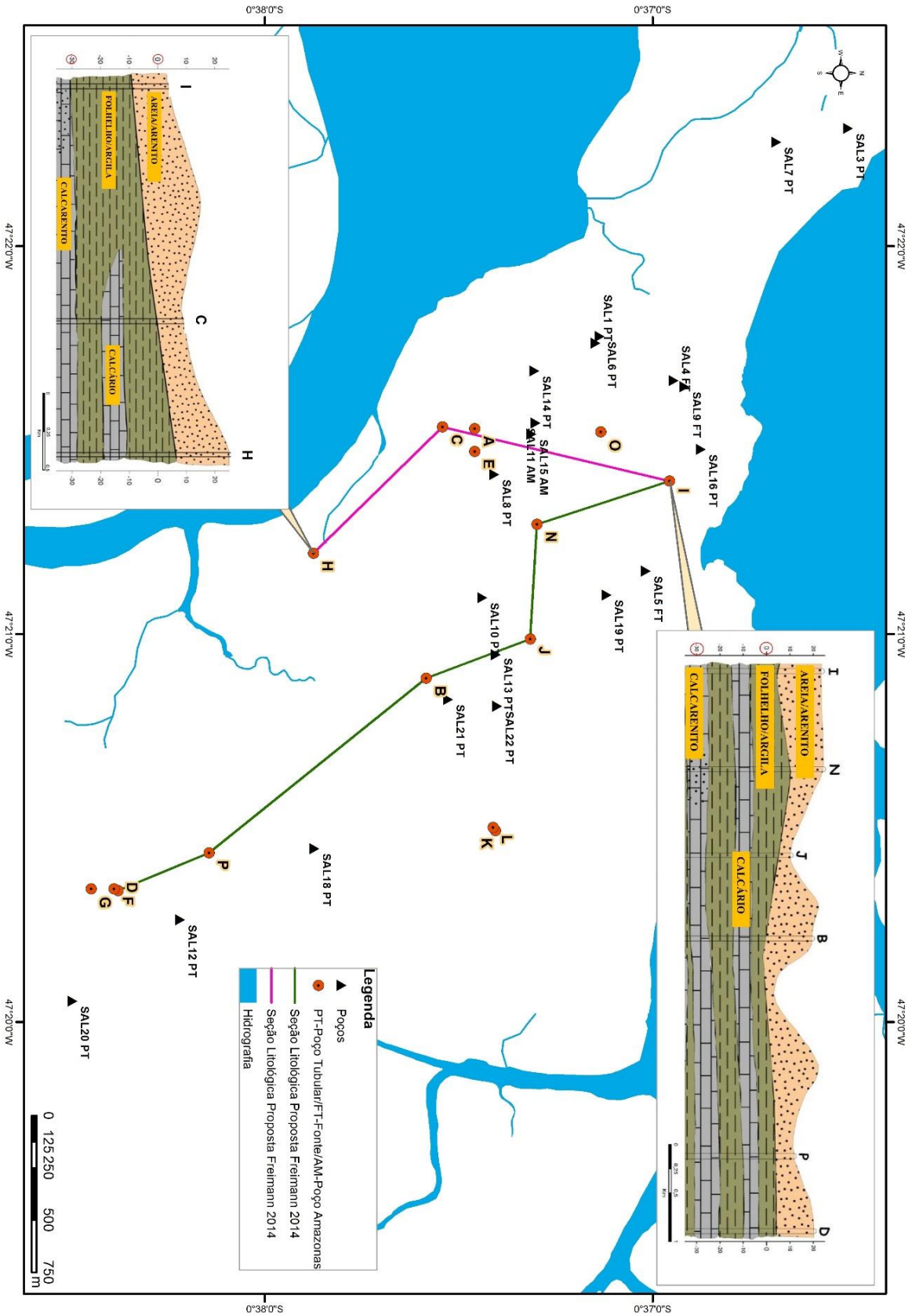


Figura 4 - Mapa de poços da COSANPA e perfis litológicos descritos por Freimann (2012) conjugados com poços subterrâneos rasos na cidade de Salinópolis.
 Fonte: do Autor

4 LOGÍSTICA E ASPECTOS DEMOGRÁFICOS

O município de Salinópolis pertence à mesorregião Nordeste Paraense e a microrregião do Salgado, perfazendo uma área de aproximadamente 247 km² (Sepof 2008). A sede municipal encontra-se em: 00°36'47" S e 47°21'30" W (Figura 5). Ao norte a cidade limita-se com o Oceano Atlântico; à leste rio Arapeté; a sul com o Municípios de S. João de Pirabas e a oeste com o município de Maracanã. Os rios Urindeua e Sampaio atravessam o município (Ranieri 2014).

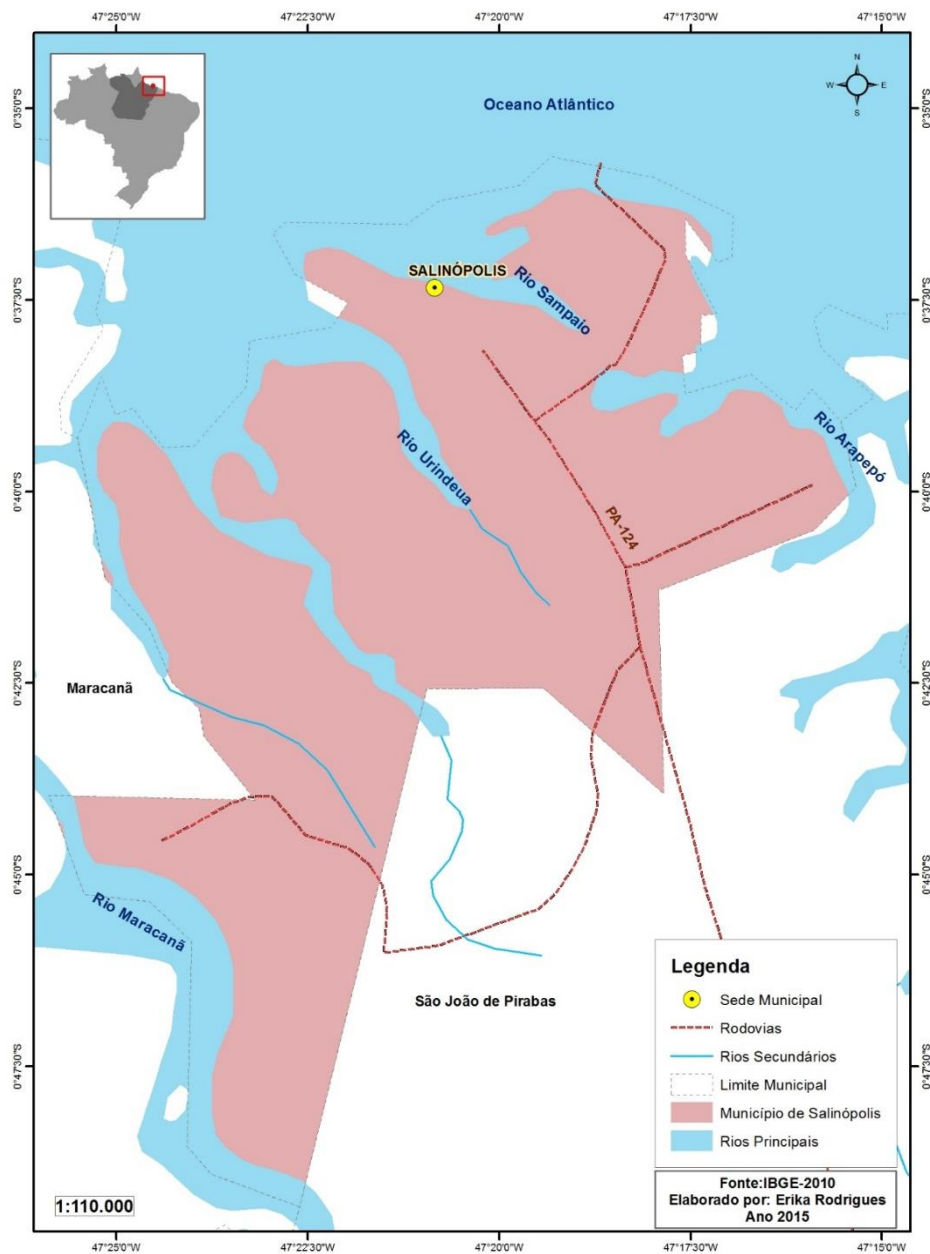


Figura 5 - Mapa de acesso ao município de Salinópolis.
Fonte: IBGE (2010)

O acesso ao município de Salinópolis a partir da capital Belém, é feito por terra através da BR-316 até o município de Santa Maria do Pará, continuando pela PA-324 e finalmente, após a localidade de Santa Luzia, no município de São João de Pirabas, pela PA-124 até a cidade de Salinópolis (IBGE 2010)

O principal destaque da hidrografia de Salinópolis são rios não muito extensos, porém, muito sinuosos, que têm sua foz nas baías que se abrem para o Atlântico. O maior é o rio Maracanã, que separa a sudoeste, Salinópolis do município de Maracanã. Na cidade de Salinópolis, o Rio Urindeua e o Rio Sampaio são de extrema importância, tanto para pesca, como para agricultura.

Existem três cursos d'água paralelos, que vertem para a baía do Urindeua, no sentido sudeste/noroeste: Urindeua, Arapiranga (que limita a Leste com São João de Pirabas) e o Muiramuípy. O rio Sampaio separa a praia do Farol Velho, da sede do município, desaguando no Oceano Atlântico (Figura 6).

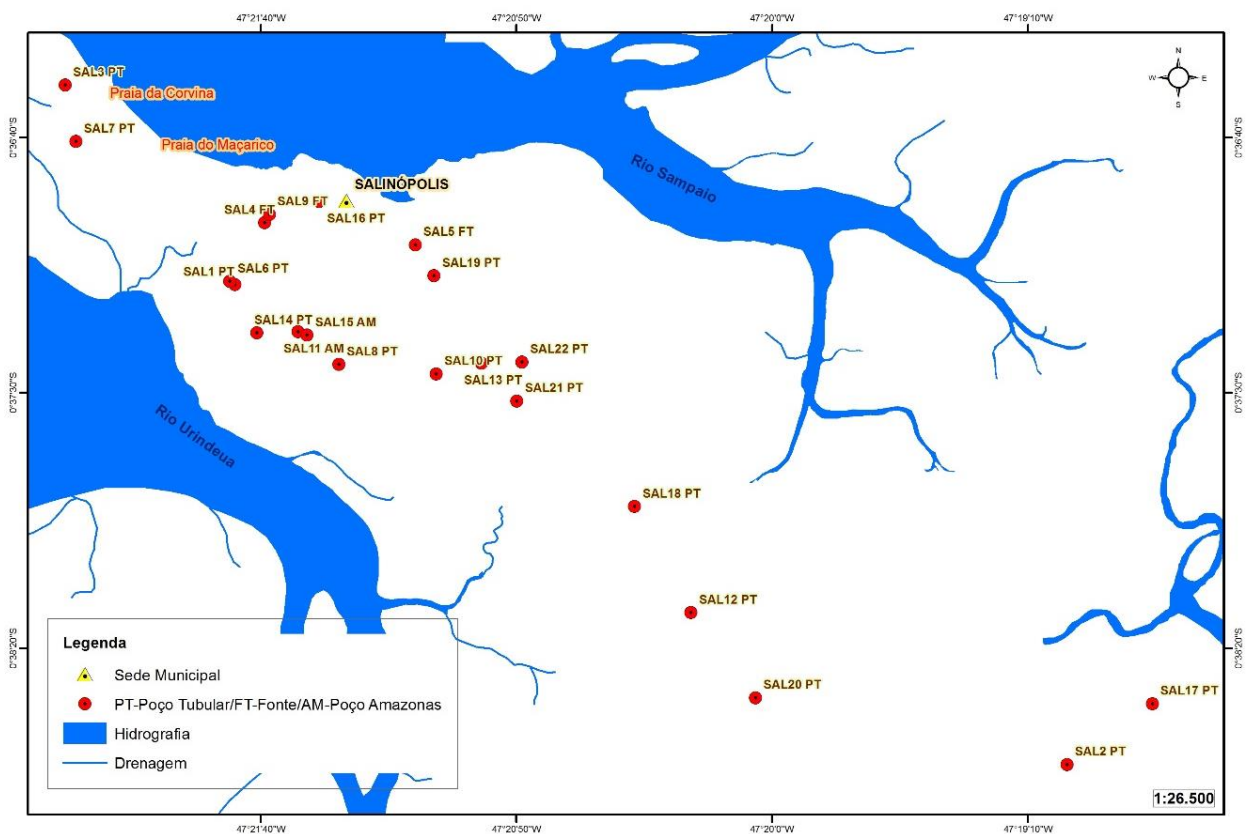


Figura 6 - Mapa de drenagem da cidade de Salinópolis identificando os principais rios que contornam a área estudada.

Fonte: Base vetorial IBGE (2006), elaborado pelo autor

5 ANÁLISE DESCRITIVA DOS POÇOS ESTUDADOS NA CIDADE DE SALINÓPOLIS

No município de Salinópolis, o abastecimento de água para a população local é feito pela COSANPA (Companhia de Saneamento do Pará), através de diversos poços distribuídos pela cidade (Freimann 2012). Para o estudo foram cadastrados 22 poços sendo 17 poços tubulares rasos, (PT), 2 poços escavados (amazonas)(AM) e 3 fontes (FT). (Tabela 1, Figura 7,8 e 9).

Tabela 1 - Principais características dos poços amostrados.

(Continua)

Poços	Descrição
Poço PTSAL01	O poço tipo tubular raso SAL 01 (237099 E/9931549 N) está localizado na cidade de Salinópolis, Rua Benjamin Constant nº258 (Bairro Novo) onde o morador informa que a profundidade é de 30 m.
Poço PTSAL02	O poço tipo tubular raso SAL 02 (242134,00 E/9928665 N) está localizado na cidade de Salinópolis, na rodovia PA do Atalaia, nº 778 (Bairro Ponte). No local está em funcionamento um lava jato. O responsável não informou a possível profundidade do poço.
Poço PTSAL03	O poço tipo tubular SAL 03 (236071 E/9932749 N), localiza-se na cidade de Salinópolis, rua João Pessoa (Bairro Maçarico) em frente à praia da Corvina. O responsável informou que a profundidade é de 30 m. Responsável do comércio de lanches não autorizou o registro fotográfico.
Fonte natural FTSAL04 Surgência	A fonte natural SAL FT04 (237278 E/9931921 N) localiza-se na cidade de Salinópolis, rua Manoel Pedro Castro nº523 (Bairro Centro). No entorno possui uma mata preservada com Buritizeiros (<i>Mauritia flexuosa</i>).
Fonte natural FTSAL05	Localizada na cidade de Salinópolis, a fonte do Caranã (238189 E/9931789 N) situa-se na Rua João Pessoa. A presença de uma nascente de água mineral conhecida como fonte do Caranã foi um dos motivos para Salinópolis ser considerada como Estação Hidromineral. Desde então a fonte do Caranã abastece a população local e mais recentemente passou a ser utilizada pelo Estado como atrativo turístico (ROCQUE, 1998).
Poço PTSAL06	O poço tipo tubular raso SAL 06 (237066 E/9931569 N), localiza-se na cidade de Salinópolis, rua Benjamin Constant nº250 (Bairro Novo). O responsável informou que a profundidade é de 30 m. Responsável da residência não autorizou o registro fotográfico.
Poço PTSAL07	O poço tipo tubular raso SAL 07 (236137 E/9932409 N), localiza-se na cidade de Salinópolis, rua Miriça Santa Brigida (Bairro Maçarico), Orla do Maçarico. O responsável informou que a profundidade é de 30 m.
Poço PTSAL08	O poço tipo tubular SAL 08 (237415 E/9930745 N), localiza-se na cidade de Salinópolis, Tv. Campos Sales. O responsável informou que a profundidade é de 30 m.
Fonte natural FTSAL09 Surgência	A fonte natural SAL 09 (237307 E/9931972 N) localiza-se na cidade de Salinópolis Passagem Guarani nº80 (Bairro Bosquinho).

(Conclusão)

Poços	Descrição
Poço PTSAL10	O poço tipo tubular raso SAL 10 (237394 E/9930739 N), localiza-se na cidade de Salinópolis, Tv. Nazaré com a São Tomé nº850 (Lava Jato). O responsável informou que a profundidade é de até 30m.
Poço amazonas AMSAL11 Escavado	O poço tipo amazonas(escavado) SAL 11 (237168 E/9930941 N), localiza-se na cidade de Salinópolis, rua Tiradentes nº488 (Bairro Porto Grande).
Poço PTSAL12	O poço tipo tubular SAL 12 (239858 E/9929577 N), localiza-se na cidade de Salinópolis, PA 124 nº 161 (Bairro Nova Brasília) Lava jato. O responsável informou que a profundidade é de até 30 m.
Poço PTSAL13	O poço tipo tubular SAL 13 (238598 E/9931051 N), localiza-se na cidade de Salinópolis, Rua Senador Lemos com Pariquis (Lava Jato). O responsável informou que a profundidade alcança 30 m.
Poço PTSAL14	O poço tipo tubular SAL 14 (236884 E/9930898 N), localiza-se na cidade de Salinópolis Rua Almirante Barroso (Fabrica de gelo) A ± 150m do Rio Urindeua. O responsável informou que a profundidade é de até 30m.
Poço amazonas AMSAL15 Escavado	O poço tipo amazonas (escavado) SAL 15 (237222 E/9930921 N), localiza-se na cidade de Salinópolis Rua Tiradentes nº537 (Bairro Porto Grande).
Poço PTSAL16	O poço tipo tubular SAL 16 (237607 E/9932050 N), localiza-se na cidade de Salinópolis Rua Eurico Castilho. O responsável informou que a profundidade pode alcançar até 30 m.
Poço PTSAL17	O poço tipo tubular SAL 17 (242650 E/9929031 N), localiza-se na cidade de Salinópolis, PA do Atalaia. O responsável informou que a profundidade não alcança mais de 30 m. Responsável da residência não autorizou o registro fotográfico
Poço PTSAL18	O poço tipo tubular SAL 18 (239517 E/9930215 N), localiza-se na cidade de Salinópolis, PA 124 nº 389 (Bairro Nova Brasília). O responsável informou que a profundidade não alcança mais de 30 m.
Poço PTSAL19	O poço tipo tubular SAL 19 (238303 E/ 9931603 N), localiza-se na cidade de Salinópolis, Av. Miguel Santa Brigida, ao lado do Supermercado Yamada em um ponto comercial que funciona um posto de combustível conjugado com um Lava jato. O responsável informou que a profundidade não alcança mais de 30 m.
Poço PTSAL20	O poço tipo tubular SAL 20 (240248 E/9929065 N), localiza-se na cidade de Salinópolis, PA 124 nº60 (Bairro Nova Brasília) Lava Jato. O responsável informou que a profundidade não alcança mais de 30 m.
Poço PTSAL21	O poço tipo tubular SAL 21 (238844 E/9930850 N), localiza-se na cidade de Salinópolis, PA 124 nº60 (Bairro Nova Brasília) Lava Jato. O responsável informou que a profundidade não alcança mais de 30 m. Responsável do lava jato não autorizou o registro fotográfico
Poço PTSAL22	O poço tipo tubular SAL 22 (238844 E/9930850 N), localiza-se na cidade de Salinópolis, rua Miguel Santa Brigida (HOTEL). O responsável informou que a profundidade não alcança mais de 30 m. Responsável do lava jato não autorizou o registro fotográfico.

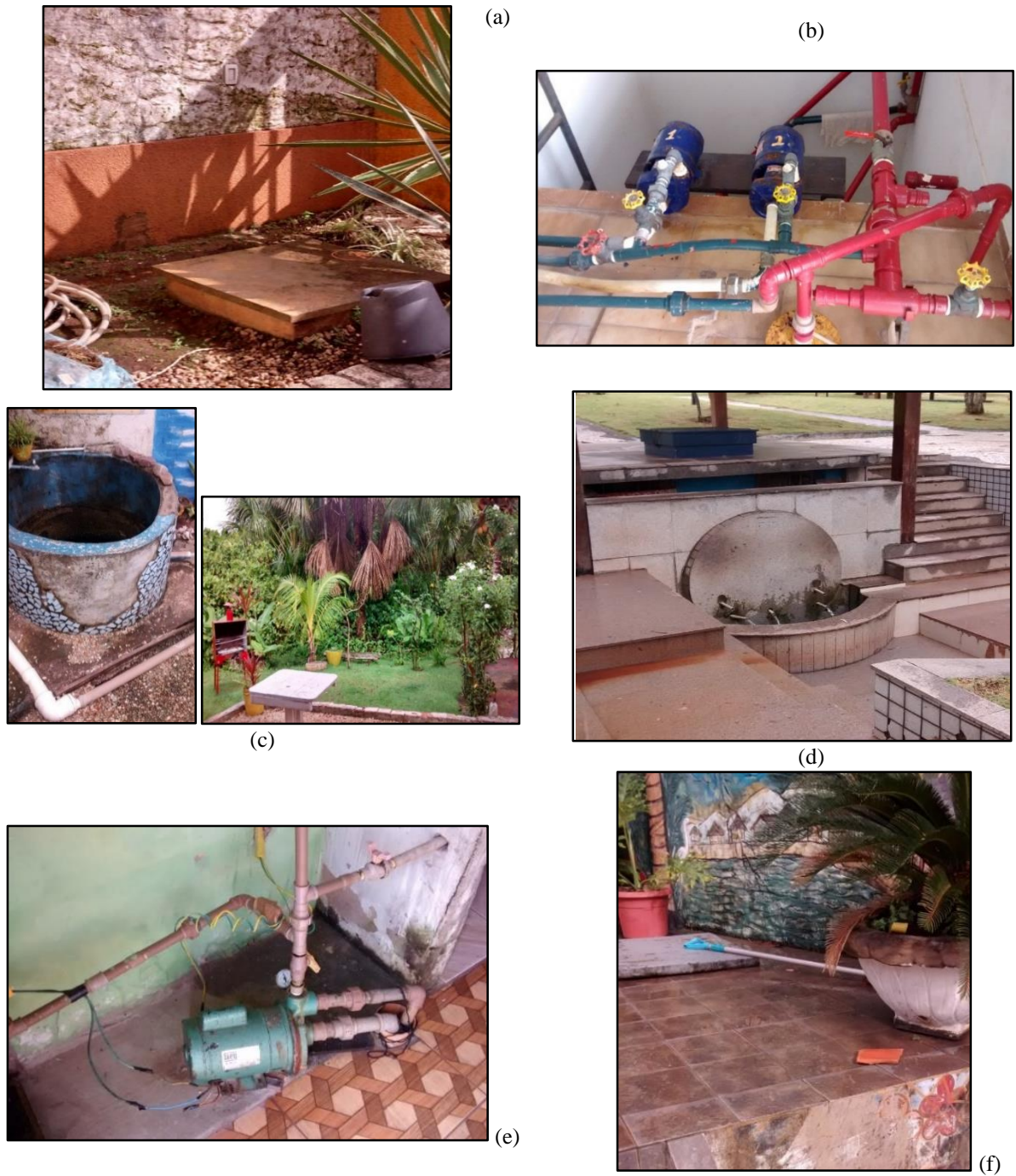


Figura 7 - (a) Poço tubular PTSAL 01; (b) Poço tubular PTSAL02;(c) Fonte natural (FTSAL04); (d) Fonte natural do Caranã (FTSAL05); (e) Poço tubular PTSAL 07; (f) Poço tubular PTSAL08.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 8- (a) Fonte natural (FTSAL09); (b) Poço tubular PTSAL10; (c) Poço tipo amazonas (AMSAL11); (d) Poço tubular PTSAL12; (e) Poço tubular PTSAL13; (f) Poço tubular PTSAL14.



