



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GEOLOGIA**

RICARDO DIEGO VIEIRA VIDAL

**CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA DO ALTO CRISTALINO
DE SALVADOR (BAHIA)**

Salvador

2019

RICARDO DIEGO VIEIRA VIDAL

**CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA DO ALTO CRISTALINO
DE SALVADOR (BAHIA)**

Monografia apresentada ao Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador(a): Prof. Dr. Cristovaldo Bispo dos Santos

Coorientador: MSc. José de Castro Mello

**Salvador
2019**

TERMO DE APROVAÇÃO

RICARDO DIEGO VIEIRA VIDAL

**CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA DO ALTO CRISTALINO
DE SALVADOR (BAHIA)**

Trabalho Final de Graduação aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

1º Examinador – Prof. Dr. Cristovaldo Bispo dos Santos – Orientador
Universidade Federal da Bahia

2º Examinador – Geol. Caio Mueller Maia
Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia

3º Examinador – Prof. Dr. Natanael da Silva Barbosa
Universidade Federal da Bahia

Salvador, 10 de Novembro de 2019

“Sem a música, a vida seria um erro”

Friedrich Nietzsche

AGRADECIMENTOS

Durante toda essa etapa acadêmica, tenho muito a agradecer a um grupo seleto de pessoas, sem as quais, jamais conseguiria obter sucesso em lidar com todas as dificuldades que se apresentaram durante o tempo, quiçá supera-las. Todas essas pessoas citadas foram importantes para que fosse possível obter êxito no final dessa longa caminhada.

Agradeço primeiramente a Deus, por dar-me força para seguir em frente diante de todas as frustrações e fracassos, por mostrar-me o caminho, quando era escuro, e por fazer-me companhia quando só havia a solidão. Sem dúvidas, minha aproximação do Todo Poderoso foi essencial para que pudesse atingir meus objetivos almejados.

Minha total e eterna gratidão a minha Dra. Airam, médica espetacular e exemplo de profissional bem sucedido pelo apoio, paciência, compreensão, amor e principalmente, pela confiança do meu sucesso nessa etapa, mesmo nos piores momentos.

Ao meu pai, Tomas, pela confiança, apoio, e ajuda nos momentos de dificuldade.

Aos meus avós Tomas (*in memorian*), Creusa (*in memorian*), Jonas (*in memorian*), e Adyr (*in memorian*). Lamento que não estejam presentes nesse plano, para desfrutar comigo esse momento.

Agradeço a Normanda, minha melhor amiga, irmã, e principal confidente, a qual me ajudou bastante em diversas etapas do curso, e também no presente trabalho, sendo sempre prestativa, e estando disponível para ajudar-me quando mais precisei.

A minha namorada Lorena, a qual também teve bastante paciência durante o processo de realização desse trabalho, que valorizava, e sempre se entusiasmava com meu humilde conhecimento das ciências geológicas.

Aos sogros Galego, Magda, Robson e Nice.

Aos amigos Max (*in memorian*), Astrogildo, Sam, Elza, Miguelito, Tayala, João, Fabio, Portuga, Sapo, Rudá, Alan, Alex, Danilo, Bruna, Ralf, Daniel, Robert, Ericsson, Pepa, Leite, Raimunda, Val, Reni, D.Regina e Dr. André Furtado.

Aos tios Cláudio, Lina e Tom.

Aos colegas de curso Álvaro, Pedro Alves, Juliana, Carlos Augusto, Bruno, Thiago e Danilo, pela ajuda em diversos momentos do curso.

Ao professor Sérgio Nascimento, pela enorme conhecimento transmitido, os quais foram essenciais para a realização desta monografia.

Aos professores Osmário Leite, Henrique Assumpção, Reinaldo Britto, Roberto Rosa, Ângela, Débora Rios, Simone Moraes, Cristovaldo Bispo, José Ângelo, André Klumb, Geraldo Girão, Felipe Fonseca, Jaime Boaventura e Luis de Química I, pelas excelentes aulas e ótimos momentos.

Aos meus orientadores Cristovaldo e Castro, pela humildade, paciência, ajuda, tempo e preciosos ensinamentos que adquiri durante a produção desse trabalho.