Figura 9- (a) Poço tipo amazonas (AMSAL15); (b) Poço tubular PTSAL16; (c) Poço tubular PTSAL18; (d) Poço tubular PTSAL19; (e) Poço tubular (PTSAL20).

6 MATERIAIS E MÉTODOS

As coletas das amostras de água para análise dos parâmetros físico-químico foram realizadas de acordo com a variação sazonal, no período de maio de 2014 a março de 2015, em intervalo de 2 em 2 meses, assim contemplando o ciclo hidrológico. Todos os resultados analisados foram comparados com os padrões utilizados por normatizações ou legislações brasileiras vigentes (Portaria Nº 2914/2011/MS e Res. CONAMA 357/2005).

Foram escolhidos 22 poços/fontes cuja localização pode ser visualizada Figura 10. Dentre os 22 poços escolhidos, 17 são do tipo tubular (SAL PT), 02 são poços tipo amazonas (escavado) (SAL AM) e 3 fontes (SAL FT).

Para a interpretação dos resultados obtidos nas diferentes etapas de trabalho laboratorial os seguintes programas foram utilizados:

- Programa Excel 2010 para estatística básica e construção dos gráficos
- Programa “Statistica 9.0” para estatística básica e multivariada, produção dos respectivos gráficos (StatSoft 2009)
- Programa “Aquachem” – Aqueous Geochemical Data Analysis.

6.1 DIAGRAMAS HIDROQUÍMICOS

Para a melhor interpretação dos resultados obtidos foram utilizados os diagramas de Piper, Schöller e Van Wirdum.

6.1.1 Diagrama de Piper

O diagrama de Piper é frequentemente utilizado para classificação e comparação de distintos grupos de águas. Também é chamado de diagrama trilinear (Piper 1944; Back 1966), onde são plotados os cátions principais (Ca^{2+} , Mg^{+2} , Na^+ e K^+) e os ânions principais (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) em dois diagramas triangulares respectivos. As informações dos dois triângulos são combinadas em um losango situado entre os mesmos (Lucena et al., 2004). Este diagrama trilinear permite detectar diferenças ou semelhanças entre vários tipos de águas, misturas de águas e a origem comum ou não dos íons analisados (Paranhos 2010).

6.1.2 Diagrama de Schöller

No diagrama de Schöller, são traçadas sequência de linhas unindo os pontos que representam os valores dos cátions e ânions. Esse diagrama é apropriado para observar pequenas diferenças na concentração de cada íon entre diferentes amostras de água.

6.1.3 Diagrama de Van Wirdum

Van Wirdum é um diagrama que utiliza a razão iônica, representada (IR) e a condutividade elétrica (CE), onde $IR = [Ca^{2+}] / ([Ca^{2+}] + [Cl^-])$ com concentrações expressas em meq / L. A CE pode ser vista como uma medida para a salinidade, e o IR como uma medida para o domínio de cálcio entre os cátions. Esse domínio resulta de processos geoquímicos que estão ocorrendo nas águas dentro dos aquíferos.

Com base na posição em que cada ponto que se localiza dentro diagrama, pode-se classificar a água subterrânea de acordo com a influência: At = atmosférica, Li = litotróficas, e Th = Thalassotrófico = marinha (Van Wirdum 1980).

6.2 PROCEDIMENTO DE CAMPO

As campanhas envolveram coletas de águas subterrâneas nos poços visualizados no mapa (Figura 9), que necessitaram de procedimentos e cuidados específicos, de acordo com as orientações e Normas Técnicas da CETESB (1978 e 2012). Foram utilizadas garrafas de polietileno com tampa de enroscar, em volume de 1.000 ml, lavadas inicialmente com solução ácida e em seguida com água deionizada. Esse procedimento evita qualquer tipo de contaminação proveniente do frasco. Foram determinados parâmetros físicos e físico-químicos in situ (temperatura, condutividade elétrica, pH e sólidos totais dissolvidos), utilizando-se equipamentos portáteis.

As amostras foram coletadas diretamente dos poços ou das torneiras (poços tubulares) e prontamente, acondicionadas em isopor com gelo para serem transportadas até o Laboratório de Hidroquímica do Instituto de Geociências – UFPA, onde foram realizadas as demais análises.

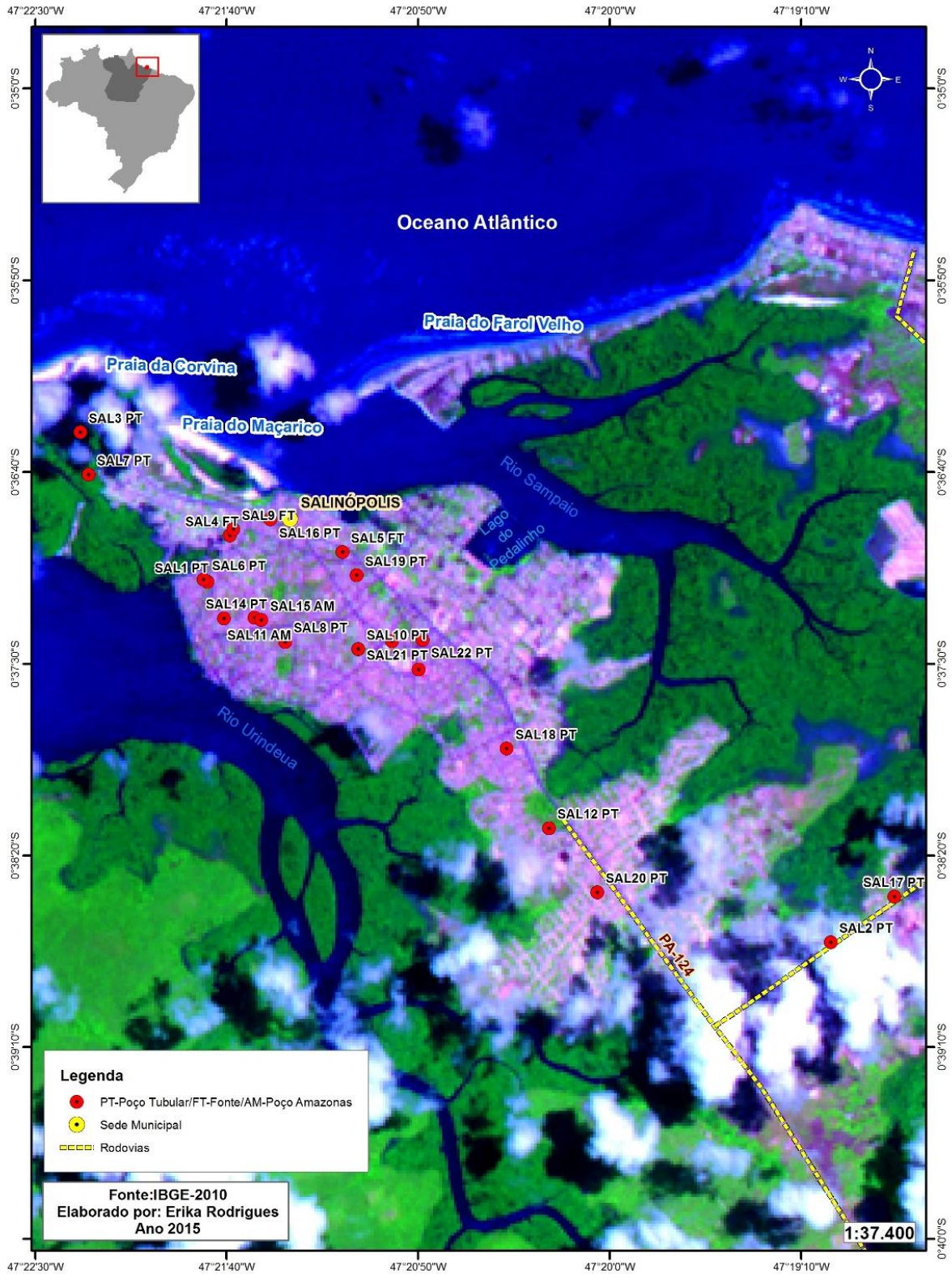


Figura 10- Localização dos poços amostrados na cidade de Salinópolis, nordeste paraense.
 Fonte: Base vetorial IBGE (2010) Imagem Landsat TM 7

6.3 PROCEDIMENTO DE LABORATÓRIO.

Os parâmetros químicos foram determinados por meio de metodologias recomendadas pela APHA (1995) e CETESB (1978).

a) Potencial Hidrogeniônico (pH): Este parâmetro foi determinado em campo em cada amostra coletada com pH-meter marca WTW modelo 91, com calibração de pH 6,8 e 4,0.

b) Condutividade elétrica: Este parâmetro foi determinado pelo método potenciométrico, com equipamento multifuncional - termômetro, condutivímetro e STD, digital, com eletrodo combinado de vidro, correção de temperatura para 25°C, marca ORION modelo 115 A.

c) Turbidez: Para determinar esse parâmetro foi utilizado um Turbidímetro digital portátil modelo 2100P marca Hach.

d) Cor: Este parâmetro foi determinado pelo método espectrofotométrico através do aparelho espectrofotômetro Hach DR/2010, programa 125.

e) Alcalinidade Total e Bicarbonato: Este parâmetro foi determinado através de método titulométrico com H₂SO₄ 0,02 N, padronizado, pipetando 100 mL das amostras e o mesmo volume aplicado para um branco obtido com água destilada. Como indicadores foram utilizados a fenolftaleína e o alaranjado de metila, e os resultados expressos em mg/L de CaCO₃ (Rodier, 1981). O bicarbonato teve a sua concentração calculada pela multiplicação da alcalinidade total por 1,22.

f) Ferro Total: O ferro total foi determinado pelo Método da orto-fenantrolina. Esse método realiza a determinação espectrofotométrica de ferro. Nesse método, o ferro solúvel é reduzido a ferro ferroso com hidroxilamina em meio ácido e, em seguida, tratado com orto-fenantrolina em pH 3,2 a 3,3. A coloração do complexo vermelho-alaranjado é independente do pH (faixa 3 a 9) (CETESB, 1978). A concentração de ferro total é determinada através de uma curva de calibração a partir de padrões pré-estabelecidos (CETESB, 1978). O espectrofotômetro utilizado foi da marca BECKMAN DU-6 a $\lambda=510$ nm em cubeta de 1 cm.

g) Cátions e Ânions: As concentrações de cátions (Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+}) e ânions (F^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- e SO_4^{2-}) foram determinadas por cromatografia líquida, com cromatógrafo de íons Dionex DX-120. Para a análise de cátions foi utilizada coluna catiônica (CSRS ULTRA-CS12A Dionex), eluente 20 Mm MSA (Ácido Metanosulfônico) e fluxo $1,0 \text{ mL min}^{-1}$. Para análise dos ânions foi utilizada uma coluna aniônica (ASRS ULTRA-AS14 Dionex), como efluente utilizando solução $3,5 \text{ mM Na}_2\text{CO}_3/1,0 \text{ mM NaHCO}_3$ e fluxo $1,2 \text{ mL min}^{-1}$.

h) Dureza: Foi determinada através de cálculo, utilizando-se a soma dos valores das concentrações, em mg/L, de Ca e Mg conforme Custódio e Llamas (1976).

i) Carbono Orgânico Total (COT ou TOC) e Inorgânico (CIT) e Nitrogênio total (NT): Para determinar o TOC, TIC e nitrogênio total foi utilizado um analisador de Carbono e Nitrogênio da marca ANALYTIK JENA, modelo multi N/C 2100.

6.4 BALANÇO IÔNICO

O princípio deste método está baseado na neutralidade da água, ou seja, a somatória das concentrações iônicas de cátions deve ser aproximadamente igual ao número das concentrações iônicas de ânions (expressos em meq/L). O balanço iônico (DBI ou EBI) consiste em calcular a razão da diferença entre a somatória de ânions e cátions (meq/L). Custódio e Llamas (2001) explicam que essa diferença é devida à acumulação de erros na determinação de cada variável e por desprezar as contribuições iônicas menores. Para Lloyd e Heathcote (1985), a percentagem da diferença ou erro do balanço iônico se define como:

$$\text{DBI ou EBI (\%)} = 100 * \frac{\sum r \text{ cátions} - \sum r \text{ ânions}}{\sum r \text{ cátions} + \sum r \text{ ânions}}$$

Entretanto, Custódio e Llamas (2001) utilizam a seguinte equação:

$$\text{DBI ou EBI (\%)} = 200 * \frac{\sum r \text{ cátions} - \sum r \text{ ânions}}{\sum r \text{ cátions} + \sum r \text{ ânions}}$$

Para Hem (1985), valores de EBI entre 2 e 10 % refletem condições analíticas ótimas. Para Custódio e Llamas (2001) o erro admissível depende da concentração iônica e do tipo de água. (Tabela 2).

Tabela 2 - Relação entre a condutividade elétrica e o erro admissível segundo Custódio e Llamas (2001).

CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Erro admissível (%)
50	30
200	10
500	8
≥ 2000	4

O cálculo do balanço iônico segundo a fórmula de Lloyd e Heathcote (1985) mostrou que, para a metade das amostras estudadas durante o período seco, os erros da reação estiveram dentro do intervalo de 0 a 10,6 % (Figura 11). As amostras que excederam a 10,6% foram as amostras dos poços SAL21 e SAL22, cujo valor de nitrato foi maior que 20 mg/L, evidenciando contaminação.

De acordo com Camargo (2012) em um estudo de aquíferos na cidade de Salinópolis foi identificado alta vulnerabilidade nas proximidades dos pontos estudados SALPT21 e PT22.

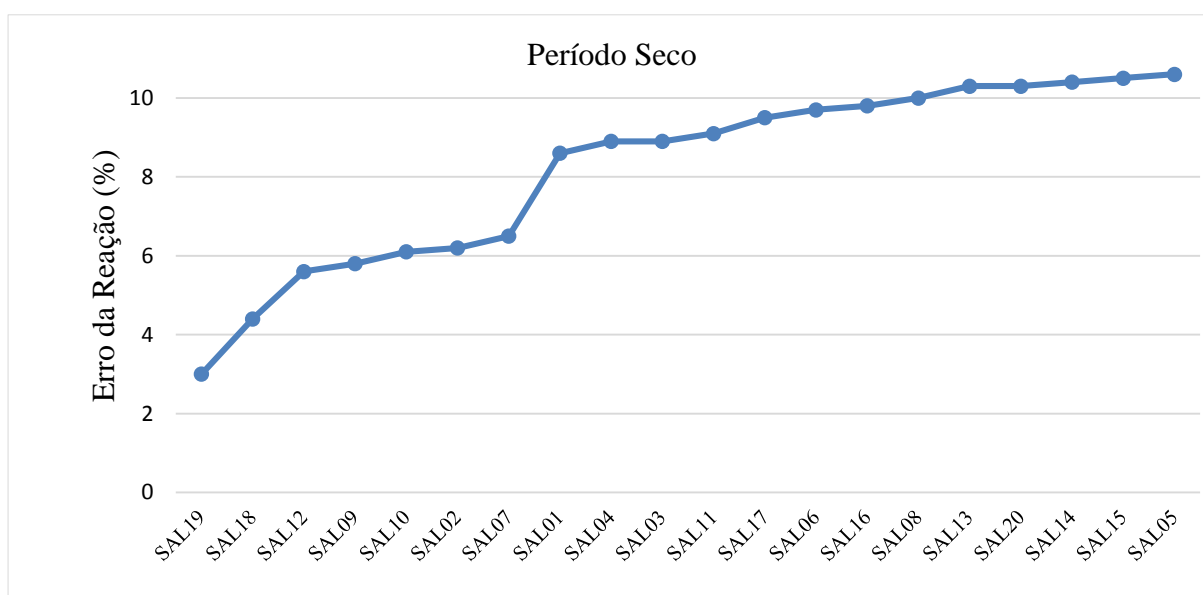


Figura 11 - Representação do erro da reação do balanço iônico, (Período Seco).

As amostras estudadas durante o período chuvoso mostraram que o balanço iônico esteve dentro do intervalo de 0 a 10 % (Figura 12). A amostra de água que excedeu a 10% foi a SALPT21, cujo o valor de nitrato foi de 38,22mg/L, evidenciando contaminação.

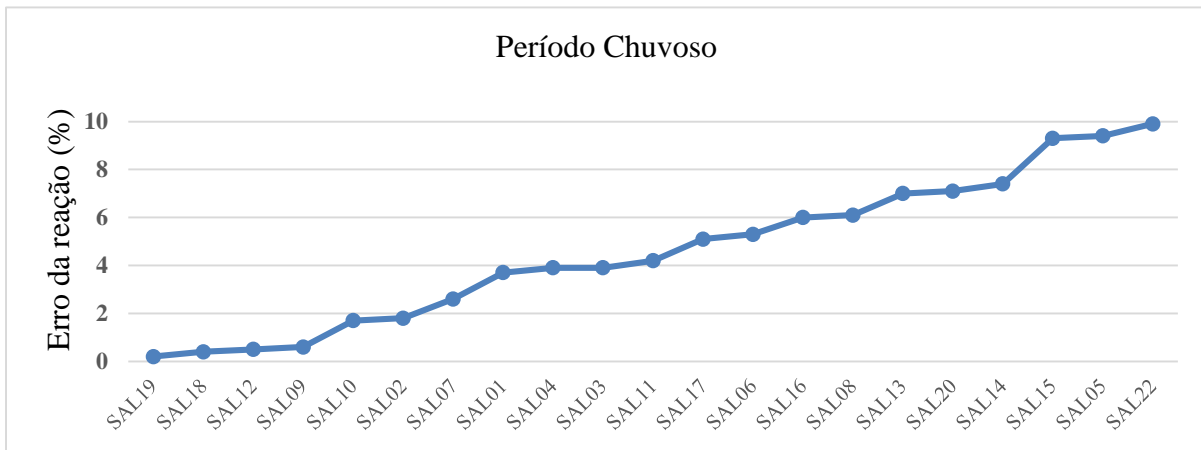


Figura 12- Representação do erro da reação do balanço iônico, (Período Chuvoso).

A Significativa correlação entre o somatório dos valores de ânions e cátions (período seco e chuvoso) foram de $r = 0,98140$ e $r = 0,98638$ respectivamente (Figura 13 e 14).

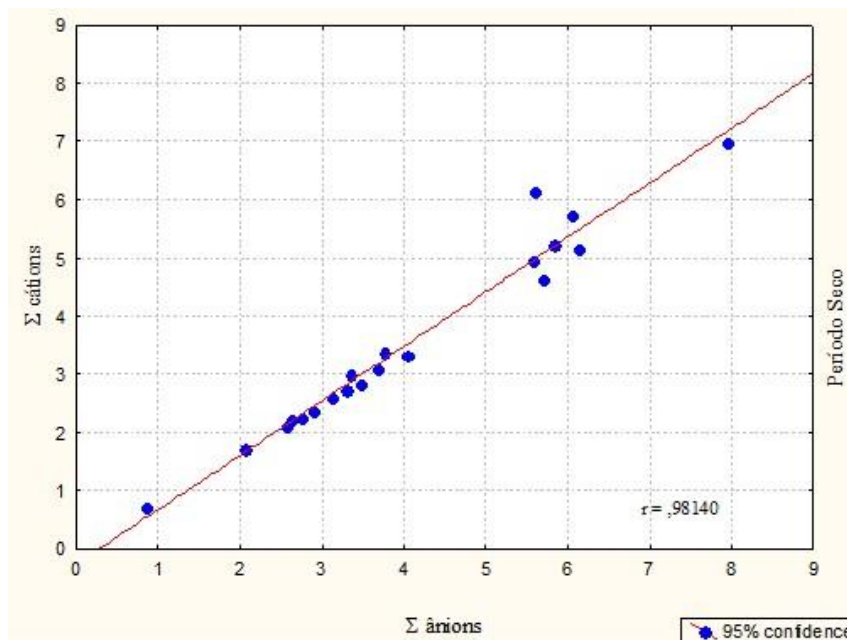


Figura 13- Correlação entre somatório de ânions e cátions nas análises das águas subterrâneas, período seco (meq/L).

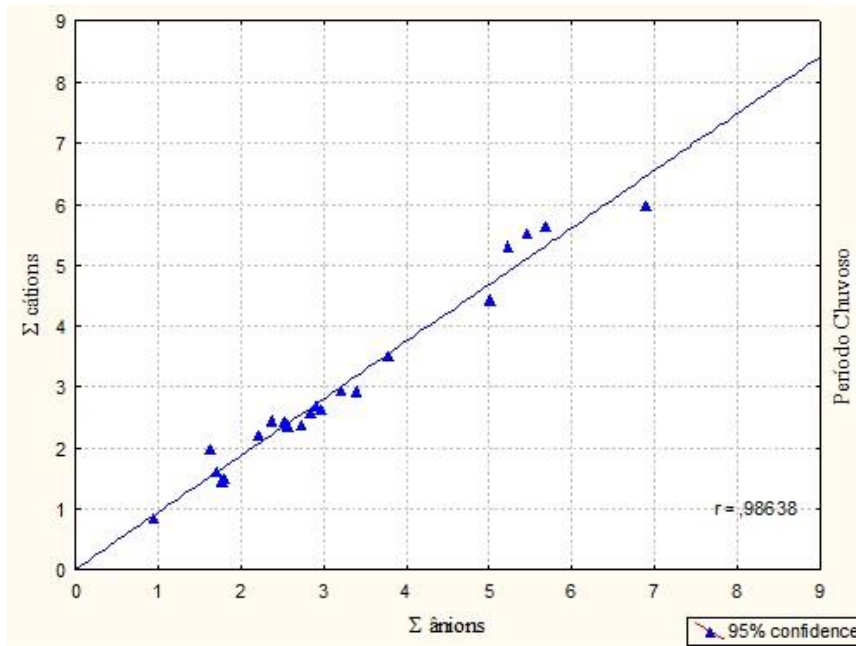


Figura 14- Correlação entre somatório de ânions e cátions nas análises das águas subterrâneas, período chuvoso (meq/L).

7 RESULTADOS E DISCURSÕES

7.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi realizada a análise descritiva univariada para os principais parâmetros (Período Seco e Chuvoso) (Tabelas 3 e 4) e construídos histogramas de valores reais, em meq/L das águas amostradas dos 22 poços envolvidos (Figura 15 e 16).

Tabela 3 - Resumo estatístico dos parâmetros físico-químicos e químicos das amostras de água subterrânea na área em estudo- Período Seco.

Período seco							
Parâmetros	N*	Valores				Desvio Padrão (σ)	Coeficiente de variação (σ/μ)
		Média (μ)	Mediana (Med)	Mínimo	Máximo		
CE ($\mu\text{S/cm}$)	66	372	338,5	86	675	131	0,37
K ⁺ (mg/L)	66	0,1	0,1	0	0,3	0,07	0,73
Mg ²⁺ (meq/L)	66	0,4	0,3	0,1	1,6	0,32	0,81
Ca ²⁺ (meq/L)	66	1,5	1	0,1	5,3	1,34	0,88
Na ⁺ (meq/L)	66	2,2	2,1	0,2	4,9	1,2	0,53
SO ₄ ²⁻ (meq/L)	66	0,7	0,7	0	2,2	0,46	0,66
HCO ₃ ⁻ (meq/L)	66	1,9	1,3	0	5,7	1,64	0,87
Cl ⁻ (meq/L)	66	0,9	0,9	0,1	1,8	0,39	0,46
STD (meq/L)	66	8,7	372	2,1	15,1	3,69	0,37
T (° C)	66	27,2	26,8	24,4	32,5	1,53	5,65
pH	66	-----	-----	5,8	8	-----	-----

*N – número de amostras.