A CERB, por disponibilizar os dados dos poços tubulares, análises químicas, perfis, além de dar acesso às suas instalações, durante o processamento e interpretação dos dados.

RESUMO

O Alto Cristalino de Salvador é um domínio geológico, representado por rochas cristalinas metamórficas ortoderivadas, fraturadas, que constituem aquíferos fissurais, e pelas coberturas, formadas pelo manto alterado (regolito) e por sedimentos da Formação Barreiras, os quais constituem aquíferos intergranulares. Desse modo, o decorre das águas meteóricas e através da transmissão entre os aquíferos. A principal forma de captação da água nesse domínio se dá através de poços tubulares. Além dos poços, a captação ainda é feita por cisternas e por fontes naturais. As águas das fontes naturais, associadas ao manto regolítico, ocorrem majoritariamente nos planos de contato da rocha cristalina com o saprólito. Em Salvador, as fontes naturais também podem ocorrer pela interceptação do plano de fraturas com a superfície topográfica, e pela interseção do talvegue de um vale com o nível freático. Essas águas tem uma tendência a uma assinatura hidroquímica sódica-cloretada (40% das águas de fontes naturais analisadas). Infere-se que esse fato está relacionado a influencia dos aerossóis marinhos, e da rápida infiltração das águas meteóricas nas coberturas. Em 40% das fontes, também se observou uma concentração elevada de Ca^{2+} nas análises químicas, caracterizando águas cálcicas-cloretadas. À medida que elas percolam as rochas cristalinas, elas tendem a uma assinatura sódica-bicarbonatada, devido ao aumento do pH, e por consequência, do índice de saturação de bicarbonato na água subterrânea. As águas mistas se originam a partir da mistura de diferentes águas, ou pela modificação da composição química água da chuva, ao percorrer as fraturas dos granulitos, enriquecendo em bicarbonato, Ca^{2+} e Mg^{2+} . Desse modo, a classificação das águas dependerá da profundidade do poço, da espessura do manto regolítico, da topografia e da rocha a qual está associada essa água. De modo geral, as águas do Alto Cristalino de Salvador são sódicas-cloretadas (associadas às coberturas) e sódicas bicarbonatadas (relacionadas ao embasamento cristalino). Na maioria dos poços, elas possuem baixa salinidade. Porém processos de contaminação originaram assinaturas anômalas em alguns parâmetros físico-químicos como Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- e dureza. Essas contaminações estão relacionadas à cunha salina associada ao rio das Pedras, esgotos, fossas sépticas, processos de evaporação/concentração de sais, ou a própria litologia presente no local. Devido à grande importância que a água representa para os cidadãos soteropolitanos, é essencial que se realizem mais estudos a respeito dos recursos hídricos da capital baiana. A realização de novas análises químicas das águas, bem como a disponibilização de novos dados a respeito dos aquíferos é essencial para que se possa caracterizar de forma mais precisa a hidrogeologia e a hidroquímica do Alto Cristalino de Salvador.

Palavras-chave: Alto Cristalino de Salvador; Hidroquímica; Água Subterrânea.

ABSTRACT

The high crystalline of Salvador is a geologic domain represented by metamorphic and fractured crystalline rocks covered by a regolith mantle and the Barreiras Formation, resulting in aquifers confined and mixed. The groundwater is recharged naturally by the rainwater and groundwater flow. Groundwater wells is the main structure used to access the groundwater. Besides, the groundwater sources and cistern are another way to access the water. Groundwater of coverage are usually sodium chloride while the deeper located in the basement crystalline fissural bicarbonated are sodium. In Salvador, the groundwater sources occurs in the fresh-rock/regolith mantle contact. These waters are usually sodium chloride (40% of waters from analyzed natural sources). This is due to the influence of marine aerosols, and the infiltration rate of meteoric waters into the soil. In 40% of the sources, also, a high concentration of Ca^{2+} was observed in the chemical analyzes, characterizing calcium chloride waters. The groundwater flow the crystalline rocks tend to bicarbonate-sodium signature due to the increase in pH, and hence the bicarbonate saturation index in groundwater. Mixed waters originate from the mixing of basement and regolith + Barreiras Formation groundwater, or the evolution of rainwater as it travels through granulite fractures. Thus, the classification of groundwater will depend on the depth of the well, the thickness of the regolithic mantle, the topography and the aquifer associated. In general, the waters of the High Crystalline of Salvador are sodium chloride (more associated with the coverage) bicarbonated-sodium (more associated with the crystalline basement). In most wells, they have low salt content. However contamination processes originated anomalous signatures in some cations and anions. These contaminations are related to saline wedge, sewage, septic tanks, evaporation processes or the lithology present on site. Due to the great importance that water represents for the citizens of Salvador, it is essential that more studies be carried out about the water resources of the city. New groundwater chemical analysis and the availability of new data on aquifers are essential for a more accurate characterization of the hydrogeology and hydrochemistry of the High Crystalline of Salvador.