Tabela 4 - Resumo estatístico dos parâmetros físico-químicos e químicos das amostras de água subterrânea na áreas de estudo - Período Chuvoso.

Período chuvoso							
Parâmetros	N*					Desvio Padrão (σ)	Coeficiente de variação (σ/μ)
		Média (μ)	Mediana	Mínimo	Máximo		
CE ($\mu\text{S/cm}$)	66	336	286	88	637	131	0,39
K ⁺ (mg/L)	66	0,1	0,1	0,01	0,24	0,05	0,79
Mg ²⁺ (meq/L)	66	0,3	0,2	0,02	1,61	0,36	1,04
Ca ²⁺ (meq/L)	66	1,3	0,7	0,04	5,3	1,22	0,96
Na ⁺ (meq/L)	66	1,7	2	0,33	3,8	0,88	0,51
SO ₄ 2 ⁻ (meq/L)	66	0,6	0,7	0,01	1,42	0,37	0,63
HCO ₃ ⁻ (meq/L)	66	1,7	0,9	0,13	11,5	1,9	1,15
Cl ⁻ (meq/L)	66	0,7	0,7	0,2	1,3	0,25	0,35
STD (meq/L)	66	8,3	7	2,1	25	3,69	0,44
T (° C)	66	3	28	29	23	39	12
pH	66	-----	-----	4,9	8	-----	-----

*N – número de amostras

O histograma de valores de pH apresentaram uma distribuição normal, onde os valores variaram entre 5,0 e 8,0 o que reflete que aproximadamente 75% das amostras possui caráter levemente ácido a neutro (Figura 15A). Para a condutividade elétrica (CE), o conjunto das amostras apresentou bimodalidade, onde os valores da primeira população são mais baixos, em torno de 100 $\mu\text{S/cm}$ a 400 $\mu\text{S/cm}$ enquanto que os valores da segunda população são mais altos e variaram entre 450 $\mu\text{S/cm}$ a 700 $\mu\text{S/cm}$ (Figura 15B).

O histograma do cloreto produziu uma distribuição normal, com 90% das amostras concentradas no intervalo entre 0,2 meq/L e 1,2 meq/L (Figura 15C). Para o cálcio as amostras apresentaram uma variação unimodal assimétrica a esquerda, com a maioria das amostras ficando entre os valores de 0,1 a 1,5 meq/L e uma calda com valores entre 1,6 à 6,0 meq/L (Figura 15D).

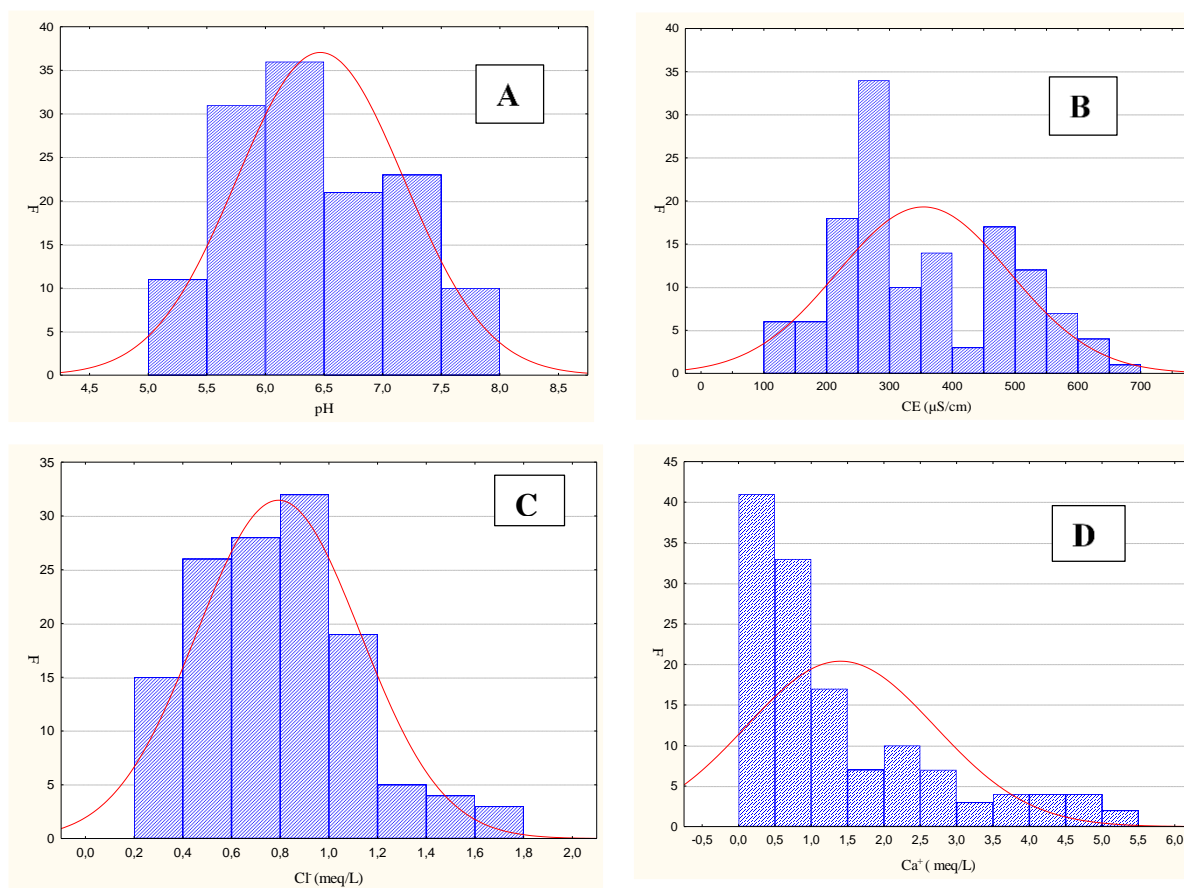


Figura 15- Histogramas de valores para: A) pH; B) cond. Elétrica (CE); C) cloreto (Cl⁻); D) cálcio (Ca²⁺).

Para o sódio, o histograma apresentou comportamento homogêneo ou normal, as concentrações na maioria das amostras de água ficaram entre 1,00 a 3,0 meq/L (Figura 16E). Em relação ao potássio o histograma apresenta distribuição bimodal com uma curva de distribuição assimétrica à esquerda, com mais que 65% das amostras concentradas entre 0,01 meq/L e 0,10 meq/L (Figura 16F).

O histograma dos sólidos totais dissolvidos (STD) apresentaram comportamento bimodal ou assimétrico, onde mais de 50% das amostras ficaram entre 2 meq/L a 8,0 meq/L (Figura 16G). Para o bicarbonato a maioria das amostras ficaram entre os valores de 0,1 a 2,5 meq/L (Figuras 16H). No sulfato, o histograma apresentou um comportamento bimodal e as concentrações observadas com maior frequência estão entre 0,1 a 1,0 meq/L, o que representa mais que 75% das amostras (Figura 16I).

Para o histograma de magnésio as amostras apresentaram distribuição assimétrica negativa ou à esquerda, com maior frequência de concentrações das amostras nos intervalos de 0,1 a 0,4 meq/L (Figura 16J).

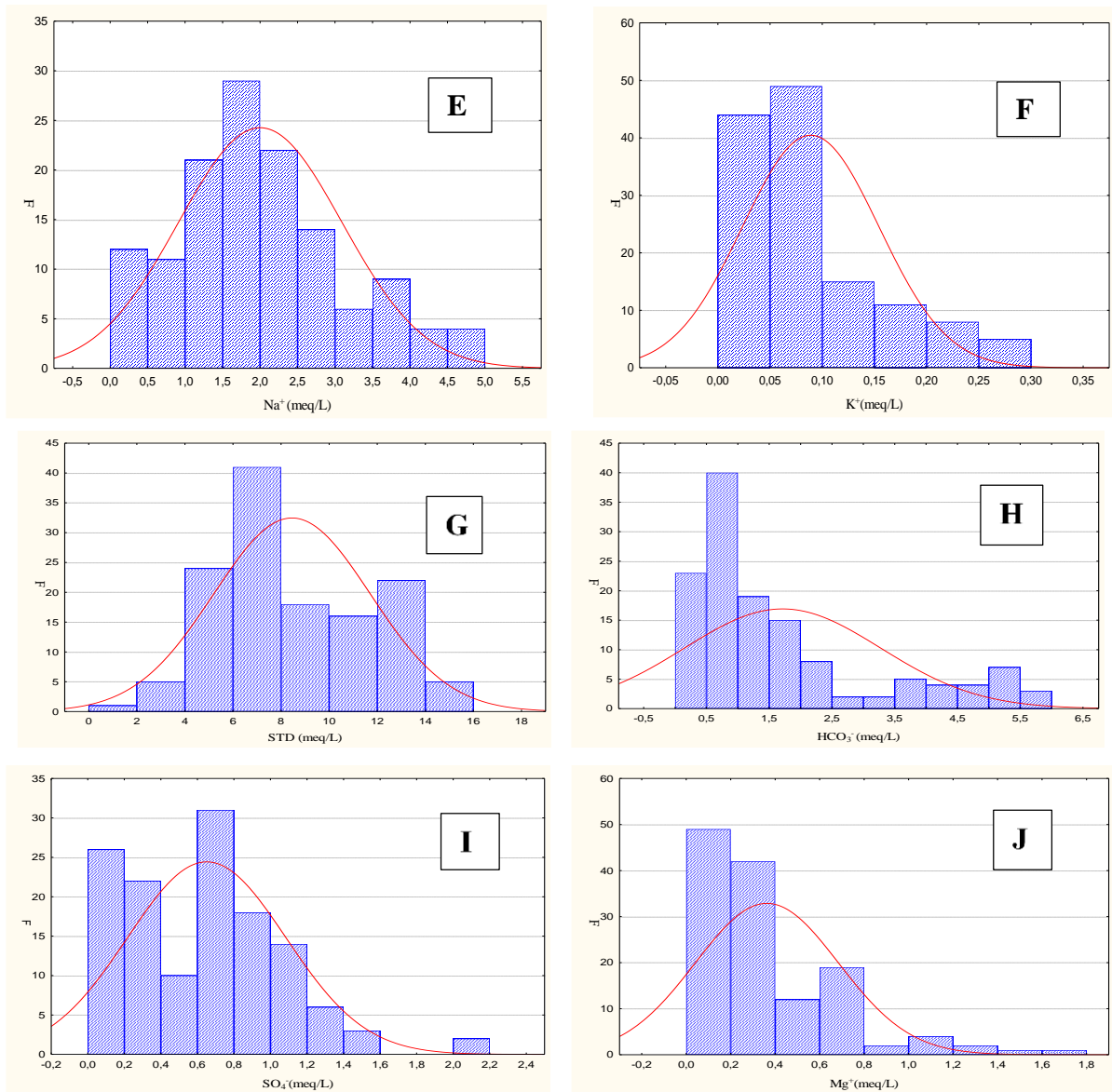


Figura 16- Histogramas de valores para: E) sódio (Na^+); F) potássio (K^+) das águas de 22 poços provenientes de todas as campanhas de amostragem; G) sólidos totais dissolvidos (STD); H) bicarbonato (HCO_3^-); I) sulfato (SO_4^{2-}); e J) magnésio (Mg^{2+}) das águas de 22 poços provenientes de todas as campanhas de amostragem.

7.2 CARACTERIZAÇÃO DOS GRUPOS HIDROQUÍMICOS.

7.2.1 Período com baixa pluviosidade (Período Seco)

O conceito de fácies hidroquímicas foi desenvolvido de forma a compreender e identificar a composição da água em diferentes classes ou grupos, apontando os íons predominantes, que podem ser influenciados tanto pela rocha que o circunda quanto pelo clima que predomina na área (Prasad 2009).

Para a classificação dos tipos de água durante o período seco, foi escolhido as análises do mês de novembro, que apresentou a menor pluviosidade, e no período chuvoso o mês de março com maior índice pluviométrico. Os principais ânions e cátions associados as amostras estudadas estão representados na Figura 17.

Analisando as diferentes projeções para os íons presentes, verificou-se a presença de 4 grupos de água. Nas amostras do grupo 1 há predominância do cátion Na^+ e os ânions SO_4^{2-} e Cl^- , para as amostras do grupo 2 há predominância do cátion Na^+ e do ânion HCO_3^- . Nas amostras do grupo 3, o cátion dominante foi o Ca^{2+} e o ânion HCO_3^- e para o grupo 4 os cátions dominantes foram o Ca^{2+} e Na^+ e ânion foi o Cl^- .

A classificação baseada no diagrama de Piper, indica para o período seco a existência de 4 grupos: águas sulfatadas ou cloretadas sódicas (grupo 1); bicarbonatadas sódicas (grupo 2); bicarbonatadas cálcicas (grupo 3); e cálcica sódio cloretada (grupo 4).

Segundo Pereira et al. (2004) as águas sulfatadas ou cloretadas sódicas (encontradas no grupo 1) possuem características químicas que permitem relacioná-las ao sistema aquífero Barreiras, que tem como característica uma circulação mais rápida de suas águas e a constante renovação pelas água meteóricas.

A ocorrência do íon sulfato é devido a existência de folhelhos negros, ricos em matérias orgânica onde se observa frequentemente o mineral pirita (FeS_2) (Otobo 1995), localizado próximo ao contato com rochas calcárias existentes na área de estudo, semelhante ao observado por Freimann (2012).

Os grupos 2 e 4 classificadas como bicarbonatadas sódicas e cálcicas sódio cloretadas, respectivamente. Segundo Palheta (2008) essas águas tem como origem a mistura de água armazenada nas camadas porosas dos sedimentos Pós Barreiras e Formação Barreiras com as do aquífero subjacente (Pirabas).

As águas bicarbonatadas cálcicas do grupo 3 indicam influência de rochas da Formação Pirabas, onde se observa uma sequência de margas, argilas negras e esverdeadas,

calcários e calcarenitos intercalado, padrão semelhante ao encontrado por Costa (2004) em águas da bacia do rio Maracanã (nordeste paraense).

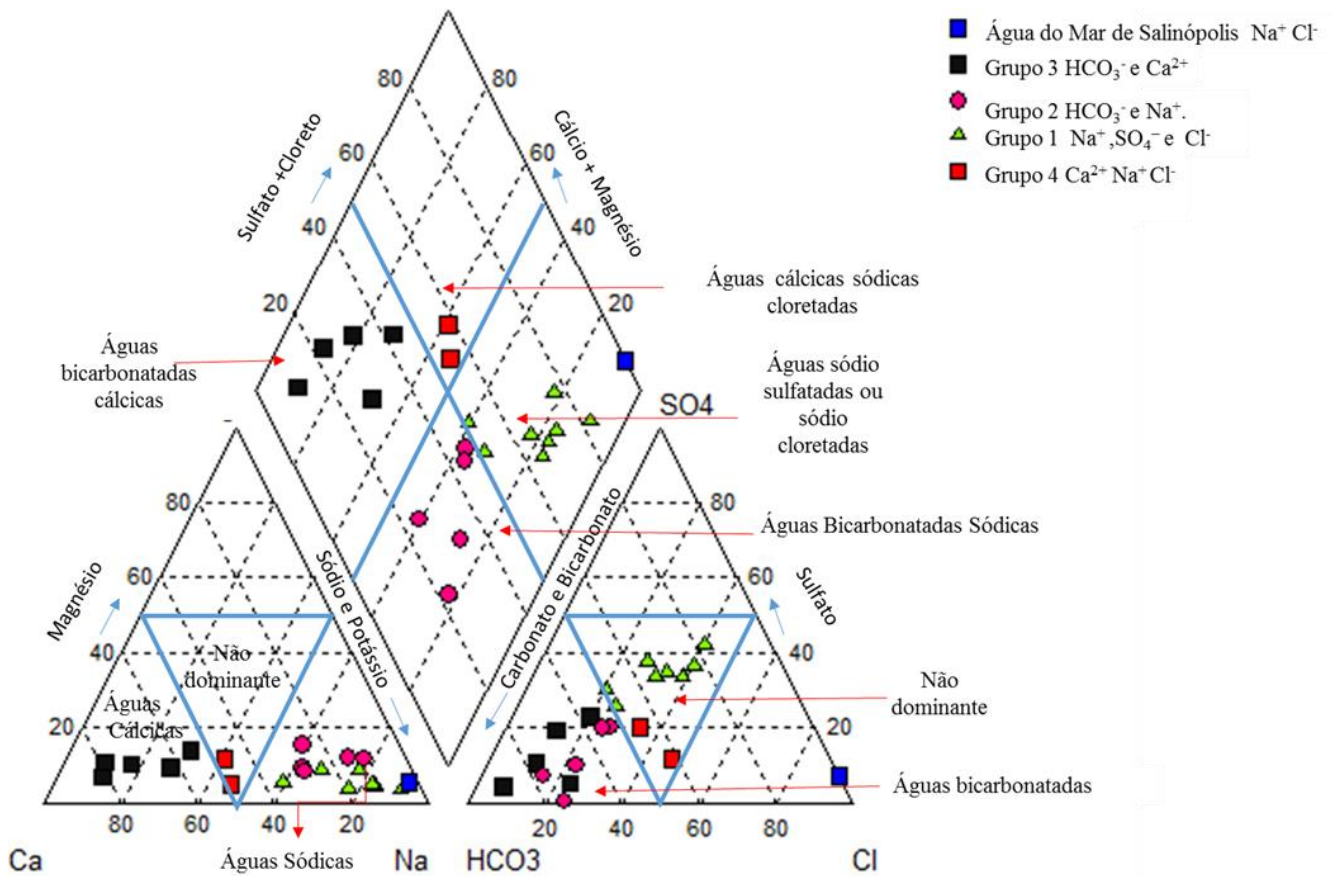


Figura 17- Diagrama de Piper mostrando os diferentes grupos hidroquímicos (Período Seco).

O diagrama de Schöller, período seco (Figura 18) demonstrou maior adequação ao diagrama de Piper nas águas dos grupos 2 e 3; sendo capaz de destacar melhor a redução de SO_4^{2-} ocorridas nos grupos 2, 3 e 4; assim como a maior concentração de Na^+ e K^+ no grupo 1.

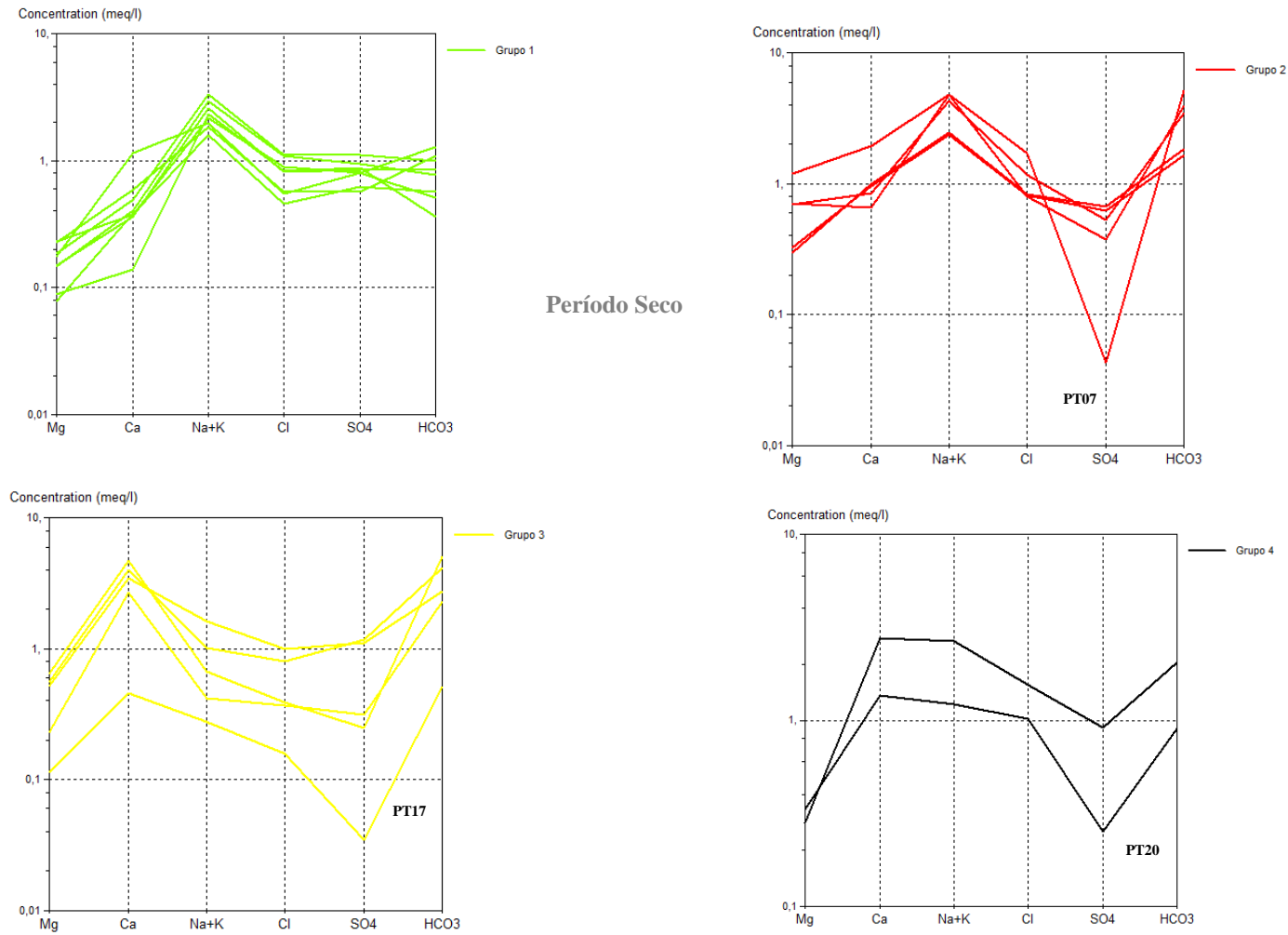


Figura 18- Diagrama de Schöller mostrando a assinatura geoquímica dos 4 grupos de água, Período seco.

7.2.2 Período com elevada pluviosidade (Período Chuvoso)

No período chuvoso as amostras dos poços estudados se concentraram em apenas duas fácies hidroquímicas (grupo 1 e grupo 3), devido provavelmente a conectividade hidráulica entre os aquíferos dos grupos 2 e 4. As amostras que ocuparam o campo correspondente aos grupos 2 e 4 durante o período seco, se deslocaram durante o período chuvoso para o campo do grupo 1. As amostras que durante o período seco ocupavam o grupo 3 permaneceram no mesmo campo, com composições químicas similares as observadas durante o período seco ocupando o mesmo espaço no diagrama. A amostra SALPT03 não apresentou mudança na composição química de suas águas, permanecendo no campo do grupo 2 (Figura 19).

Com aumento da recarga devido a precipitação pluviométrica, águas que no período seco foram classificadas como bicarbonatadas sódica (2) e cálcica sódio cloretada (4) migraram para o grupo de águas identificadas como sulfatadas ou cloretadas sódicas (1), com exceção da amostra SALPT03 (Figura 19).

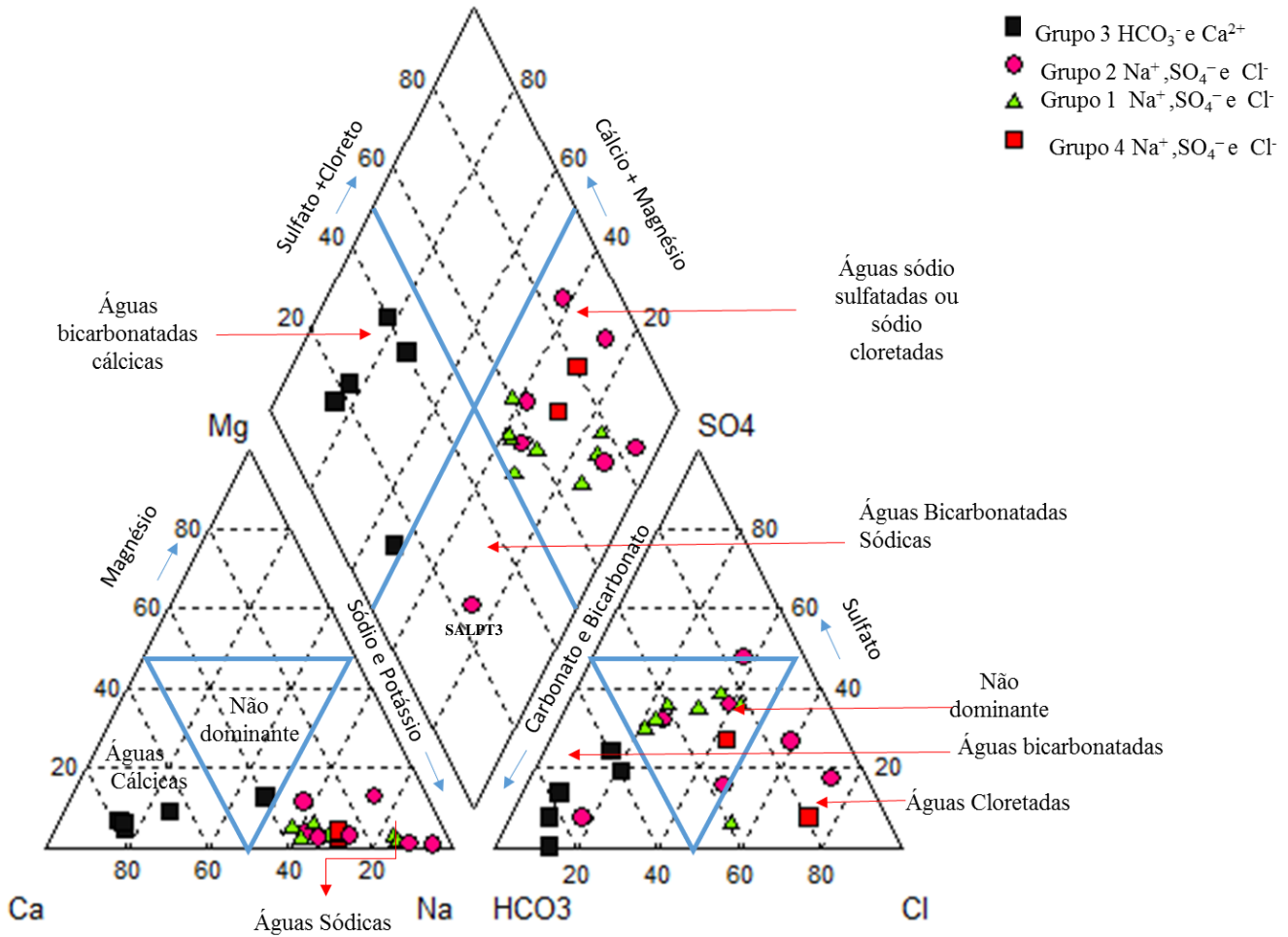


Figura 19 - Diagrama de Piper com os diferentes grupos hidroquímicos (Período Chuvoso).

Segundo o Diagrama de Schöller (Figura 20) no período chuvoso o comportamento dos cátions foi melhor definido em todos os grupos, que mostram um aumento de Na⁺ e K⁺ (grupos 1, 2 e 4) e Ca²⁺ (grupo 3).

Em todos os grupos (período seco e chuvoso) verificou-se que as linhas correspondentes as amostras no diagrama de Schöller apresentam um comportamento em leque (Figura 19). Esse padrão, segundo Mazor (2004), indica possíveis misturas entre diferentes tipos de água. Caso não houvesse misturas entre os aquíferos, as linhas estariam praticamente sobrepostas e o padrão gráfico seria outro (Mazor 2004).

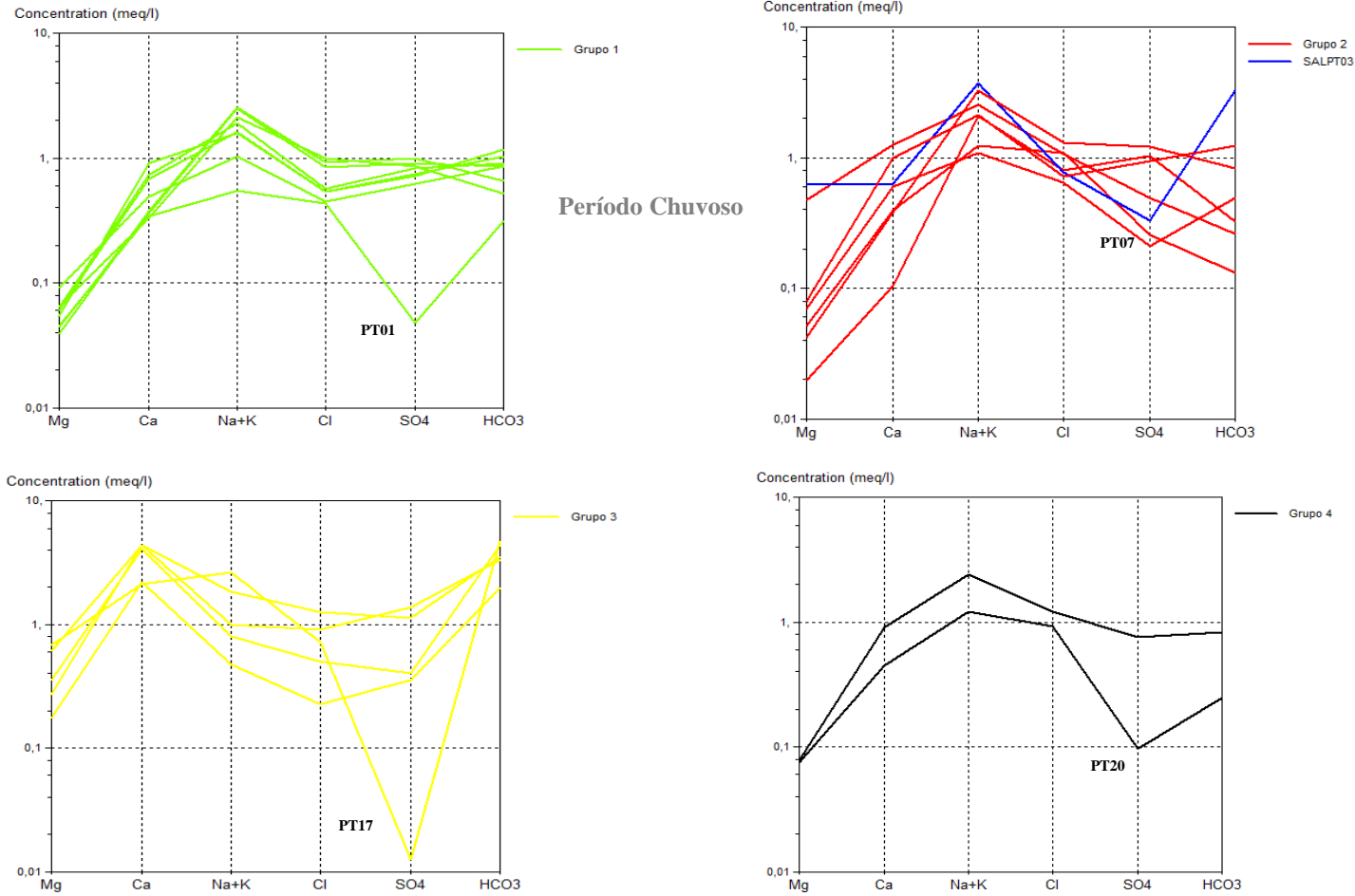


Figura 20- Diagrama de Schöller mostrando a assinatura geoquímica dos 4 grupos de águas, Período chuvoso.

7.3 INTERPRETAÇÕES ATRAVÉS DO DIAGRAMA DE VAN WIRDUM

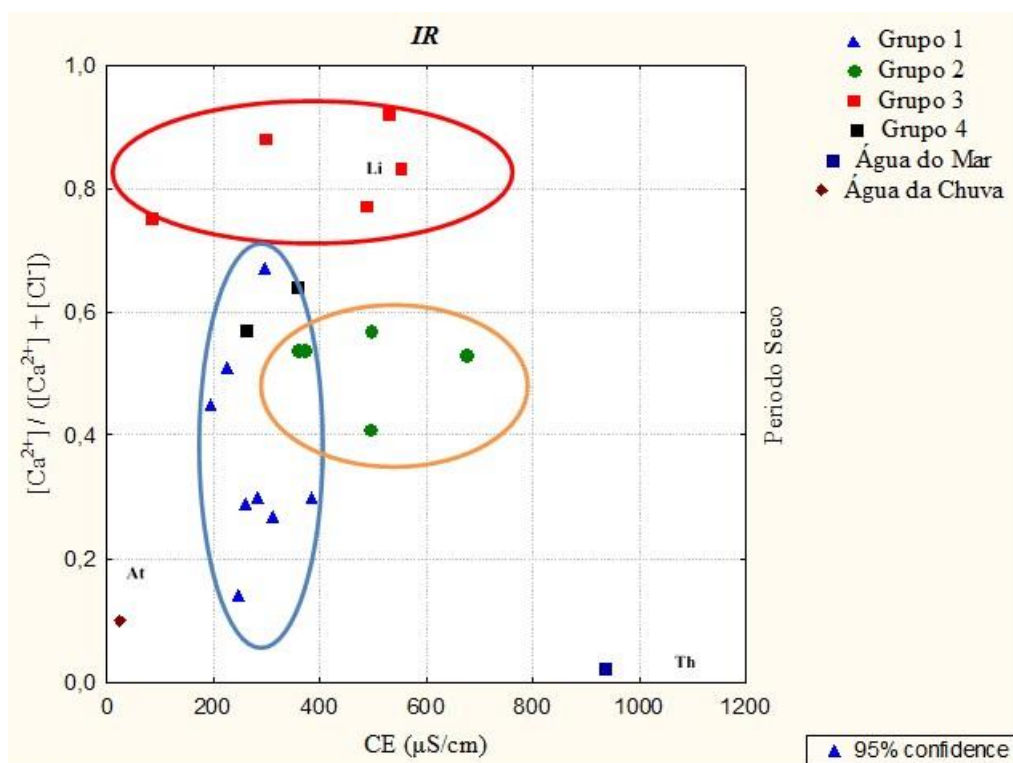
Para se obter um melhor domínio das classificações das águas subterrâneas na área de estudo foram plotados no diagrama de Van Wirdum alguns resultados.

Para o grupo 3, período seco observou-se que os pontos estão plotados na parte superior do diagrama e logo abaixo estão as águas do grupo 4. A disposição dos grupos no diagrama sugere que essas águas recebem influência litológica, rochas da Formação Pirabas.

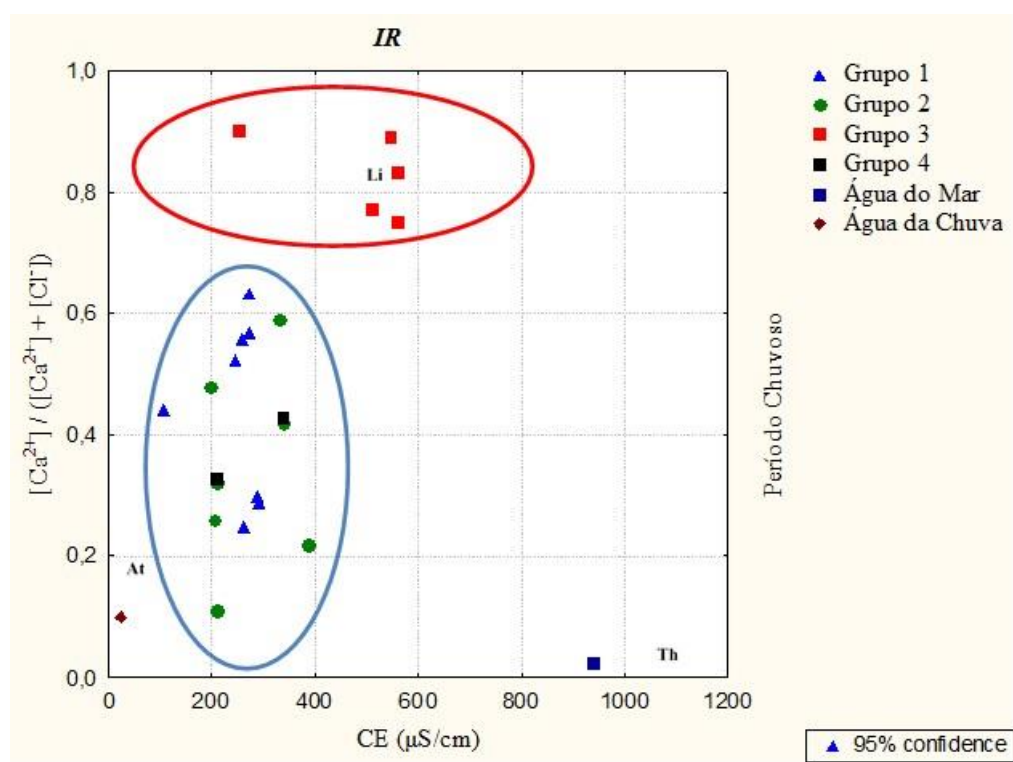
As águas do grupo 1 seguem uma tendência em direção a “At”, evidenciando interferência climática, portanto influência de águas meteóricas (Figura 21a)

Na Figura 20a vê-se a configuração geoquímica de influência litotrófica para o grupo 3 e atmosférica para os grupos 1, 2 e 4 de forma distinta, enquanto que no período chuvoso (Figura 20b) o efeito de recarga produz um efeito de mistura dos grupos de influência atmosférica de forma indistinta, provocando um efeito de confundimento entre as amostras dos grupos. Assim, pode-se constatar que o aquífero Barreiras está mais propenso à influência de recarga atmosférica por ser mais superficial (Figura 21b).

Para avaliar a aplicação do diagrama plotou-se os resultados da água do mar, coletada na área de estudo (período seco) confirmando no diagrama interferência oceânica ou talassotrófica.



(a)



(b)

Figura 21- Diagrama Van Wirdum para as águas subterrâneas dos grupos hidroquímicos 1,2,3 e 4 (a) período seco e (b) período chuvoso. Onde At = atmosférica, Li = litotróficas e Th = Thalassotrófico = (marinha).

7.4 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

As tabelas 5 e 6 mostraram as matrizes com os coeficientes de correlação (r) entre os íons estudados. O grupo 4 do período seco e chuvoso não foram incluídos na análise de correlação por terem poucas amostras.

A matriz de correlação entre os principais parâmetros químicos e físico-químicos analisados dos poços (grupo 1, 2 e 3) período seco e chuvoso, mostram valores diferenciados:

Tabela 5 - Matriz de correlação dos principais parâmetros hidroquímicos dos grupos 1, 2 e 3 (período seco).

GRUPO 1	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	STD	CE
pH	1									
Na ⁺	-0,48	1								
K ⁺	-0,05	0,46	1							
Ca ⁺	0,82	-0,22	-0,18	1						
Mg ⁺²	0,37	0,10	0,08	0,39	1					
HCO ₃ ⁻	0,76	0,10	0,17	0,81	0,59	1				
Cl ⁻	-0,54	0,89	0,49	-0,34	0,24	-0,08	1			
SO ₄ ⁻²	-0,41	0,95	0,28	-0,10	0,01	0,10	0,84	1		
STD(mg/L)	-0,14	0,90	0,32	0,22	0,30	0,45	0,75	0,91	1	
CE(μS/cm)	-0,15	0,91	0,34	0,20	0,30	0,44	0,77	0,92	1	1
GRUPO 2	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	STD	CE
pH	1									
Na ⁺	0,98	1								
K ⁺	-0,88	-0,88	1							
Ca ⁺	0,05	0,24	-0,05	1						
Mg ⁺²	0,76	0,87	-0,65	0,69	1					
HCO ₃ ⁻	0,86	0,94	-0,78	0,55	0,98	1				
Cl ⁻	0,41	0,57	-0,34	0,88	0,88	0,78	1			
SO ₄ ⁻²	-0,67	-0,79	0,58	-0,74	-0,97	-0,94	-0,82	1		
STD(mg/L)	0,84	0,93	-0,78	0,57	0,98	1	0,81	-0,94	1	
CE(μS/cm)	0,74	0,86	-0,67	0,71	1	0,98	0,89	-0,96	0,98	1
GRUPO 3	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	STD	CE
pH	1									
Na ⁺	-0,08	1								
K ⁺	-0,10	0,86	1							
Ca ⁺	0,82	0,33	0,33	1						
Mg ⁺²	0,84	0,13	0,02	0,93	1					
HCO ₃ ⁻	0,92	-0,01	-0,01	0,94	0,96	1				
Cl ⁻	0,42	0,46	0,02	0,53	0,66	0,46	1			
SO ₄ ⁻²	0,49	0,48	0,05	0,49	0,59	0,42	0,96	1		
STD(mg/L)	0,82	0,03	-0,19	0,82	0,96	0,90	0,76	0,69	1	
CE(μS/cm)	0,82	0,04	-0,17	0,83	0,97	0,91	0,76	0,69	1	1

Tabela 6 - Matriz de correlação dos principais parâmetros hidroquímicos dos grupos 1, 2 e 3 (período chuvoso).

GRUPO 1	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	STD	CE
pH	1									
Na ⁺	-0,04	1								
K ⁺	0,54	0,53	1							
Ca ⁺	0,81	-0,11	0,33	1						
Mg ⁺²	0,61	-0,39	0,20	0,20	1					
HCO ₃ ⁻	0,82	0,20	0,85	0,74	0,28	1				
Cl ⁻	-0,43	0,84	0,21	-0,51	-0,37	-0,25	1			
SO ₄ ⁻²	0,33	0,91	0,74	0,12	-0,02	0,48	0,68	1		
STD(mg/L)	0,48	0,82	0,82	0,28	0,07	0,63	0,53	0,98	1	
CE(μS/cm)	0,49	0,82	0,82	0,28	0,08	0,63	0,52	0,98	1	1
GRUPO 2	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	STD	CE
pH	1									
Na ⁺	-0,03	1								
K ⁺	0,07	0,85	1							
Ca ⁺	0,83	0,01	0,12	1						
Mg ⁺²	0,81	-0,30	-0,21	0,87	1					
HCO ₃ ⁻	0,53	0,64	0,75	0,70	0,36	1				
Cl ⁻	-0,20	0,61	0,38	-0,12	-0,17	0,09	1			
SO ₄ ⁻²	-0,18	0,91	0,85	-0,05	-0,46	0,64	0,31	1		
STD(mg/L)	0,30	0,89	0,85	0,42	0,13	0,84	0,59	0,73	1	
CE(μS/cm)	0,32	0,89	0,85	0,43	0,14	0,85	0,59	0,73	1	1
GRUPO 3	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	STD	CE
pH	1									
Na ⁺	0,39	1								
K ⁺	0,46	0,89	1							
Ca ⁺	0,46	-0,33	-0,52	1						
Mg ⁺²	0,66	0,68	0,92	-0,36	1					
HCO ₃ ⁻	0,87	0,33	0,61	0,06	0,86	1				
Cl ⁻	0,31	0,56	0,16	0,45	-0,05	-0,14	1			
SO ₄ ⁻²	-0,05	-0,20	-0,56	0,74	-0,64	-0,50	0,68	1		
STD(mg/L)	0,97	0,49	0,45	0,52	0,58	0,74	0,54	0,14	1	
CE(μS/cm)	0,97	0,49	0,45	0,52	0,58	0,74	0,54	0,14	1	1

No período seco as amostras de águas do grupo 1 apresentaram uma alta correlação entre Na^+ e Cl^- ($r = 0,89$). Esses dados quando plotados no diagrama alinham-se-uns aos outros com exceção dos poços SALPT09 e SALPT17 (Figura 22a). Este grupo, não indica mudanças significativas na correlação Na^+ e Cl^- com o início do período chuvoso.

As águas do grupo 2, apresentaram forte correlação $r = 0,94$ (Na^+ vs HCO_3^-) para o período seco. O diagrama Na^+ vs HCO_3^- indicou mudanças na hidroquímica das águas com a entrada do período com maior pluviosidade, havendo diluição de HCO_3^- (Figura 22b).

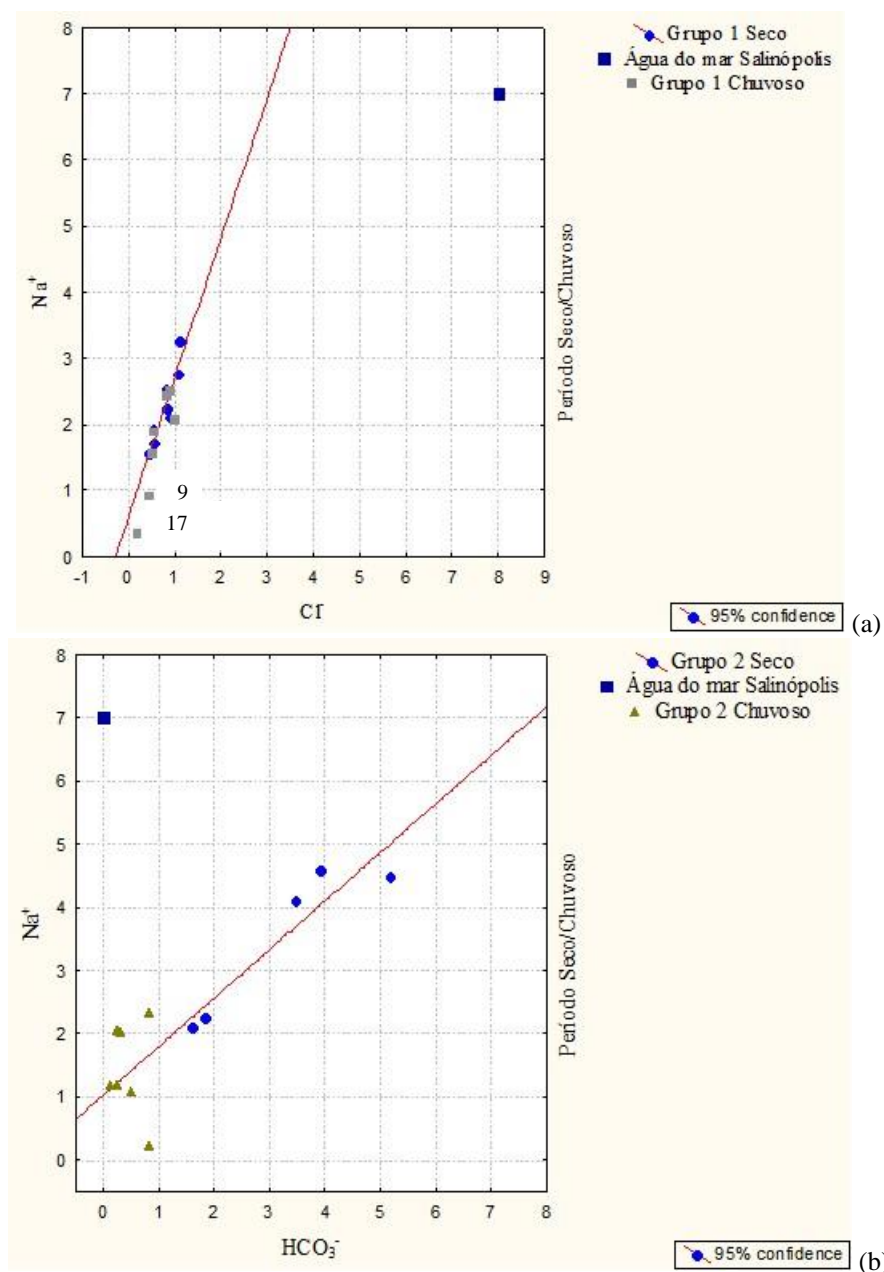


Figura 22- (a) Na^+ vs Cl^- das amostras (meq/L) do grupo 1, períodos seco e chuvoso; (b) Na^+ vs HCO_3^- das amostras (meq/l) do grupo 2, períodos seco e chuvoso.