Keywords: High Crystalline of Salvador; Hydrochemistry; Groundwater.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS
ÍNDICE DE TABELAS
ÍNDICE DE MAPAS

1. INTRODUÇÃO	15
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	16
3. OBJETIVOS	18
3.1 Objetivo Geral	18
3.2 Objetivos Específicos	18
4. METODOLOGIA	18
5. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	20
5.1 Clima	20
5.2 Vegetação	21
5.2.1. Vegetação Secundária com Palmeira	22
5.2.2. Área de Influência Marinha (Restinga)	22
5.3 Solos	22
6. ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS	23
7. GEOMORFOLOGIA REGIONAL	24
7.1 Domínio dos Planaltos Cristalinos	24
7.2 Domínio Bacias e Coberturas Sedimentares	24
7.3 Domínio Depósitos Sedimentares	25
8. GEOLOGIA REGIONAL	26
8.1. Alto Cristalino	26
8.2. Bacia do Recôncavo	27
8.3 Depósitos Tércio-Quaternários	29
9. HIDROLOGIA REGIONAL	30
10. HIDROGEOLOGIA LOCAL	31
11. ASPECTOS FÍSICOS NATURAIS	34
12. GEOLOGIA LOCAL	35
13. RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
13.1 Classificação das Águas dos Poços	37

13.1.1 Classificação das Águas dos Poços, segundo o Diagrama de Piper(1944).....	37
13.1.2 Diagramas de Stiff (1951).....	38
13.2 Classificação das Águas das Fontes.....	48
13.3 Mapas de Distribuição Hidroquímica.....	51
13.3.1 Mapas de Distribuição Química dos Componentes Maiores (Poços Tubulares).....	52
13.3.2 Mapas de Distribuição Química dos Componentes Maiores (Fontes Naturais).....	58
13.4 Modelos de Aquífero x Assinatura Hidroquímica.....	62
14. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
APÊNDICES.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico Comparativo das Precipitações e Temperaturas Médias na Cidade de Salvador.	21
Figura 2: Carta estratigráfica da Bacia do Recôncavo EMB (embasamento); AFL (Afligidos); CZ (Cazumba); PD (Pedrão); ALI (Aliança); CG (Capianga); BP (Boipeba); SER (Sergi); ITA (Itaparica); AG (Água grande); CAN (Candeias); TA (Tauá); GO (Gomo); MAR (Maracangalha); CAR (Caruaçu); PIT (Pitanga); MAF (Marfim); CT (Catu); SAN (Santiago); POJ (Pojuca); SS (São Sebastião); SAV (Salvador); MAS (Marizal); SAB (Sabiá); BAR (Barreiras)	28
Figura 3: Bloco Diagrama Ilustrando uma Fonte de Contato.....	33
Figura 4: Bloco Diagrama Ilustrando uma Fonte de Vale.....	33
Figura 5: Bloco Diagrama Ilustrando uma Fonte de Fratura.....	34
Figura 6: Diagrama de Piper (1944) das Águas dos Poços Tubulares.....	37
Figura 7: Diagrama de Stiff (1951): Poço 10.....	39
Figura 8: Diagrama de Stiff (1951): Poço 12.....	39
Figura 9: Diagrama de Stiff (1951): Poço 24.....	39
Figura 10: Diagrama de Stiff (1951): Poço 28.....	39
Figura 11: Diagrama de Stiff (1951): Poço 29.....	39
Figura 12: Diagrama de Stiff (1951) : Poço 30.....	39
Figura 13: Diagrama de Stiff (1951): Poço 32.....	40
Figura 14: Diagrama de Stiff (1951): Poço 42.....	40
Figura 15: Diagrama de Stiff (1951): Poço 61.....	40
Figura 16: Diagrama de Stiff (1951): Poço 65.....	40
Figura 17: Diagrama de Stiff (1951): Poço 67.....	40
Figura 18: Diagrama de Stiff (1951): Poço 68.....	40
Figura 19: Diagrama de Stiff (1951): Poço 70.....	41