As águas do grupo 3, apresentaram excelente correlação Ca^+ vs HCO_3^- ($r = 0,93$) no período seco. A razão iônica entre Ca^+ vs HCO_3^- está representada na Figura 23a reafirmando a forte influência de águas ricas em íons Ca^+ e HCO_3^- , oriundos da dissolução da calcita ($\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$). As águas do grupo 4 (Período seco e chuvoso), apresentaram forte correlação Ca^{2+} vs Cl^- ($r = 0,89$). Com o início do período chuvoso observou-se perda do o íon Ca^{2+} (Figura 23b).

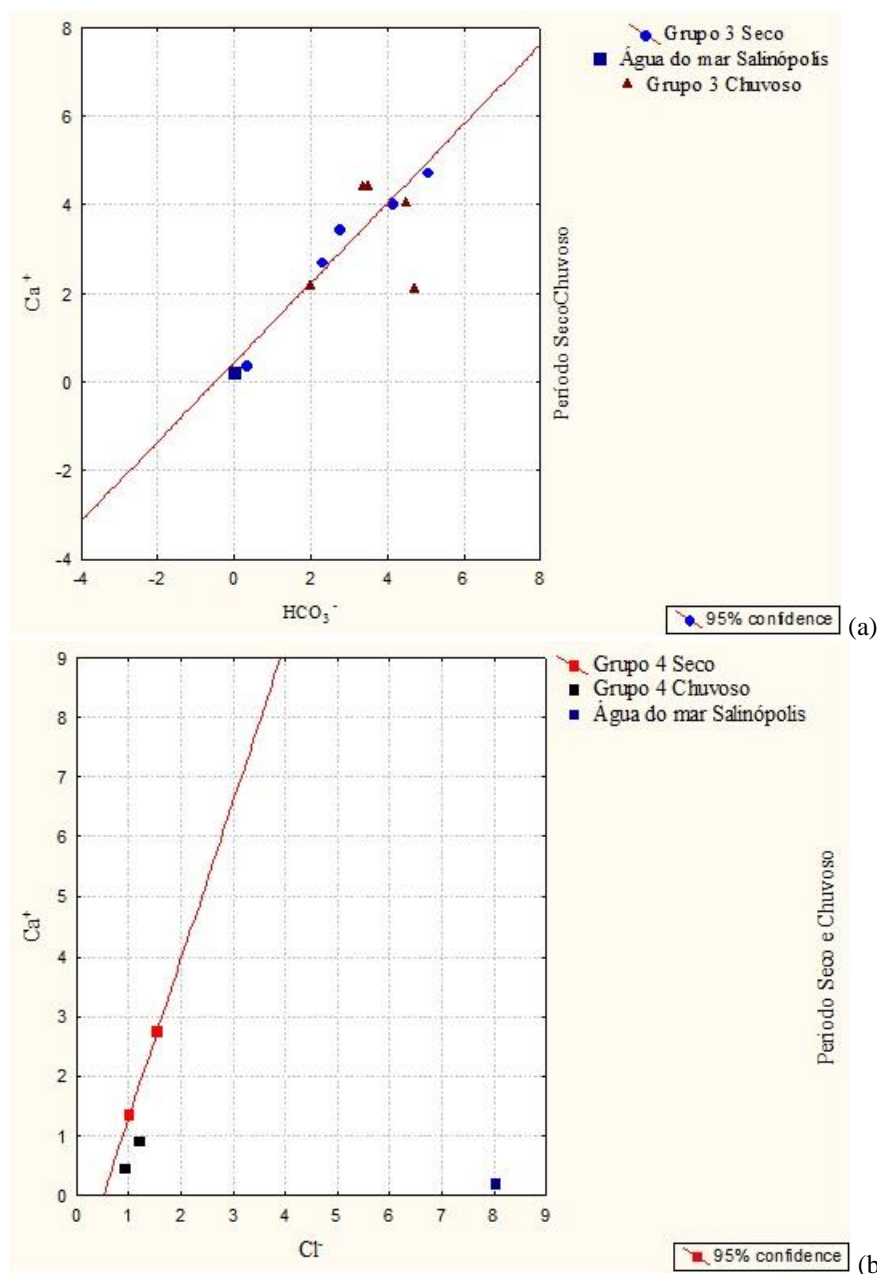


Figura 23 - (a) Ca^+ vs HCO_3^- das amostras (meq/L) do grupo 3, períodos seco e chuvoso. (b) Ca^{2+} vs Cl^- das amostras (meq/L) do grupo 4, períodos seco e chuvoso.

7.5 VARIAÇÃO SAZONAL OBSERVADA NOS GRUPOS HIDROQUÍMICOS

Em aquíferos profundos a variação da composição química da água normalmente é muito pequena. Entretanto, na cidade de Salinópolis o aquífero Pirabas é mais superficial (Araújo 1998) e sua composição química varia com maior frequência. Pode-se observar que as variações das concentrações de alguns íons acompanham as variações dos aquíferos Barreiras (espessura < 15 metros na área de estudo), que é influenciado diretamente pela sazonalidade.

7.5.1 pH

O pH é o logaritmo negativo da atividade do íon hidrogênio na água a 25°C. O pH indica o balanço entre os ácidos e bases na água e é uma medida da concentração do íon hidrogênio em solução. De acordo com Fenzl (1986) as águas naturais contêm geralmente CO₂ (dissolvido) e íons HCO₃⁻ que juntos formam um sistema tampão, permitindo assim pequenas variações do pH (entre 5 a 8). As amostras de água de poços coletadas em todo período sazonal apresentaram o seguinte valores de pH: o grupo 1 apresentou valores de pH nos intervalos de 5,0 a 7,6 com média 6,52 no período seco e 5,70 no período chuvoso. Nas água do grupo 2 os valores variaram de 5,2 a 7,9 com média 7,22 no período seco e 6,56 no período chuvoso. Para o grupo 3 os valores foram de 5,6 a 7,7 com uma média 6,88 no período seco e 6,30 no período chuvoso. Para o grupo 4 a variação foi de 6,9 a 7,2, com média foi de 6,98 no período seco e 5,94 no período chuvoso.

As amostras do grupo 1 apresentaram valores de pH mais baixos quando comparados as amostras dos outros grupos sugerindo que esses valores são altamente influenciados pelas águas de recarga refletindo disponibilidade de H⁺. Entre as amostras, o poço SALPT16 localizado perto da orla da cidade foi o que mostrou maior valor do pH (6,5)

No grupo 2 observou-se que as amostras localizadas perto da praia (PTSAL7 e PTSAL3) foram as que apresentaram maiores valores de pH, sugerindo influência por afloramentos de rochas calcárias existente na área (7,4 e 7,6 respectivamente). Para o grupo 3 amostras com proximidade a postos de combustíveis e lava-jatos (SALPT10 e SALPT18 e SALPT19) apresentaram maiores valores chegando a neutralidade (6,4/7,1/7,0 respectivamente). Seguindo o mesmo padrão, o grupo 4 apresentou valores de pH nas amostras localizados em lava-jatos (SALPT13 e SALPT20) com 6,5 e 6,3 respectivamente. Na Figura 24, está representada a distribuição espaço-temporal dos valores de pH.

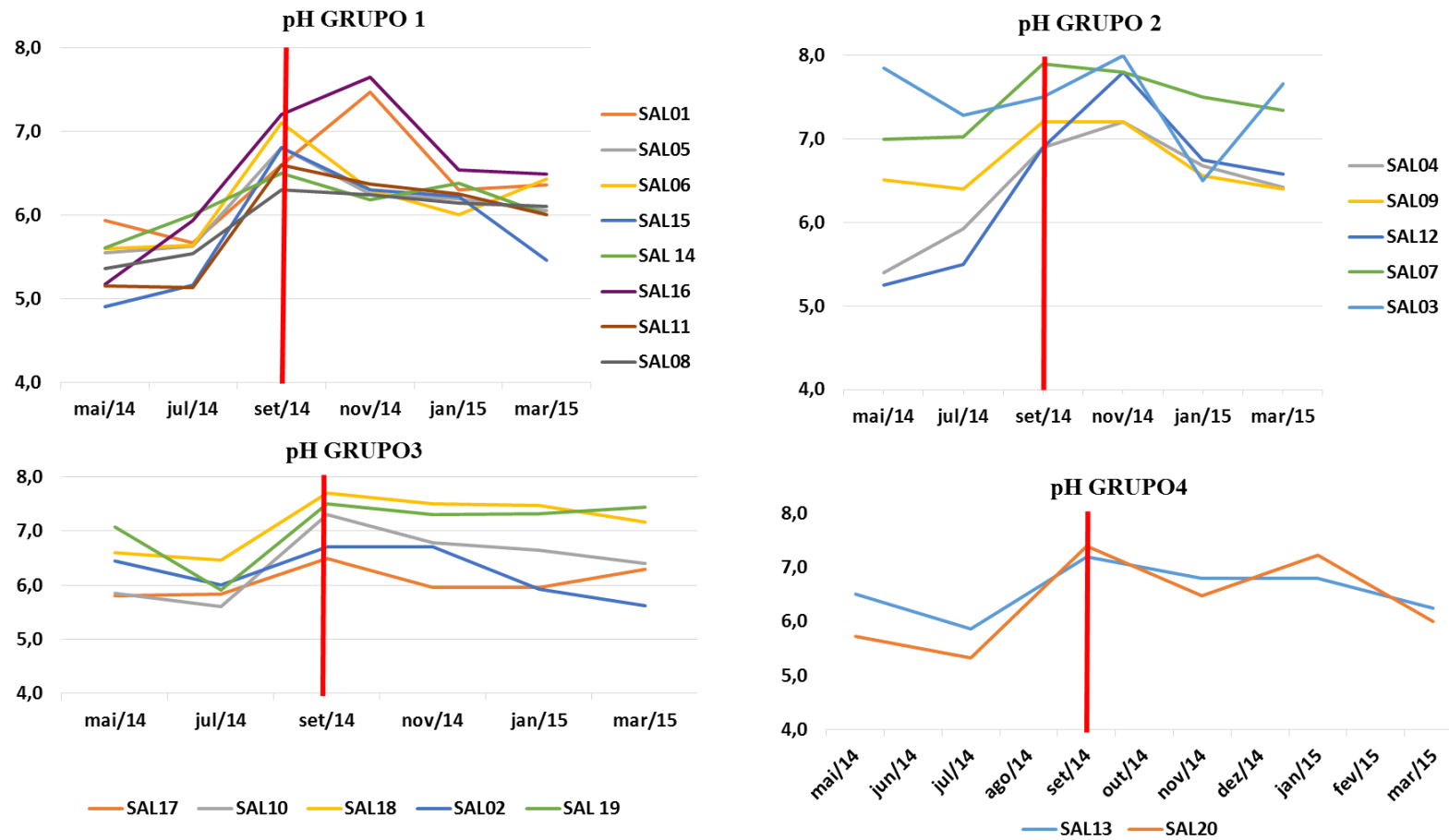


Figura 24- Diagrama mostrando a variação temporal dos valores de pH nas águas dos diferentes grupos hidroquímicos na área de estudo. E o mês de setembro indicando início de déficit hídrico (maio/2014 a març/2015).

7.5.2 Condutividade Elétrica

A condutividade pode ser definida como a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica, sendo dependente das concentrações iônicas e da temperatura. Segundo Matta (2002) cátions e ânions são provenientes de sais dissolvidos na água subterrânea, originados da dissolução de minerais da rocha. Para o grupo 1 as amostras de água variaram de 194 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 444 $\mu\text{S}/\text{cm}$ com valor médio de 291 $\mu\text{S}/\text{cm}$ período seco e 275 $\mu\text{S}/\text{cm}$ período chuvoso.

O grupo 2 variou de 101 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 675 $\mu\text{S}/\text{cm}$ com valor médio de 403 $\mu\text{S}/\text{cm}$ período seco e 352 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período chuvoso. As amostras de água do grupo 3 variaram de 99 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 604 $\mu\text{S}/\text{cm}$ com valor médio de 425 $\mu\text{S}/\text{cm}$ período seco e 372 $\mu\text{S}/\text{cm}$ período chuvoso. No grupo 4 os valores da condutividade elétrica nas águas variaram de 346 $\mu\text{S}/\text{cm}$ período seco e 366 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período chuvoso. A realimentação da água subterrânea do grupo 4 leva mais tempo até atingir os aquíferos (aquíferos da Formação Pirabas), assim quando é atingida coincide com o período seco dos outros grupos, justificando o maior valor da condutividade no período chuvoso.

As águas do grupo 1 apresentaram uma condutividade mais baixa em relação aos outros grupos, com fraca disponibilidade de eletrólitos. No entanto torna-se expressiva em relação a média das águas subterrâneas afastadas de regiões costeiras. Amostras (SALFT05, SALPT08, SALAM11 e SALAM15) de água coletadas em poços e fontes na área de estudo indicam influência estuarina, carregando ampla concentração de íons. No grupo 2 as amostras SALPT03 e SALPT07 localizadas perto da praia elevaram os valores de condutividade elétrica nas águas (Figura 25).

No grupo 3, a elevada concentração de eletrólitos foi refletida em quase todas amostras, com exceção do SALPT17. As águas dos poços SALPT 19 e SALPT18 localizados em lava-jatos e próximos a postos de combustíveis foram os que apresentaram maiores valores de condutividade elétrica. O mesmo comportamento foram observados no grupo 4 constituído por amostras localizadas em lava-jatos: SALPT13 e SALPT 20.

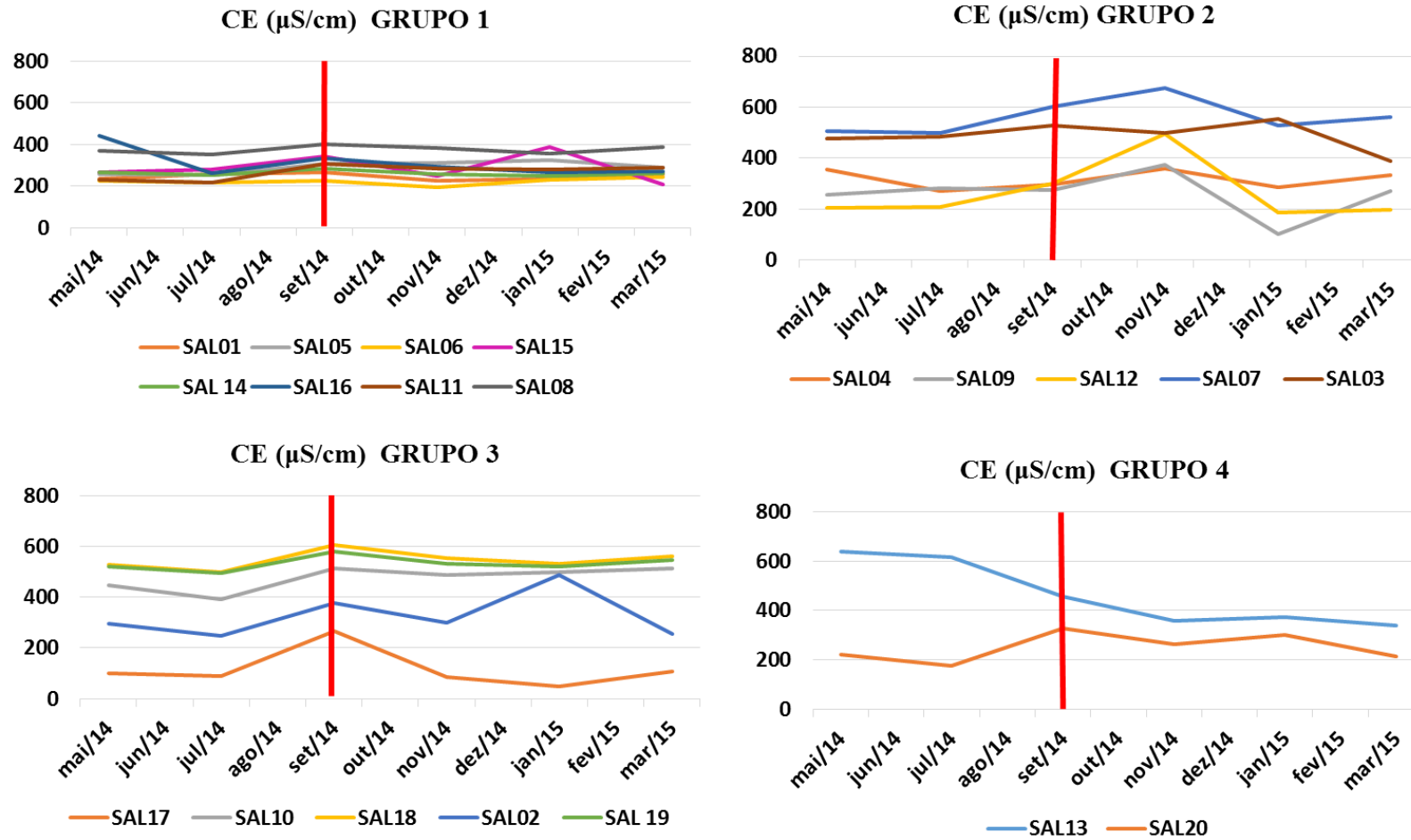


Figura 25- Diagramas mostrando a variação temporal da condutividade elétrica nas águas dos diferentes grupos hidroquímicos na área de estudo. E o mês de setembro indicando início de déficit hídrico (maio/2014 a março/2015)

7.5.3 Ânions e Cátions

7.5.3.1 Bicarbonato (HCO_3^-)

O íon bicarbonato é comum nas águas meteóricas devido ao contato do CO_2 com a atmosfera, originando águas bicarbonatadas. As águas bicarbonatadas mais superficiais transformam-se em cloretadas com a profundidade através da adição de cloreto por difusão iônica ou devido à dissolução de halita (Ramage 2005).

As amostras de água subterrânea do grupo 1 apresentaram valores médios de 0,89 meq/L período seco e no período chuvoso 0,74 meq/L. As amostras deste grupo mostraram valores significativos de bicarbonato quando comparados com as amostras de água do aquífero Barreiras com 0,16 meq/L (Paranhos 2010)

Águas do grupo 2 apresentaram valores médios de bicarbonato variando de 3,08 meq/L período seco e no período chuvoso 2,56 meq/L. Observou-se que as maiores concentrações de bicarbonatos são de poços perto da praia (SALPT03 e SALPT07).

No grupo 3 os valores médios de bicarbonato foram de 2,75 meq/L no período seco e 2,64 meq/L no chuvoso. Águas de poços (SALPT 18 e SALPT19) localizados em lava-jatos apresentaram valores mais expressivos do que a média do aquífero Pirabas com 3,09 meq/L de bicarbonato (Paranhos 2010).

Amostras de água do grupo 4 apresentaram valores no intervalo de 1,61 meq/L período seco e no período chuvoso 2,02 meq/L. Na Figura 25 está representada a distribuição espaço-temporal dos valores bicarbonato entre os grupos.

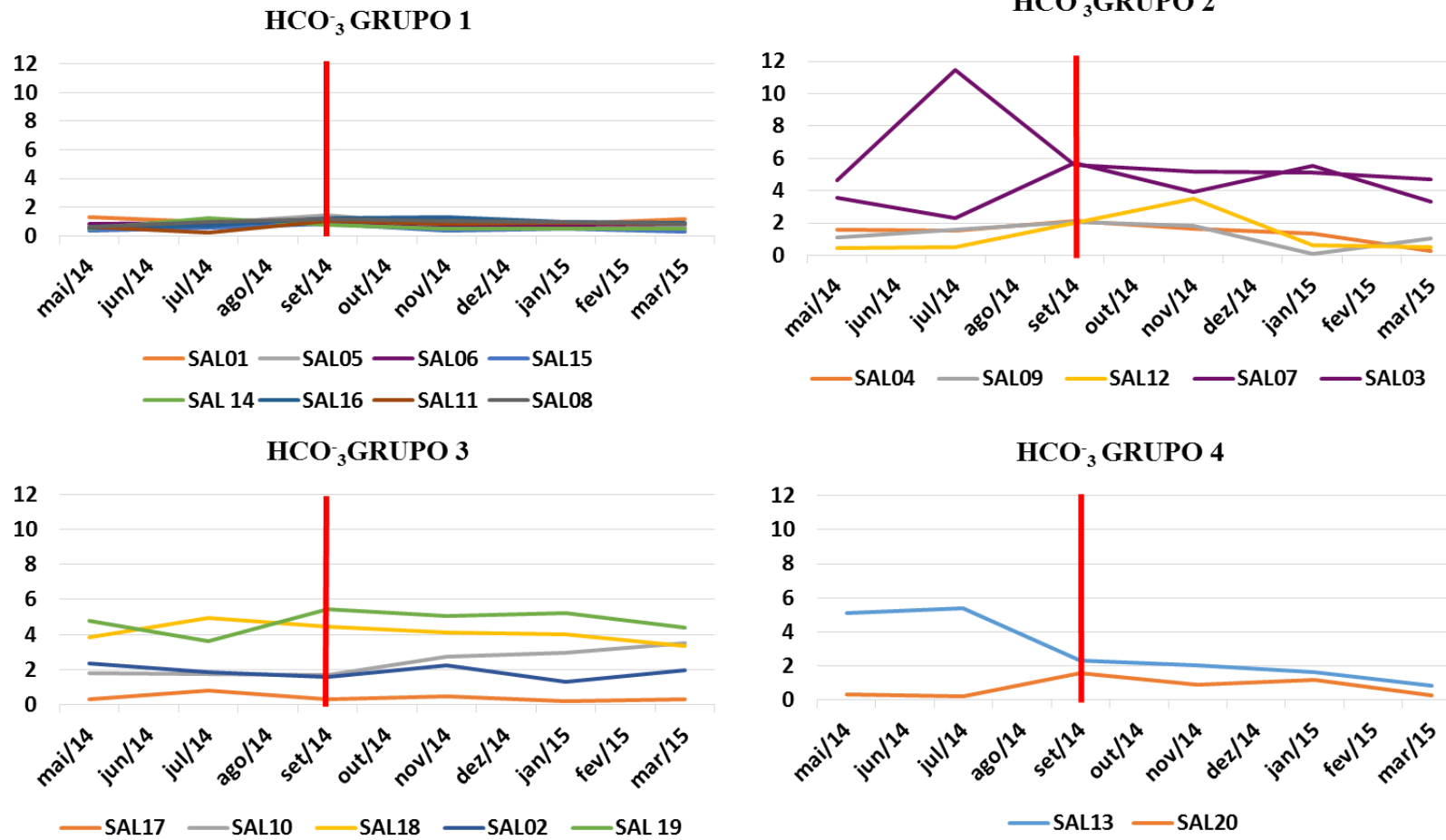


Figura 26- Diagramas mostrando a variação temporal dos valores de bicarbonato nas águas dos diferentes grupos hidroquímicos na área de estudo. E o mês de setembro indicando início de déficit hídrico (maio/2014 a março/2015).

7.5.3.2 Cloreto (Cl⁻)

O Cloreto é o íon mais informativo na perspectiva hidroquímica. Como é comum nas águas subterrâneas, possui um número limitado de fontes identificáveis sendo um elemento conservador e marcador hidroquímico muito útil (Mazor 2004).

Nas amostras de água dos poços grupo 1, as concentrações de cloreto variaram de 0,42 meq/L a 1,44 meq/L com média de 0,77 meq/L no período seco e 0,45 meq/L no período chuvoso. Com início do déficit hídrico foram observados valores expressivos de cloreto nas águas de fonte natural (SALFT05) e poços próximo a rio estuarino (SALAM15 e SALPT08). De acordo com Paranhos 2010, concentrações de cloreto em águas do aquífero Barreiras alcançaram valores médios de 0,53 meq/L.

Nas águas do grupo 2, amostras variaram de 0,29 meq/L a 1,79 meq/L com média 0,95 meq/L no período seco e 0,68 meq/L no período chuvoso. Concentrações elevadas de cloreto podem ser indicadores de contaminação por água do mar (Feitosa & Manoel Filho 2000). Entre as amostras, a SALPT07, localizada perto da praia foi que apresentou maior concentração de cloreto

Amostras de águas do grupo 3 apresentaram valores de 0,11 meq/L a 1,25 meq/L com média 0,50 meq/L no período seco e 0,54 meq/L no período chuvoso. Poços (SALPT10 e SALPT18) localizados em postos de combustíveis e lava-jatos apresentaram em suas águas um aumento nas concentrações de cloreto em todo período sazonal.

No grupo 4 os valores foram de 1,13 meq/L no período seco e 0,85 meq/L no período chuvoso. Em todos os grupos hidroquímicos, as concentrações de cloreto nas águas permaneceram maiores quando comparados com os valores descrito por Paranhos 2010 para os aquíferos Barreiras (0,56/0,45 meq/L seco e chuvoso) e Pirabas (0,1 meq/L).

Na Figura 27 está representada a distribuição espaço-temporal dos valores de cloreto entre os grupos

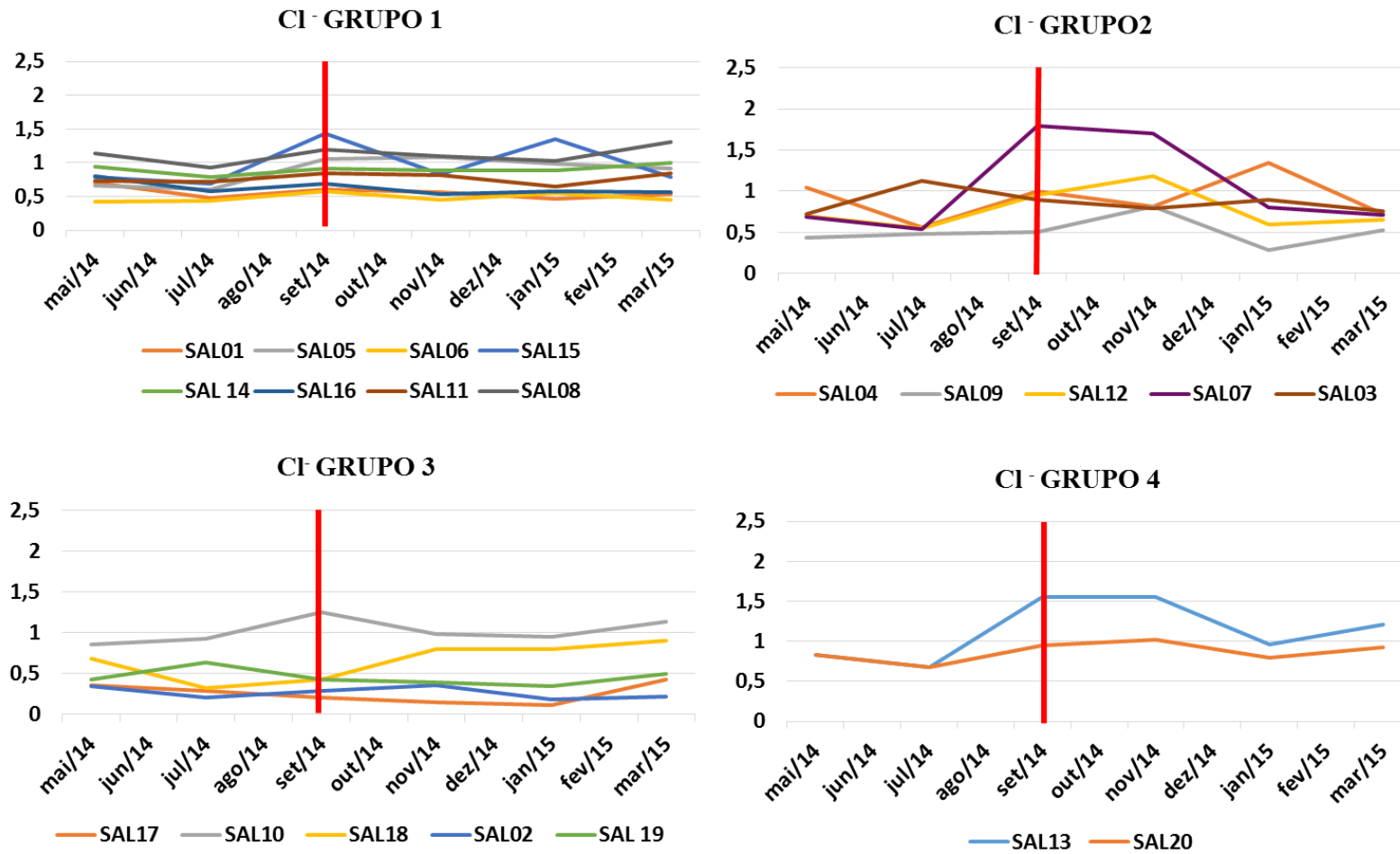


Figura 27- Diagramas mostrando a variação temporal dos valores de cloreto nas águas dos diferentes grupos hidroquímicos na área de estudo. E o mês de setembro indicando início de déficit hídrico (maio/2014 a março/2015).

7.5.3.3 Sulfato (SO_4^{2-})

O sulfato origina-se da oxidação de minerais sulfetados presentes nas rochas como pirita e calcopirita e da lixiviação de compostos sulfatados (Ramage 2005). No mar apresenta uma média de 46,6 meq/L de sulfato e em lagos salgados de até 118 meq/L. Nas águas subterrâneas apresentam geralmente teores de sulfatos totais inferiores a 1,63 meq/L de sulfato (Hem 1995).

Nas amostras de água do grupo 1, concentrações de SO_4^{2-} variaram de 0,38 meq/L a 2,16 meq/L com média 0,91 meq/L no período seco e 0,78 meq/L no período chuvoso. De acordo com Paranhos 2010, concentração de sulfato no aquífero Barreiras foram de 0,05 meq/L.

Amostras de água do grupo 2 apresentaram variação de 0,004 meq/L a 2,15 meq/L, com média de 0,53 meq/L, no período seco e 0,35 meq/L no período chuvoso.

Foram observados aumento das concentrações de sulfato nas amostras FTSAL15 e FTSAL04. Percebe-se picos nos valores de sulfato nessas fontes em todo período seco. Segundo Otobo (1995) há influência de folhelhos negros nessas nascentes ricas em matéria orgânica onde frequentemente estão associados ao mineral pirita (FeS_2)

As amostras do grupo 3 apresentaram um valor mínimo de 0,003 meq/L e máximo de 1,36 meq/L com média de 0,32 meq/L no período seco e 0,57 meq/L no período chuvoso. Poços localizados em lava-jatos apresentaram em suas águas um aumento significativo nas concentrações de sulfato (SALPT10 e SALPT18). Segundo Paranhos (2010) nas águas do aquífero Pirabas foram observados baixas concentrações de sulfato com 0,15 meq/L no período seco e 0,17 meq/L no período chuvoso.

Para o grupo 4, concentrações de sulfato variaram de 0,09 meq/L a 0,99 meq/L, com média 0,47 meq/L no período seco e 0,36 meq/L no período chuvoso. Diagramas de distribuição espaço-temporal dos valores de sulfato estão representados através dos grupos hidroquímicos na Figura 28.

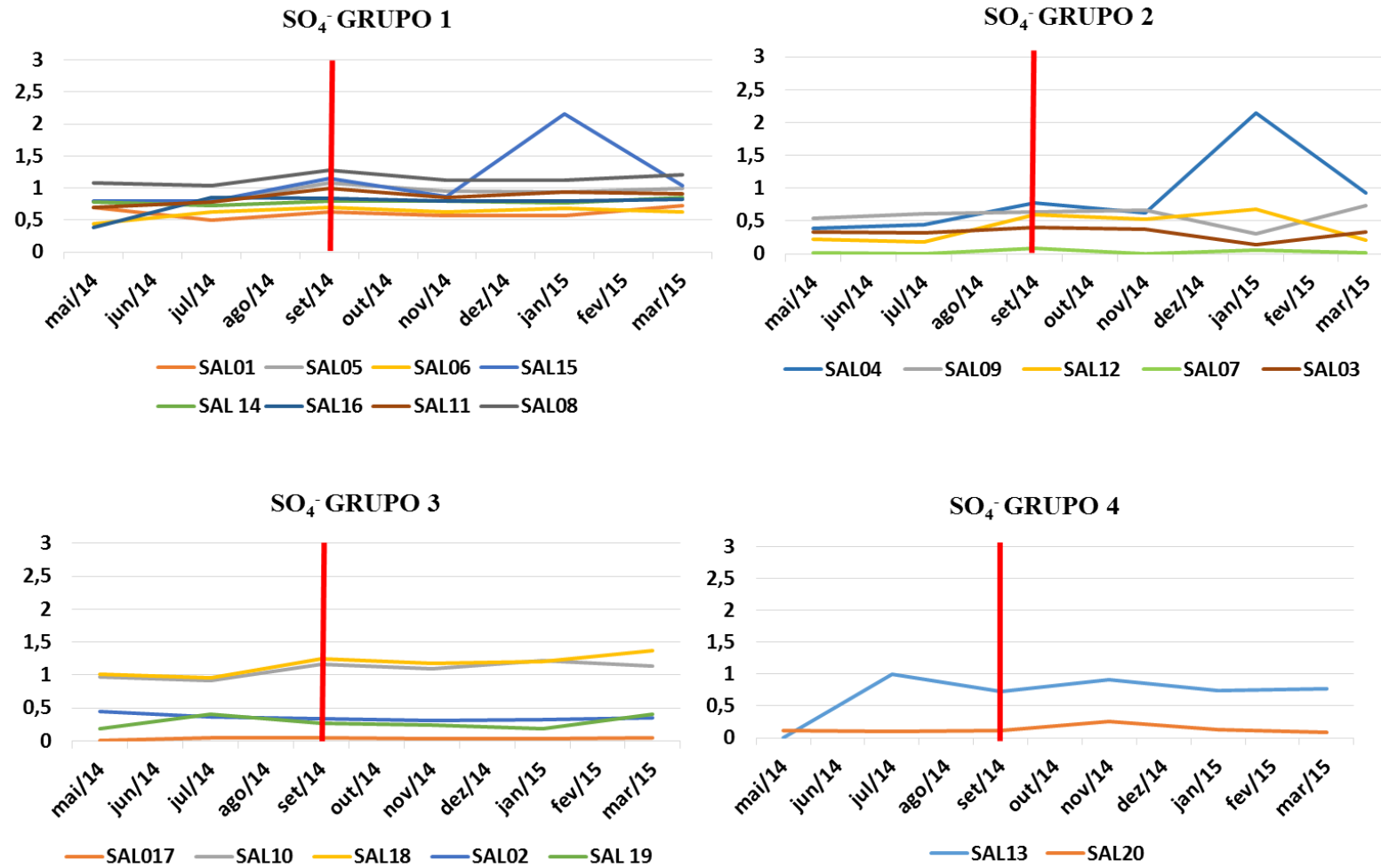


Figura 28- Diagramas mostrando a variação temporal dos valores de sulfato nas águas dos diferentes grupos hidroquímicos na área de estudo. E o mês de setembro indicando início de déficit hídrico (maio/2014 a março/2015).

7.5.3.4 Sódio (Na^+)

O sódio é um dos cátions mais abundantes nas águas subterrâneas. Isso é devido sua ampla distribuição nos minerais fontes, à baixa estabilidade química destes minerais do qual ele faz parte, por apresentar elevada solubilidade e difícil precipitação da maioria de seus compostos químicos em solução (Feitosa & Manoel Filho 2000).

As amostras de água do grupo 1 apresentaram valores de sódio de 0,22 meq/L a 3,85 meq/L com média de 2,43 meq/L no período seco e 1,97 meq/L no período chuvoso. Verificou-se que todas as amostras de água do grupo 1 mostraram um comportamento crescente nos valores do íon de sódio em se tratando do período seco. Segundo Paranhos 2010 valores médios de sódio para o aquífero Barreiras foram de 0,61 meq/L.

Nas amostras de água do grupo 2, concentrações de sódio variaram de 0,32 meq/L a 4,93 meq/L com média 2,98 meq/L no período seco e 1,92 meq/L no período chuvoso. Em poços (SALPT03 e SALPT07), situados perto da praia há um aumento na concentração do íon sódio, concordando com Feitosa & Manoel Filho 2000 que descrevem que a presença do sódio em aquíferos costeiros pode estar relacionada à intrusão da água do mar.

Os valores de sódio nas águas do grupo 3 apresentaram um mínimo de 0,18 meq/L e de máximo de 1,76 meq/L com 0,80 meq/L, no período seco e 0,75 meq/L no período chuvoso, bem maiores dos valores descrito por Paranhos 2010, para o aquífero Pirabas, com uma média de 0,17 meq/L.

Para as águas do grupo 4, concentrações de sódio apresentaram valores no intervalo de 5,3 meq/L a 7,4 meq/L com média 7,0 meq/L no período seco e 5,9 meq/L no período chuvoso. Os 2 poços (SALPT13 e SALPT20) localizados em lava-jatos mostraram valores expressivos de sódio quando comparados com os outros grupos.

Na Figura 29 está representada a distribuição espaço-temporal dos valores de sódio entre os grupos hidroquímicos.

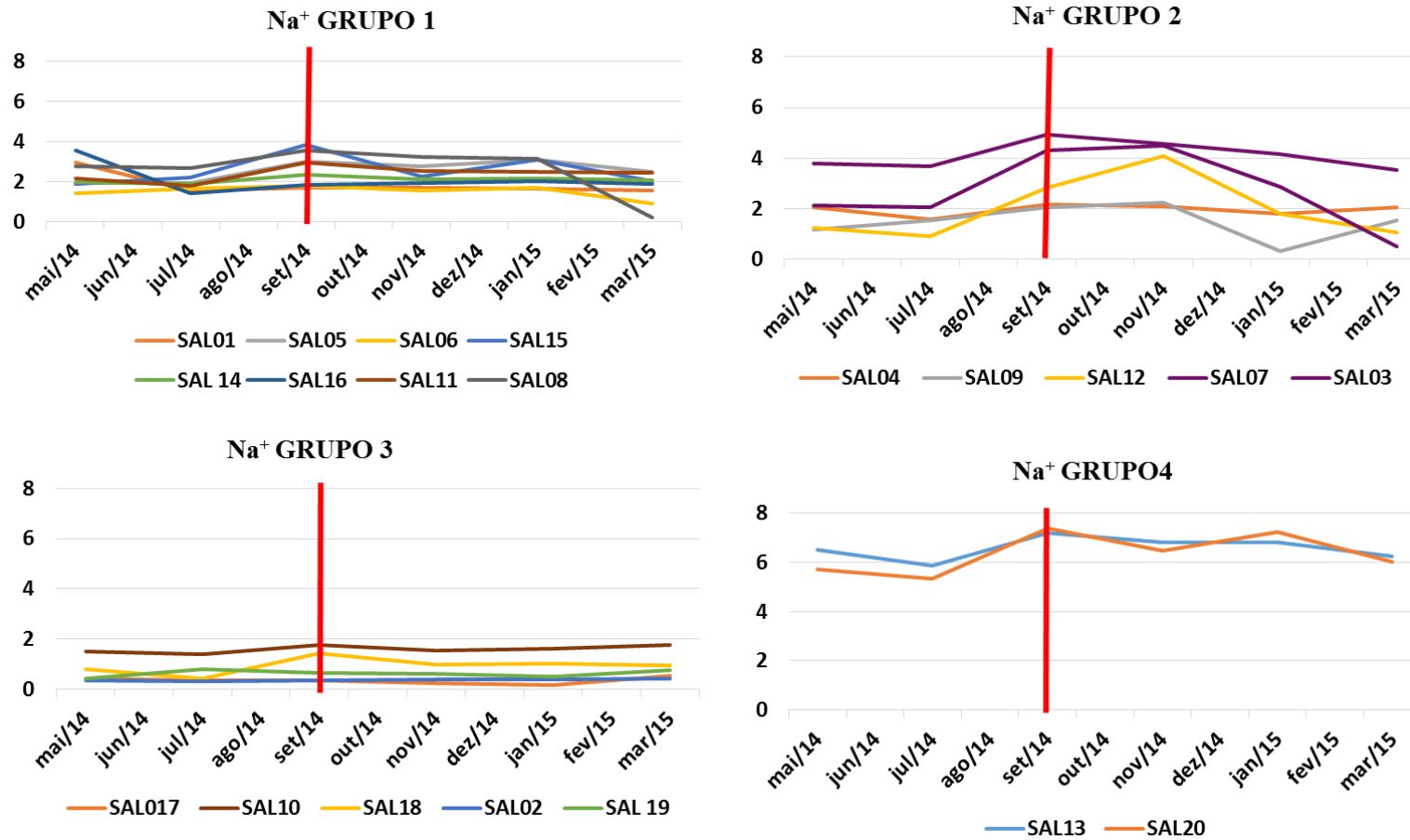


Figura 29-Diagramas mostrando a variação temporal dos valores de sódio nas águas dos diferentes grupos hidroquímicos na área de estudo. E o mês de setembro indicando início de déficit hídrico (maio/2014 a março/2015).

7.5.3.5 Cálcio (Ca^{2+})

A origem do Cálcio é provavelmente vinculada com a dissolução de carbonatos (calcita e dolomita) abundantes em ambientes com influência marinha. É importante enfatizar que a dissolução da gipsita também promove a liberação iônica do cálcio (Ramage 2005).

As amostras de água do grupo 1 apresentaram valores de cálcio variando de 0,04 meq/L a 1,19 meq/L com média 0,54 meq/L no período seco e 0,42 meq/L no período chuvoso. Paranhos (2010) descreveu valores médios de cálcio para o aquífero Barreiras na região metropolitana de Belém em torno de 0,24 meq/L.

Nas amostras de água do grupo 2, o cálcio apresentou valores que variaram de 0,57 meq/L a 2,33 meq/L com média 1,19 meq/L no período seco e 1,05 meq/L no período chuvoso. Um incremento nas concentrações de cálcio é visualizado nas águas de poços do grupo 2 (SALPT03 e SALPT07). Portanto, por estarem próximos à praia do Maçarico e conseqüentemente perto de afloramentos de rochas carbonáticas acabam por emprestar grandes concentrações de íons cálcio.

Concentrações de cálcio nas amostras de água do grupo 3 apresentaram um mínimo de 0,34 meq/L e máximo de 5,26 meq/L com valores médios de 3,24 meq/L, no período seco e 2,67 meq/L no período chuvoso. De acordo com Paranhos (2010) valores médios de cálcio no aquífero Pirabas foram de 2,06 meq/L. Valores significativos de concentrações de cálcio nesse grupo são atribuídos provavelmente às rochas ricas em calcita subjacentes na Formação Pirabas. (Freimann 2012)

As amostras de água do grupo 4 apresentaram valores de cálcio variando de 0,45 meq/L a 5,34 meq/L com média 2,10 meq/L no período seco e 1,70 meq/L no período chuvoso. Entre os grupos hidroquímicos estudados, o 3 e 4 foram que apresentaram maior contribuição de íons cálcio em suas águas. Poços localizados em lava-jatos aumentaram a concentração do íon cálcio nas águas destes grupos (SALPT18, SALPT19, SALPT13 e SALPT20)

Diagramas da distribuição espaço-temporal dos valores do íon cálcio entre os grupos estão representados abaixo na Figura 30.

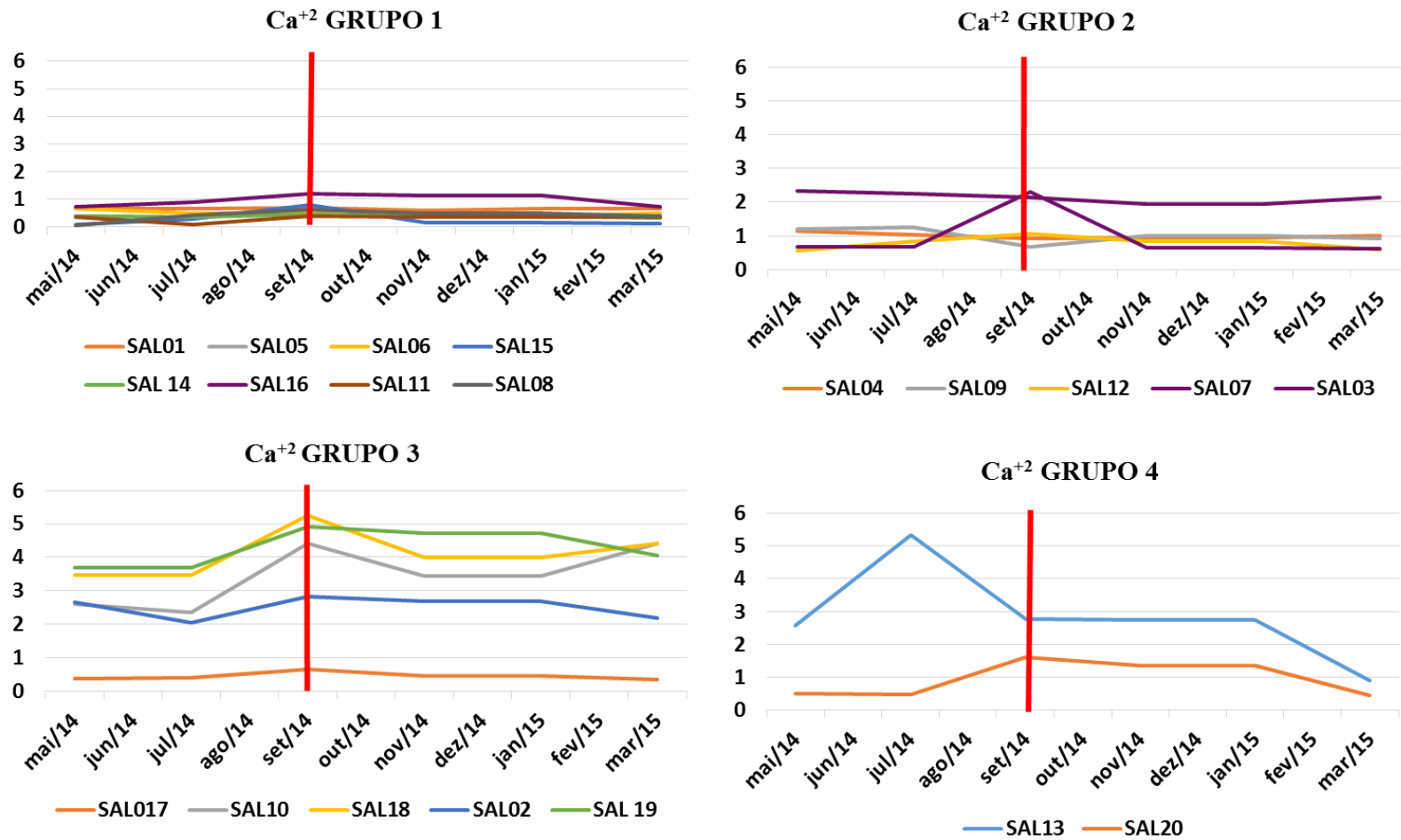


Figura 30- Diagramas mostrando a variação temporal dos valores de cálcio nas águas dos diferentes grupos hidroquímicos na área de estudo. E o mês de setembro indicando início de déficit hídrico (maio/2014 a março/2015).