Figura 20: Diagrama de Stiff (1951): Poço 71.....	41
Figura 21: Diagrama de Stiff (1951): Poço 76.....	41
Figura 22: Diagrama de Stiff (1951): Poço 22.....	41
Figura 23: Diagrama de Stiff (1951): Poço 35.....	41
Figura 24: Diagrama de Stiff (1951): Poço 41.....	42
Figura 25: Diagrama de Stiff (1951): Poço 51.....	42
Figura 26: Diagrama de Stiff (1951): Poço 57.....	42
Figura 27: Diagrama de Stiff (1951): Poço 73.....	42
Figura 28: Diagrama de Stiff (1951): Poço 80.....	42
Figura 29: Diagrama de Stiff (1951): Poço 21.....	43
Figura 30: Diagrama de Stiff (1951): Poço 49.....	43
Figura 31: Diagrama de Stiff (1951): Poço 58.....	43
Figura 32: Diagrama de Stiff (1951): Poço 59.....	43
Figura 33: Diagrama de Stiff (1951): Poço 79.....	43
Figura 34: Diagrama de Stiff (1951): Poço 81.....	43
Figura 35: Diagrama de Stiff (1951): Poço 03.....	44
Figura 36: Diagrama de Stiff (1951): Poço 05.....	44
Figura 37: Diagrama de Stiff (1951): Poço 06.....	44
Figura 38: Diagrama de Stiff (1951): Poço 33.....	44
Figura 39: Diagrama de Stiff (1951): Poço 45.....	44
Figura 40: Diagrama de Stiff (1951): Poço 50.....	44
Figura 41: Diagrama de Stiff (1951): Poço 76.....	45
Figura 42: Classificação das Águas das Fontes, segundo o diagrama de Piper (1944).....	48

Figura 43: Diagrama de Stiff (1951): Fonte 01.....	49
Figura 44: Diagrama de Stiff (1951): Fonte 02.....	49
Figura 45: Diagrama de Stiff (1951): Fonte 03.....	50
Figura 46: Diagrama de Stiff (1951): Fonte 04.....	50
Figura 47: Diagrama de Stiff (1951): Fonte 05.....	50
Figura 48: Diagrama de Stiff (1951): Fonte 06.	50
Figura 49: Diagrama de Stiff (1951): Fonte 07.....	50
Figura 50: Diagrama de Stiff (1951): Fonte 08.....	50
Figura 51: Diagrama de Stiff (1951): Fonte 09.....	51
Figura 52: Diagrama de Stiff (1951): Fonte 10.....	51
Figura 53: Perfil Geológico do Poço 81 (Tribunal de Justiça da Bahia)	62
Figura 54: Diagrama de Stiff do Poço 81 (Tribunal de Justiça da Bahia)	63
Figura 55: Perfil Geológico do Poço 33 (Escola Evolução – Imbuí)	64
Figura 56: Diagrama de Stiff (1951) do Poço 33 (Escola Evolução – Imbuí)	65
Figura 57: Perfil Geológico do Poço 67 (Palácio de Ondina IV).....	65
Figura 58: Diagrama de Stiff (1951) do Poço 67 (Palácio de Ondina IV)	66
Figura 59: Modelo Hidroquímico do Alto Cristalino de Salvador.....	59
Figura 60: Modelo Hidroquímico do Alto Cristalino de Salvador.....	60