7.5.3.6 Magnésio (Mg^{2+})

O magnésio apresenta comportamento similar ao cálcio, embora seja mais solúvel e difícil de precipitar. Em águas naturais as concentrações não excedem 0,40 meq/L, sendo teores mais elevados vinculados a salinidade (Ramage 2005).

Nas amostras de água do grupo 1, valores de magnésio foram de 0,02 meq/L a 0,68 meq/L com média de 0,19 meq/L no período seco e 0,14 meq/L no chuvoso. Nas amostras de água do aquífero Barreiras estudada por Paranhos 2010 os valores foram de 0,08 meq/L em ambos os períodos (seco e chuvoso).

Nas amostras do grupo 2, os valores de magnésio variaram de 0,05 meq/L a 1,61 meq/L com média de 0,63 meq/L para o período seco e 0,48 meq/L para o chuvoso.

Os valores das concentrações de magnésio nas águas do grupo 3 apresentaram um mínimo de 0,04 meq/L e máximo de 0,87 meq/L com 0,40 meq/L, no período seco e 0,41 meq/L no período chuvoso. As águas do aquífero Pirabas estudada por Paranhos (2010) apresentaram em ambos os períodos o valor de 0,48 meq/L de magnésio.

As amostras de água do grupo 4 apresentaram valores mínimo de magnésio 0,07 meq/L e máximo de 1,28 meq/L. No período seco o valor foi de 0,34 meq/L e no chuvoso de 0,53 meq/L. Os valores de magnésio nos grupos 1, 2, 3 e 4 estão concordantes aos valores descritos por Feitosa & Manoel Filho 1997 para as águas subterrâneas com intervalo de 0,08 a 3,29 meq/L.

A Figura 31 está representada por diagramas de distribuição espaço-temporal dos valores de magnésio entre os grupos.

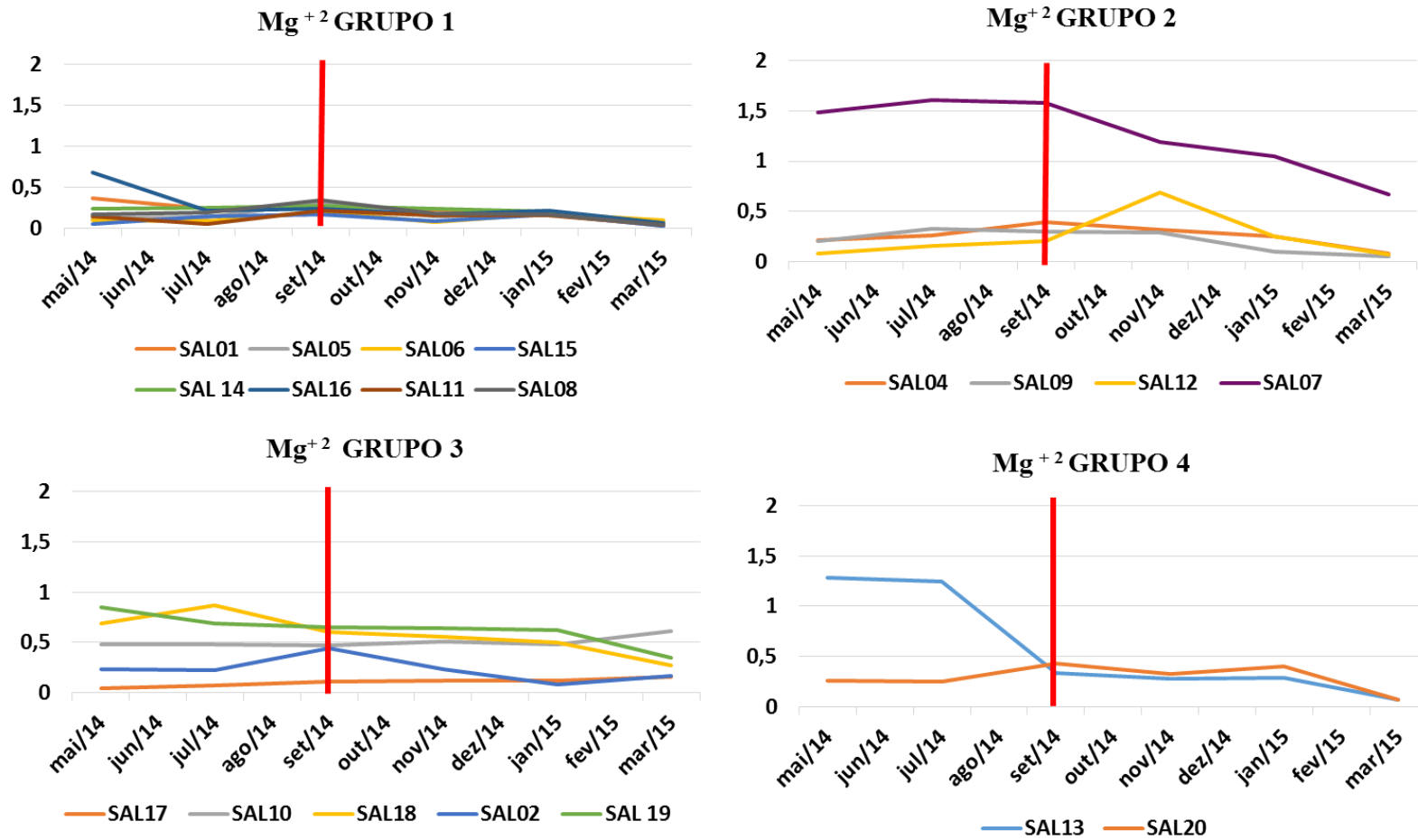


Figura 31- Diagramas mostrando a variação temporal dos valores de magnésio nas águas dos diferentes grupos hidroquímicos na área de estudo. E o mês de setembro indicando início de déficit hídrico (maio/2014 a março/2015)

7.5.3.7 Potássio (K⁺)

Nas águas meteóricas os teores de potássio estão geralmente no intervalo de 0,003 a 0,1 meq/L, enquanto que as águas oceânicas são de 10,23 meq/L (Silva 2015).

As amostras de água do grupo 1 apresentaram concentrações de potássio variando de 0,04 meq/L a 0,17 meq/L com média de 0,08 meq/L no período seco e 0,06 meq/L no chuvoso. Valores similares foram mostrados por Paranhos 2010 nas amostras de água do aquífero Barreiras com valores de 0,06 meq/L no período seco e 0,04 meq/L no chuvoso.

Nas águas do grupo 2, os valores de potássio foram de 0,05 meq/L a 1,61 meq/L com média de 0,18 meq/L para o período seco e 0,09 meq/L para o chuvoso. Os valores de potássio para as amostras de água do grupo 3 apresentaram um mínimo de 0,008 meq/L e máximo de 0,08 meq/L variando de 0,03 a 0,02 meq/L no período seco e chuvoso respectivamente. Esses valores são equivalentes ao do aquífero Pirabas na RMB de 0,07 meq/L, em ambos os períodos sazonais (Paranhos 2010).

Para as águas do grupo 4, concentrações de potássio apresentaram valores de 0,02 meq/L a 0,1 meq/L com média de 0,05 meq/L no período seco e 0,03 meq/L no chuvoso. Entre todos os grupos, o grupo 2 foi o que apresentou maiores concentrações de potássio com ênfase para as águas proveniente (SALFT04 e SALPT12) de fonte natural e poço localizado em lava-jato.

Na Figura 32 está representada a distribuição espaço-temporal dos valores de potássio entre os grupos hidroquímicos.

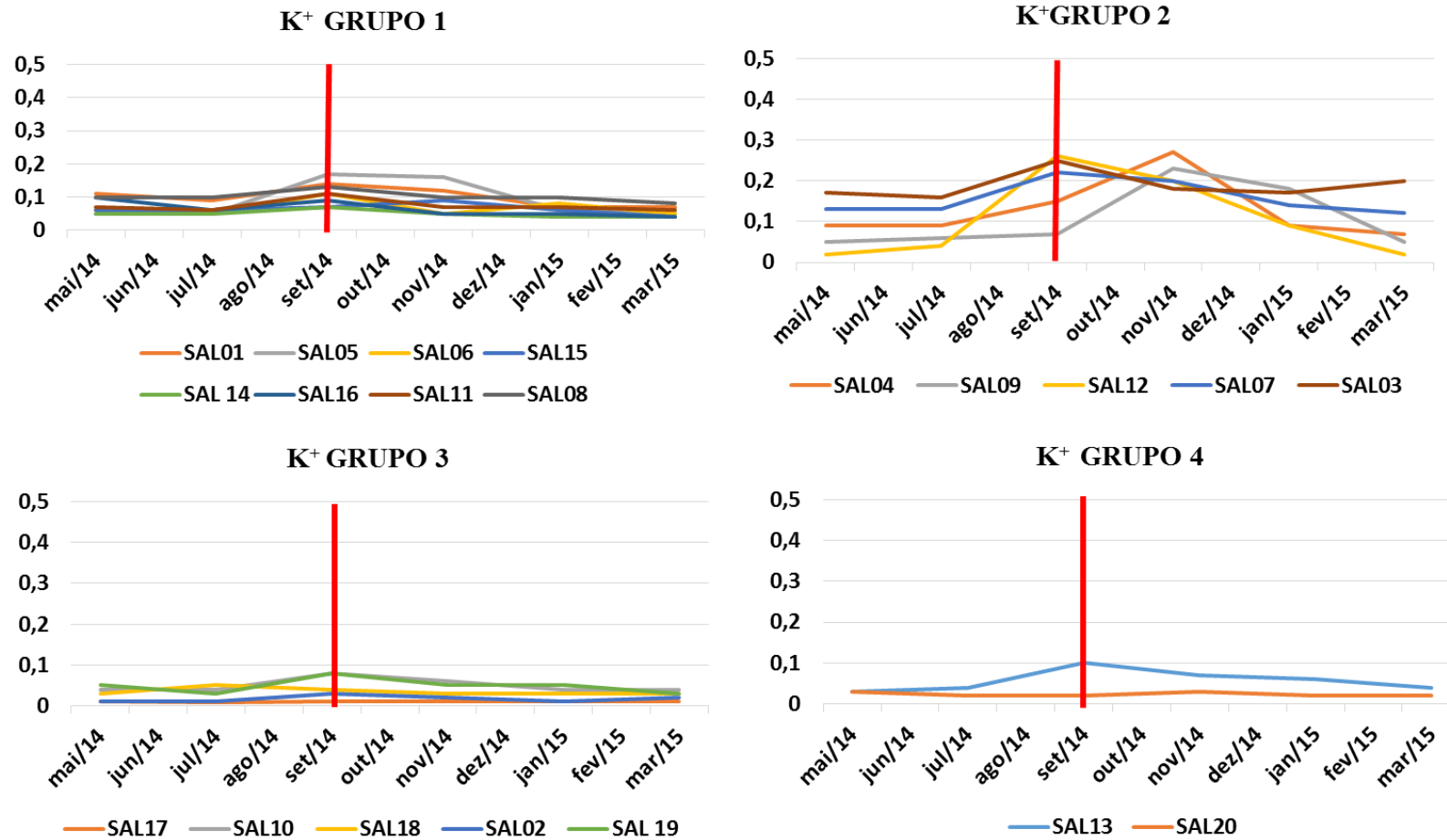


Figura 32- Diagramas mostrando a variação temporal dos valores de potássio nas águas dos diferentes grupos hidroquímicos na área de estudo. E o mês de setembro indicando início de déficit hídrico (maio/2014 a março/2015).

8 CONCLUSÃO

Foi realizado a caracterização hidroquímicas dos aquíferos rasos na cidade de Salinópolis sendo analisadas e classificadas segundo suas fácies hidroquímicas. Cada grupo apresentou características hidroquímicas distintas, sendo predominantemente: cloretadas ou sulfatadas sódicas, bicarbonatadas sódicas, bicarbonatadas cálcicas e cálcica sódio cloretada.

Cada grupo revelou o tipo de contribuição em suas águas. O grupo hidroquímico 1, rico em Na^+ , SO_4^- e Cl^- se assemelha as águas do sistema aquífero Barreiras. O grupo 3, rico em HCO_3^- e Ca^{2+} se assemelha as águas do aquífero Pirabas. As águas do grupo 2 e 4 apresentaram características dos dois grupos anteriormente citados.

Houve variação nos valores pH e condutividade elétrica entre o período seco e o chuvoso assim como na concentração da maioria dos íons analisados nas águas de poços localizados perto da praia, em rios estuarinos e fontes naturais ou nascentes. Entretanto, essas diferenças não foram marcantes em todos os poços analisados.

As águas de meteóricas interferiram rapidamente nas concentrações iônicas durante o período chuvoso alterando a composição química. Amostras do grupo 2 e 4 durante o período chuvoso mostraram claramente o *input* atmosférico, fazendo com que houvesse uma mudança no fácies hidroquímico deste grupo (Grupo 2 → Grupo 1).

As fontes ou nascentes apresentaram um enriquecimento de sulfato (SO_4^-) em suas águas devido a existência de folhelhos negros, ricos em matéria orgânica onde se observa frequentemente o mineral pirita (FeS_2), localizado próximo ao contato com rochas calcárias existentes na área de estudo.

Diagramas de Schöller sugerem processos de misturas entre águas do mesmo grupo, indicado pelo comportamento em leque enquanto que os diagramas de Van Wirdum indicaram que águas dos aquíferos costeiros na região possuem influência litotrófica (grupo 3 e 4) e climática (grupo 1 2) não observando influência oceânica em nenhum dos poços analisados.

Os poços localizados perto da praia apresentaram em suas águas valores mais expressivos de Na^+ e Cl^- quando comparados com poços mais afastados, porém não apresentaram processo de salinização. As concentrações pontuais de cloretos identificadas nos aquíferos da região devem estar associadas ao aumento gradativo da salinidade devido à proximidade da água do mar e de rios estuarinos presente na região.

Sob o aspecto temporal, nem todos os parâmetros analisados variaram durante o período de amostragem. A variabilidade espacial dos íons dissolvidos nas águas dos grupos hidroquímicos indicaram aumento nos poços de lava-jatos e localizados em postos de combustíveis. Entretanto, considerando os valores limites das concentrações iônicas indicadas pelo Ministério da Saúde para a potabilidade das águas, pelos parâmetros hidroquímicos, as águas analisadas são consideradas potáveis.

Em relação ao período de amostragem houve a necessidade de uma maior demanda de tempo com a finalidade de obter mais dados. A maioria dos poços tipo tubulares na cidade de Salinópolis são fechados, limitando a coleta e informação elementares no quesito de profundidade.

Deve-se salientar que os dados hidroquímicos geraram importantes contribuições para o reconhecimento dos tipos de águas na região, influenciados por fatores naturais e antrópicos que interferiram na composição hidroquímica dos poços analisados. Entretanto, os resultados foram introdutórios e embasados em um número reduzido de amostras.

Para uma avaliação mais detalhada dos diferentes tipos de água que circulam os diferentes aquíferos da região há a necessidade de trabalhar com maior número de amostras, coletadas de poços com maior controle de informações em relação a profundidade e geologia.

REFERÊNCIAS

- Araújo P. P. 1998. Aspectos gerais da hidrogeologia das regiões costeiras cidade de Salinópolis. *Trabalho de especialização*. Belém, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 11p.
- American Public Health Association 1995. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, American Public Health Association, 140 p.
- Aquachem Software. 2011. *Aqueous Geochemical Data Analysis and Plotting*. Canadá, Version 5.1, CD-ROM.
- Bezerra P. E. L. 1991. Geologia. *In: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geografia do Brasil*. Rio de Janeiro. 307 p.
- Borges M.S., Angélica R.S., Costa M.L. 1988. Contribuição a geologia da região de Santa Luzia do Pará, nordeste do Pará. *In: SBG, 35º Congresso Brasileiro de Geologia, Anais*. P.2689-2703.
- Cabral N.M.T. 2004. Impacto da urbanização na qualidade das águas subterrâneas nos bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal. PhD Tese, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 278 p.
- Carvalho W. G. 2001. Caracterização químicas dos aquíferos da Formação Pirabas no Conjunto COHAB / Distrito de Icoaraci - Pará, Brasil. *Trabalho de conclusão de curso*. Belém, Departamento de Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará.
- Camargo A. M., Cunha B.J.C., Lisboa E. G., Melo G.T.M., Duarte K. A. C., Sobrinho L., Souza M., Lopes P.C. 2012. Mapeamento da Vulnerabilidade de aquíferos: Subsídio gerencial dos recursos hídricos subterrâneos de Salinópolis/PA. *In: XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. Anais*. São Paulo, Brasil.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo .1978. Normalização Técnica NT-07. Análise físico-química das águas. São Paulo-SP, CETESB. 340 p.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2012. Guia de coleta e preservação de amostras de água. São Paulo. 327 p. Disponível em: <<http://laboratorios.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/47/2013/11/guia-nacional-coleta-2012.pdf>>. Acesso em: 12/04/2015.
- Costa J. L., Villas Boas J. M., Pestana J. M.N., Wanderley V.J.R., Araújo A.A.F., Frizz J.S. 1977. *In: Projeto Gurupi: DNPM/CPRM*. v. 2. 258 p.
- Costa Júnior P. S., Costa J. B. S., Borges M. S., Bemerguy R. L., Fernandes J.M. G., Costa M. L. da. 1992. Aspectos geológico-ambientais do litoral do município de Salinópolis, NE do estado do Pará. *In: SBG, 37º Congresso Brasileiro de Geologia, , São Paulo. Anais*. p.46.
- Costa F.F. 2004. *Avaliação Hidrogeoquímica em áreas selecionadas na Bacia hidrográfica do rio Maracanã (Nordeste Paraense)*. MS Dissertação, Pós Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém. 141p.
- Custodio E. & Llamas M.R. 1976. *Hidrologia Subterrânea*. v.2, Omega, Barcelona. 2450 p
- Feitosa F.A.C. & Manoel Filho J.M. (ed.). 2000. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. CPRM/LABHID, 2ª. Ed. 391p.
- Feitosa F.A.C. & Manoel Filho J. M. (ed.). 1997. *Hidrologia, conceitos e aplicações*. LABHID-UFPE, CPRM. 412p

- Fenzl N. 1986. *Introdução a Hidrogeoquímica*, Belém, Ed. UFPA, 189 p.
- Freimann B. C. 2012. *Correlação de perfis geofísicos de poços no município de Salinópolis – PA*. Monografia, Faculdade de Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, , 65p.
- Góes A. M., Rossetti D. F. 2001. Gênese da Bacia de São Luís-Grajaú. In: Rossetti, D. F., Góes, A. M., Truckenbrodt, W. (Ed.). *O Cretáceo da Bacia de São Luís-Grajaú*, Belém: MPEG Editoração. p. 15-29.
- Hem J. D. 1985. *Study and interpretation of the characteristics of natural waters*. Geological Survey Water-Supply Paper. Washington D.C.225p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 2006. *Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais*. CREN. Sistema de Metadados para Recursos Naturais (Geologia, Geomorfologia e Pedologia) Disponível em:<<http://www.metadados.inde.gov.br>>. Acesso em: 05/05/2015.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 2010. *Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais*. CREN. Sistema de Metadados para Recursos Naturais (Base Cartográfica). Disponível em:<<http://www.metadados.inde.gov.br>>. Acesso em: 20/06/2015.
- Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. 2015. *Dados Climatológicos Salinópolis*. Seção de Observação e Meteorologia Aplicada - SEOMA. 2º Distrito de Meteorologia. Consulta Genérica.
- Leite W.S. 2010. *Estratigrafia de dunas costeiras de Salinópolis/Pa em associação com variações pluviométricas*. MS Dissertação, Instituto de Estudos Costeiros, Universidade Federal do Pará, 66p.
- Lucena L.F.R., Rosa Filho E.F., Bittencourt A.V.L. 2004. Características hidroquímicas do aquífero barreiras no âmbito do setor oriental da Bacia do Rio Pirangi, Rio Grande do Norte. *Revista Águas Subterrâneas*. Curitiba-PR. v.18. p. 29-38.
- Matta M.A. da S. 2002. *Fundamentos Hidrogeológicos para a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos da Região de Belém, Pará*. PhD Tese, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Brasil. 292p.
- Mazor E. 2004. *Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology*. Third Edition Books in Soils Plants and the Environment. 453 p.
- Mengawaco A.1995. Caracterização climática da cidade de Salinópolis/ PA. *Trabalho de conclusão de curso*. Belém, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará.
- Oliveira, J. R., da Silva Matta, M. A., Vieira, R., & Pontes, A. 2006. Exploração dos aquíferos costeiros em Salinópolis e arredores. *Revista Águas subterrâneas*, São Paulo, Brasil.
- Otobo A. O. 1995. *Caracterização de águas naturais sujeitas à influência da formação Pirabas-(PA)*. MS Dissertação, Belém, Pará, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará.118 p.
- Secretaria de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças - SEPOF. 2008. *Estatísticas Municipais Mesorregião Nordeste Paraense, Salinópolis*. Disponível em:<<http://fapespa2.pa.gov.br/pdf/estatisticaMunicipal/pdf/Salinopolis.pdf>>. Acesso em: 19/03/2015.

- Palheta E.S.M. 2008. Estudo da compartimentação e arcabouço neotectônico da Ilha de Mosqueiro-Pará empregado no conhecimento hídrico subterrâneo. PhD Tese, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 241p.
- Paranhos P.F. 2010. *Caracterização Hidroquímica do Sistema Aquífero Pirabas em Icoaraci, Região Metropolitana de Belém – Estado do Pará*. MS Dissertação, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 94 p.
- Pereira L., Santiago M. M. F., Mendonça L. A. R., Frischkorn H., Lima J. O. G., Mendes Filho J. 2004. Medidas hidroquímicas e isotópicas em águas subterrâneas que abastecem o município de São Luís – Maranhão. *Revista Águas subterrâneas*, São Paulo, v. 18, 103-118p.
- Piper A.M., .1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Earth & Space Science News*, Transactions - American Geophysical Union, v.25. p. 914-928. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/TR025i006p00914/epdf>>. Acesso em: 5/07/2015.
- Post V. E. A. 2005. Fresh and saline groundwater interaction in coastal aquifers: Is our technology ready for the problems ahead? *Hydrogeology Journal*, p120-123. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10040-004-0417-2>>. Acesso em: 5/05/2015.
- Prasad R.S.D., Sadashivaiah C., Ranganna G. 2009. Hydrochemical Characteristics and Evaluation of Groundwater Quality of Tumkur Amanikere Lake Watershed, Karnataka, India. *E-Journal of Chemistry*, v.6, p S211-S218. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1155/2009/710652>>. Acesso em: 22/07/2015.
- Pulido-Leboeuf, P. 2004. Seawater intrusion and associated processes in a small coastal complex aquifer (Castell de Ferro, Spain). *Applied Geochemistry*,v.19, p1517-1527. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883292704000605>>. Acesso em: 3/10 /2015.
- Ramage L. 2005. *Hidrogeoquímica do Sistema Aquífero Cenozoico do Município de Porto Alegre, RS*. MS Dissertação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 111 p.
- Ranieri L. A. 2014. Morfodinâmica costeira e o uso da orla oceânica de Salinópolis (Nordeste do Pará). PhD Tese, Programa de Pós graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém. 195p.
- Rocque C.1998. *História dos Municípios do Pará*. Editora Cejup, Edição 5^a, Belém.
- Rossetti, D.F., Góes, A.M. 2004. Geologia. In: Rossetti, D.F. & Góes, A.M. (eds.), O Neógeno da Amazônia Oriental. Editora do Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, p.13-52. (Coleção Friederich Katzer).
- Rossetti, D.F., Góes, A.M., Truckenbrodt, W. 1990. A influência marinha nos Sedimentos Barreiras. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Ciências da Terra, Belém, 2: 17-29.
- Rossetti D.F., Truckenbrodt W., Góes A.M. 1989. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos Sedimentos Pós-Barreiras na região bragantina, nordeste do Pará. Belém, MPEG, Boletim, v. 1, p. 25-74.
- Rodier J. 1981. *Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar*. Barcelona, Omega, p. 1059 p.

Rolim G.S., Sentelhas, P.C., Barbieri, V. 1998, Planilhas no ambiente. EXCEL™ para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.6, p.133-137.

Schoeller H. 1962. *Les eaux souterraines*. Paris, Masson & Cie. 642p.

Souza Filho P.W.M., Lessa G.C., Cohen M.C.L., Costa F.R., Lara R.J. 2009. The subsiding macrotidal barrier estuarine system of the eastern Amazon coast, northern Brazil. p 347-372. In: Dillenburg, S.F., Hesp, P.A. *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil* (Eds). New York: Springer, Verlag. Series: Lecture Notes in Earth Sciences, v. 107, 377p.

Souza E. L. 1996. Fatores controladores do quimismo de águas subterrâneas da região Nordeste do Pará. Belém-PA. PhD Tese, Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 189 p.

Souza Filho P.W.M & El-Robrini M. M. 1996. Morfologia, processos de sedimentação e litofácies dos ambientes morfosedimentares da Planície Costeira Bragantina - Nordeste do Pará (Brasil). *Geonomos*, v.4, p.1-16. Disponível em: <http://www.igc.ufmg.br/geonomos/PDFs/4_2_01_16_SouzaFilho.pdf>. Acesso em: 18/06/2015.

Souza Júnior C. M., Quadros M. L.E. S., Bezerra O. V. 1992. Projeto Nordeste do Estado do Pará. Departamento de Geologia, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 163 p.

Statistica for Windows 9.0. 2009. Disponível em: <<http://www.statsoft.com>>. Acesso em: 18/03/2015.

Thornthwaite C. W. & Matter, J. R. 1955. The water balance. *Climatology* **8**, (1).

Van Wirdum G. 1980. Description of water-quality changes in a hydrological cycle, for the purpose of nature conservation (in Dutch). In *Water quality in groundwater-flow systems*. In: J.C. Hooghart (ed.). Commission for Hydrological Research TNO, The Hague, the Netherlands. p. 118-143. (Reports and notes 5)

Anexo

Resultados das Análises Físico- Químicas

Tabela 1: Resultados dos Principais Parâmetros Físico-Químicos medidos na primeira campanha (maio/2014).

Poços	Temp	pH	STD	CE	HCO ₃ ⁻	Fe ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺	Ca ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	F ⁻
Unidades	(C°)		(mg/L)	(µS/cm)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
SAL01	29,9	5,9	234	500	79,3	0,02	68,1	4,52	4,40	35,11	12,33	27,91	33,76	0
SAL02	30	6,5	140	295	144,4	0,11	8,39	0,72	2,82	53,31	25,74	0,08	21,36	0,15
SAL03	29	7,9	216	475	217,16	0,01	87,2	7,00	9,13	13,33	36,95	0,27	16,56	0,45
SAL 04	30	5,4	157	356	98,8	0	46,9	3,73	2,56	22,70	23,58	4,09	19,15	0
SAL05	30,2	5,6	122	257	31,1	0,01	44,9	2,30	1,48	7,81	15,17	3,27	38,87	0
SAL06	29,2	5,6	105	228	52,3	0,05	32,4	2,40	1,23	13,08	24,63	4,58	21,48	0,12
SAL07	28,2	7,0	242	505	283,8	0,22	49,6	5,26	18,00	46,73	40,69	0,98	0,96	0,34
SAL08	30,4	5,4	176	371	39,8	0,15	63,9	4,26	1,96	8,75	15,85	7,55	52,23	0
SAL09	29,7	6,5	121	255	68,5	0,03	27,5	1,99	2,52	24,19	30,32	3,35	26,22	0
SAL 10	30	5,9	204	445	109,5	0,14	34,8	1,90	5,90	52,58	26,09	6,94	46,67	0,11
SAL 11	29,9	5,2	137	231	37,3	0	49,4	2,91	1,70	7,24	25,07	6,02	33,95	0,13
SAL12	30	5,3	96	204	27,4	0	28,3	1,13	1,05	11,60	29,49	7,17	10,80	0
SAL13	31,9	6,5	303	637	311,2	0,68	25,8	1,51	15,63	51,54	33,51	0,12	46,68	0,13
SAL 14	27,8	5,6	125	266	28,6	0,03	45,1	2,27	2,84	7,60	28,03	2,25	37,87	0
SAL15	28,6	4,9	106	266	21,2	0,05	43,3	2,46	0,68	1,66	28,43	1,91	38,66	0
SAL16	30,1	5,2	209	444	33,6	0,09	82,2	6,57	8,29	14,59	12,60	1,12	18,33	0,39
SAL17	31,9	6,0	47	99	19,9	0,03	9,85	0,47	1,49	7,57	24,22	2,65	1,74	0,11
SAL18	28,1	6,6	251	528	235,5	0,77	18,3	1,41	8,46	69,60	15,43	0,10	48,84	0,13
SAL 19	34,4	7,1	250	521	293,8	0,23	10,5	2,18	10,43	73,76	29,57	0,10	9,54	0,13
SAL 20	32,4	5,7	103	220	21,2	0	27,7	1,31	3,27	10,30	40,90	10,73	5,52	0
SAL21	28,5	5,8	232	478	35,3	0	59	9,56	6,96	32,44	31,70	17,45	68,53	0,29
SAL22	30,6	7,4	234	458	21,7	0	82,9	2,00	8,03	23,86		0,00	16,56	0,34

Tabela 2: Resultados dos Principais Parâmetros Físico-Químicos medidos na segunda campanha (julho/2014).

Poços	Temp	pH	STD	CE	HCO3-	Fe ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺	Ca ⁺	Cl ⁻	NO3 ⁻	SO4 ⁻	F ⁻
Unidades	(C°)		(mg/L)	(µS/cm)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
SAL01	30,2	5,7	123	259	57,7	0,16	36,2399	3,89	2,80	13,28	17,34	7,52	24,28	0
SAL02	30,1	6,0	116	246	112,6	0,03	7,6	0,62	2,76	41,44	7,40	0,08	17,40	0,15
SAL03	28,5	7,3	214	485	140,48	0	84,9	6,59	8,75	13,46	39,80	20,35	15,48	0
SAL 04	39	5,9	132	271	91,7	0,05	36,3	3,78	3,22	20,94	20,05	15,94	21,84	0
SAL05	30	5,6	120	251	55,0	0	43,9	2,16	1,63	7,12	21,82	4,42	37,58	0
SAL06	28,2	5,6	104	218	113,9	0,13	38,5	2,28	1,04	9,63	15,34	1,70	30,35	0
SAL07	29,2	7,0	235	498	699,0	0,15	47,3	5,34	19,61	44,94	19,31	0,09	0,27	0,53
SAL08	31,1	5,5	167	352	57,6	0	61,2	4,20	2,35	8,70	33,07	6,43	49,91	0
SAL09	30	6,4	137	282	96,8	0,04	36,0	2,72	4,01	24,93	17,30	2,32	29,69	0,13
SAL 10	30,3	5,6	185	390	108,2	0	32,5	1,79	5,94	47,34	28,40	5,46	44,11	0,12
SAL 11	29,2	5,1	104	219	13,1	0,06	41,6	2,41	0,73	1,59	25,35	2,02	37,56	0
SAL12	30,2	5,5	97	207	31,0	0,12	21,0	1,65	2,02	16,78	19,64	8,03	8,68	0
SAL13	32	5,9	289	614	329,0	0,03	26,5	1,60	15,39	107,10	24,33	0,10	47,86	0,14
SAL 14	29,8	6,0	120	252	76,5	0	42,9	2,19	3,05	6,89	28,06	2,36	35,50	0
SAL15	29	5,2	132	279	34,8	0	50,5	2,57	1,72	6,10	24,45	5,59	38,65	0
SAL16	29,5	5,9	124	264	41,1	0,03	32,9	2,69	2,61	17,74	20,30	4,19	41,00	0
SAL17	30,7	6,0	42	88	49,2	0,04	8,35	0,52	1,55	8,10	9,92	2,19	2,05	0,12
SAL18	28,5	6,5	235	497	301,8	0,3	9,97	2,20	10,67	69,60	11,45	0,08	8,91	0
SAL 19	35	5,9	493	493	222,2	0,18	18,7	1,41	8,39	73,76	22,66	0,08	50,75	0,14
SAL 20	29,9	5,3	176,1	176,1	14,5	0	23,7	1,04	3,06	9,40	23,78	8,74	5,06	0
SAL21	28,7	6,3	228	474	38,6	0	60,8	8,66	7,06	26,12	39,80	20,35	62,62	0
SAL22	27,1	5,8	182	385	10,9	0	24,5	1,92	3,00	8,22	24,75	10,24	7,50	0,48

Tabela 3: Resultados dos Principais Parâmetros Físico-Químicos medidos na terceira campanha (setembro/2014).

Poços Unidades	Temp (C°)	pH	STD (mg/L)	CE (µS/cm)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Fe (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ⁺ (mg/L)	Ca ⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)
SAL01	26,3	6,6	126	266	75,6	0,03	38,94	5,50	3,63	14,20	21,83	0,13	30,10	0
SAL02	27,3	6,7	178	375	95,2	0,01	35,43	2,40	5,43	56,89	10,40	0,00	16,32	0
SAL03	26,1	7,5	251	529	347,70	0,01	113,48	10,00	14,30	46,40	32,19	0,30	19,33	0
SAL 04	25,9	6,9	141	297	128,1	0,02	50,15	6,00	4,80	18,66	35,62	0,00	37,80	0
SAL05	27,6	6,8	146	307	87,8	0,06	69,42	7,00	3,90	11,13	37,55	0,00	52,11	0
SAL06	27,1	7,1	107	226	52,5	0,04	41,2	4,30	2,50	9,89	20,80	1,98	33,42	0
SAL07	25,9	7,9	286	602	342,8	0	98,89	8,80	19,20	43,20	63,54	0,00	3,88	0,58
SAL08	27,5	6,3	191	402	69,5	0,1	82,31	5,20	4,16	12,76	42,34	4,20	61,54	0
SAL09	26,8	7,2	131	276	124,4	0,07	47,8	2,90	3,67	13,23	17,89	0,00	31,12	0,22
SAL 10	26,9	7,3	243	512	214,7	0,2	40,63	3,20	7,50	88,60	44,56	3,55	54,77	0,08
SAL 11	26,5	6,6	145	306	63,4	0,02	68,15	4,50	2,60	7,99	30,20	2,27	47,62	0
SAL12	27,5	6,9	142	299	120,8	0,03	65,47	10,20	2,50	21,50	33,80	0,00	28,99	0
SAL13	25,8	7,2	216	455	141,5	0,11	55,43	4,00	4,20	55,76	54,98	15,33	34,78	0,04
SAL 14	26,6	6,5	135	285	47,6	0,1	53,59	3,00	3,30	9,11	32,60	1,19	38,17	0
SAL15	27,8	6,8	164	345	50,0	0,2	88,55	1,50	2,10	15,77	51,22	2,04	55,21	0
SAL16	25,8	7,2	158	332	75,6	0,06	42,51	3,80	2,84	23,88	24,78	2,98	40,72	0
SAL17	25,8	6,3	126	265	19,5	0,01	7,83	0,55	1,99	13,45	7,32	0,00	2,12	0
SAL18	26,7	7,7	287	604	273,3	0,2	33,1	0,98	7,30	105,50	15,22	0,00	60,13	0.10
SAL 19	28,4	7,5	275	578	333,1	0,08	15,55	3,22	7,99	98,78	14,99	0,00	12,66	0,08
SAL 20	28,1	7,4	155	327	95,2	0,05	31,99	2,30	5,30	32,56	33,78	0,00	5,85	0
SAL21	27,5	6,4	274	577	84,2	0,03	103,75	7,50	9,32	21,22	48,76	22,00	70,39	0,03
SAL22	29,3	6,2	127	267	11,0	0,03	32,22	1,70	4,45	16,89	34,67	0,00	19,49	0

Tabela 4: Resultados dos Principais Parâmetros Físico-Químicos medidos na quarta campanha (novembro/2014).

Poços Unidades	Temp (C°)	pH	STD (mg/L)	CE (µS/cm)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Fe ⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ⁺ (mg/L)	Ca ⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)
SAL01	27,5	7,5	104	227	65,8	0,01	39,19	4,75	2,75	11,84	20,03	0,28	27,47	0
SAL02	28,9	6,7	40	92	91,9	0,02	38,75	3,98	2,86	55,98	9,50	0,05	14,38	0
SAL03	27,2	8,0	248	497	239,82	0	105,49	7,24	8,63	13,14	28,20	0,26	18,01	0,52
SAL 04	26,8	7,2	163	358	100,4	0,01	48,71	10,71	3,95	19,40	28,75	0,00	30,05	0,08
SAL05	29,2	6,3	149	312	40,4	0,02	63,44	6,30	1,79	8,15	35,62	0,00	43,62	0,02
SAL06	27,9	6,3	89	194,4	28,7	0,05	35,67	2,16	0,95	7,62	14,19	2,66	28,11	0
SAL07	28,9	7,8	302	675	316,7	0,14	105,47	7,97	14,53	39,09	60,31	0,00	2,07	0,53
SAL08	32,5	6,2	188	384	61,3	0,06	74,93	4,13	2,26	9,84	39,33	5,05	53,77	0
SAL09	28,5	7,2	174	372	113,4	0,03	51,55	8,98	3,63	19,93	29,30	0,00	32,15	0,11
SAL 10	30	6,8	238	488	168,1	0,15	35,75	2,33	6,31	68,95	35,01	5,10	53,24	0,06
SAL 11	28,4	6,4	135	283	43,0	0,03	58,27	2,76	1,82	7,28	24,72	4,27	40,88	0
SAL12	29,9	7,8	237	494	211,8	0	94,05	8,16	8,41	17,04	41,86	0,00	25,43	0,62
SAL13	30,5	6,8	225	457	96,5	0,11	56,32	3,85	3,92	45,05	41,38	12,71	28,92	0
SAL 14	27,7	6,2	122	259	31,3	0,06	48,42	1,98	2,82	7,50	31,61	2,39	36,65	0
SAL15	26,8	6,3	114	248	22,2	0,31	51,71	3,52	1,07	2,80	29,54	1,23	41,96	0
SAL16	27,9	7,7	142	295	70,4	0,01	44,17	2,17	2,15	22,89	19,36	3,97	38,47	0
SAL17	29,6	6,5	43	86	28,7	0,01	5,98	0,59	1,39	9,17	5,57	0,00	1,66	0,02
SAL18	27,9	7,5	269	554	251,6	0,33	22,64	1,52	6,84	80,23	28,50	0,00	56,65	0,08
SAL 19	30,7	7,3	256	531	308,9	0,16	14,32	1,94	7,80	94,86	13,81	0,00	11,90	0,07
SAL 20	27,8	6,5	127	263	39,1	0,02	27,16	1,35	4,04	27,19	27,19	11,57	4,12	0
SAL21	29,1	6,2	259	523	48,2	0	81,27	9,80	8,09	26,77	41,76	23,45	75,04	0
SAL22	28,5	6,4	261	527	1,9	0	24,55	1,50	2,30	8,60	26,00	0,00	8,90	0,56

Tabela 5: Resultados dos Principais Parâmetros Físico-Químicos medidos na quinta campanha (janeiro/2015).

Poços	Temp	pH	STD	CE	HCO ₃ ⁻	Fe ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺	Ca ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	F ⁻
Unidades	(C°)		(mg/L)	(µS/cm)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
SAL01	25,8	6,3	110	234	50,2	0,02	37,92	2,88	2,14	13,03	16,62	4,24	27,77	0
SAL02	25,4	5,9	243	489	80,4	0,03	30,5	0,55	1,05	41,50	6,57	0,23	15,52	0
SAL03	25,5	7,8	263	555	339,52	0	95,2	6,80	13,22	51,22	31,60	1,51	6,85	0
SAL 04	26,1	6,7	134	284	84,1	0,01	41,66	3,64	3,14	20,96	47,86	1,88	103,67	0
SAL05	26,3	6,2	154	326	59,3	0,04	70,8	2,54	2,00	9,70	34,86	3,99	44,98	0
SAL06	25,3	6,0	109	230	47,0	0,03	39,2	3,45	2,22	10,03	19,83	3,18	32,73	0
SAL07	25,7	7,5	255	528	312,3	0,1	66,01	5,71	12,84	41,67	28,49	1,08	3,19	0,45
SAL08	26,1	6,1	167	355	59,3	0,08	72,26	3,93	1,99	9,63	36,25	4,53	54,08	0
SAL09	26,2	6,6	47	101	7,0	0,05	7,52	3,16	1,23	10,18	10,46	0,00	14,65	0
SAL 10	24,4	6,6	237	500	182,0	0,19	37,33	1,74	5,87	74,10	33,96	5,00	58,75	0
SAL 11	25,9	6,3	133	279	56,0	0,05	57,69	2,74	1,93	8,61	22,79	2,80	45,13	0
SAL12	26,5	6,8	88	186,2	38,6	0,01	41,66	3,64	3,14	20,96	21,48	1,88	33,08	0
SAL13	25,6	6,8	177	373	100,4	0,13	57,77	2,68	3,63	33,15	34,27	6,53	35,71	0,07
SAL 14	26,3	6,4	118	247	28,7	0,08	49,4	1,92	2,53	6,87	31,86	2,56	37,02	0
SAL15	26,1	6,2	183	387	31,9	0,41	71,33	2,67	1,98	20,75	47,86	0,77	103,67	0
SAL16	25,6	6,5	126	268	58,0	0,05	47,05	2,19	2,57	15,96	20,39	3,54	38,72	0
SAL17	25,7	5,8	255	521	12,5	0,03	4,29	0,30	0,93	5,13	3,96	0,65	1,72	0
SAL18	26,3	7,5	256	532	245,7	0,29	23,26	1,41	6,17	92,07	28,62	0,00	57,95	0,07
SAL 19	25,5	7,3	247	520	320,0	0,15	12,04	2,08	7,54	92,10	12,32	0,05	8,96	0,07
SAL 20	26,5	7,2	144	300	73,0	0,01	28,94	1,09	4,94	29,92	28,25	12,48	6,34	0
SAL21	26,5	6,7	285	596	78,2	0,02	90,57	9,91	8,38	34,26	57,55	51,48	28,73	0,06
SAL22	26,2	5,8	88	189	1,3	0,01	26,44	1,89	2,48	9,41	25,01	11,32	8,18	0

Tabela 6: Resultados dos Principais Parâmetros Físico-Químicos medidos na sexta campanha (março/2015).

Poços	Temp	pH	STD	CE	HCO ₃ ⁻	Fe ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺	Ca ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	F ⁻
Unidades	(C°)		(mg/L)	(µS/cm)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
SAL01	24,3	6,36	125	259	72	0,04	35,76	2,84	0,73	13,59	19,10	0,80	34,77	0
SAL02	24,3	5,62	121	254	121	0,01	10,31	1,02	2,15	43,87	8,07	0,06	17,05	0
SAL03	23,9	7,66	185	389	202	0,02	81,54	8,09	7,55	12,64	27,21	0,97	16,03	0
SAL 04	24,2	6,42	159	332	76	0,02	46,93	2,99	0,97	20,03	25,67	3,21	45,02	0
SAL05	24,1	6,05	140	290	40	0,05	57,38	1,96	0,48	7,51	32,81	3,19	47,67	0
SAL06	23,7	6,43	117	246	53	0,02	21,55	2,11	1,11	9,88	16,02	2,03	29,95	0
SAL07	23,2	7,34	268	560	288	0,10	58,14	4,68	8,23	42,68	25,35	0,99	0,6	0,72
SAL08	24,1	6,10	187	388	51	0,90	74,02	3,49	0,51	7,72	46,64	7,99	58,46	0
SAL09	24	6,40	129	271	63	0,01	35,64	2,06	0,66	18,37	19,05	3,35	35,57	0
SAL 10	24	6,40	217	453	103	0,10	40,63	1,65	1,92	70,45	40,37	7,47	56,42	0
SAL 11	23,4	6,00	138	289	53	0,20	55,65	2,50	0,54	7,31	30,14	3,35	43,84	0
SAL12	24,5	6,58	93	197	30	0,05	26,92	1,07	0,88	13,60	23,07	7,86	10,39	0
SAL13	24,6	6,24	163	340	51	0,50	53,99	1,80	0,94	18,14	43,06	6,65	36,65	0
SAL 14	23,8	6,00	125	261	32	0,03	47,8	1,76	0,79	6,67	35,63	3,10	41,26	0
SAL15	23,8	5,46	101	210	20	0,20	46,69	1,87	0,24	2,10	28,31	2,00	50,04	0
SAL16	23,9	6,49	131	273	56	0,10	43,1	1,80	0,78	14,66	20,00	3,70	39,6	0
SAL17	24,1	5,80	53	108	19	0,07	12,37	0,45	0,55	6,92	15,45	3,25	2,31	0
SAL18	23,7	7,17	267	560	205	0,13	22,19	1,34	3,28	88,49	32,10	0,00	65,83	0,09
SAL 19	24,3	7,45	261	546	268	0,50	17,58	1,42	4,30	81,39	17,69	0,06	19,52	0
SAL 20	24	6,00	102	212	15	0,40	29,55	1,07	0,91	9,21	32,61	12,38	4,68	0
SAL21	23,9	6,31	163	342	16	0,03	54,11	8,46	5,77	25,44	37,96	38,22	23,44	0
SAL22	24,2	5,80	98	206	8	0,10	27,62	1,58	0,62	7,93	38,36	8,34	12,38	0

Tabela 7: Resultados do teor de cátions e ânions nas águas do mar de Salinópolis (4º campanha/ novembro de 2014).

Poços	Na⁺	K⁺	Mg⁺	Ca⁺	Cl⁻	NO₃⁻	SO₄⁻	F⁻	Br⁻
Unidades	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Água do Mar SALINÓPOLIS Diluição 1:25	16182,77	347,30	508,38	387,9975	28547,06	28547,06	2972,25	0,826	0,464