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Classificação das Águas dos Poços Tubulares e Concentração dos Componentes Maiores.....	38
Tabela 2: Classificação das Águas das Fontes, Segundo Diagrama de Piper (1944)	48
Tabela 3: Fontes Naturais Estudadas.....	73
Tabela 4: Poços Tubulares Estudados.....	73

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1: Mapa Geológico do Alto Cristalino de Salvador/BA.....	17
Mapa 2: Mapa Geológico da Cidade de Salvador/BA.....	26
Mapa 3: Principais Bacias Hidrográficas de Salvador/BA.....	31
Mapa 4: Mapa Geológico da Área de Estudo Com Assinaturas Hidroquímicas.....	47
Mapa 5: Mapa de Distribuição do Na ⁺	52
Mapa 6: Mapa de Distribuição do Na ⁺ (Sem Anomalias).....	53
Mapa 7: Mapa de Distribuição do Cl ⁻	53
Mapa 8: Mapa de Distribuição do Cl ⁻ (Sem Anomalias).....	54
Mapa 9: Mapa de Distribuição do HCO ₃ ⁻	54
Mapa 10: Mapa de Distribuição do Ca ²⁺	55
Mapa 11: Mapa de Distribuição do Mg ²⁺	55
Mapa 12: Mapa de Distribuição do Mg ²⁺ (Sem Anomalias).....	56
Mapa 13: Mapa de Distribuição dos Valores de Dureza.....	56
Mapa 14: Mapa de Distribuição dos Valores de Dureza (Sem Anomalias).....	57
Mapa 15: Mapa de Distribuição do NO ₃ ⁻	57
Mapa 16: Mapa de Distribuição do Na ⁺ nas Águas das Fontes.....	59
Mapa 17: Mapa de Distribuição do Cl ⁻ nas Águas das Fontes.....	59
Mapa 18: Mapa de Distribuição do HCO ₃ ⁻ nas Águas das Fontes.....	60
Mapa 19: Mapa de Distribuição do Ca ²⁺ nas Águas das Fontes.....	60
Mapa 20: Mapa de Distribuição do Mg ²⁺ nas Águas das Fontes.....	61

1. INTRODUÇÃO

A água é uma fonte vital para todos os seres vivos do planeta. Para o ser humano, além do uso pela necessidade fisiológica, a água é utilizada para irrigação, abastecimento, fins industriais, geração de energia, mineração, aquicultura, navegação, turismo e lazer (ANA, 2017). Com o crescimento populacional, o uso responsável e consciente dos recursos hídricos se torna cada vez mais essencial.

O Brasil possui uma boa quantidade de água, em comparação com o globo. É estimado que o país possua cerca de 12% da disponibilidade de água doce do planeta. Mas a distribuição natural desse recurso não é equilibrada. A região Norte do país concentra aproximadamente 80% da quantidade de água disponível, porém representa apenas 5% da população brasileira. Por outro lado às regiões próximas ao Oceano Atlântico possuem mais de 45% da população, porém, concentra menos de 3% dos recursos hídricos do país (ANA, 2017).

A cidade de Salvador, apesar de ter cerca de 90% da população servida com água tratada, ainda apresenta em bairros de baixa renda, métodos alternativos para obtenção de água, como o uso de cisternas e abastecimento a partir de poços tubulares. Além disso, é cada vez mais comum a utilização da água subterrânea no abastecimento das águas em condomínios de classe média e em clubes, postos de gasolina e garagens de ônibus. Com o crescimento da população, infelizmente, notou-se a contaminação dos mananciais, a partir de esgotos sanitários, fossas sépticas, vazamentos em postos de gasolina, lixo urbano, cemitérios e de fluídos automotivos.

A principal forma de captação da água no domínio Alto Cristalino de Salvador é através de poços tubulares. Além dos poços, a captação ainda é feita por cisternas e por fontes naturais. No centro histórico da capital baiana, existem diversas fontes naturais, as quais muitas remetem a época do Brasil Colônia. Nas zonas mais afastadas do centro, em locais com população de baixa renda, é bastante comum o uso de cisternas (NASCIMENTO, 2005).

Desse modo, devido à demanda de parte da população por água de boa qualidade e aos processos de degradação dos aquíferos, inerentes ao crescimento populacional, é essencial o estudo de novas fontes de abastecimento, tendo como

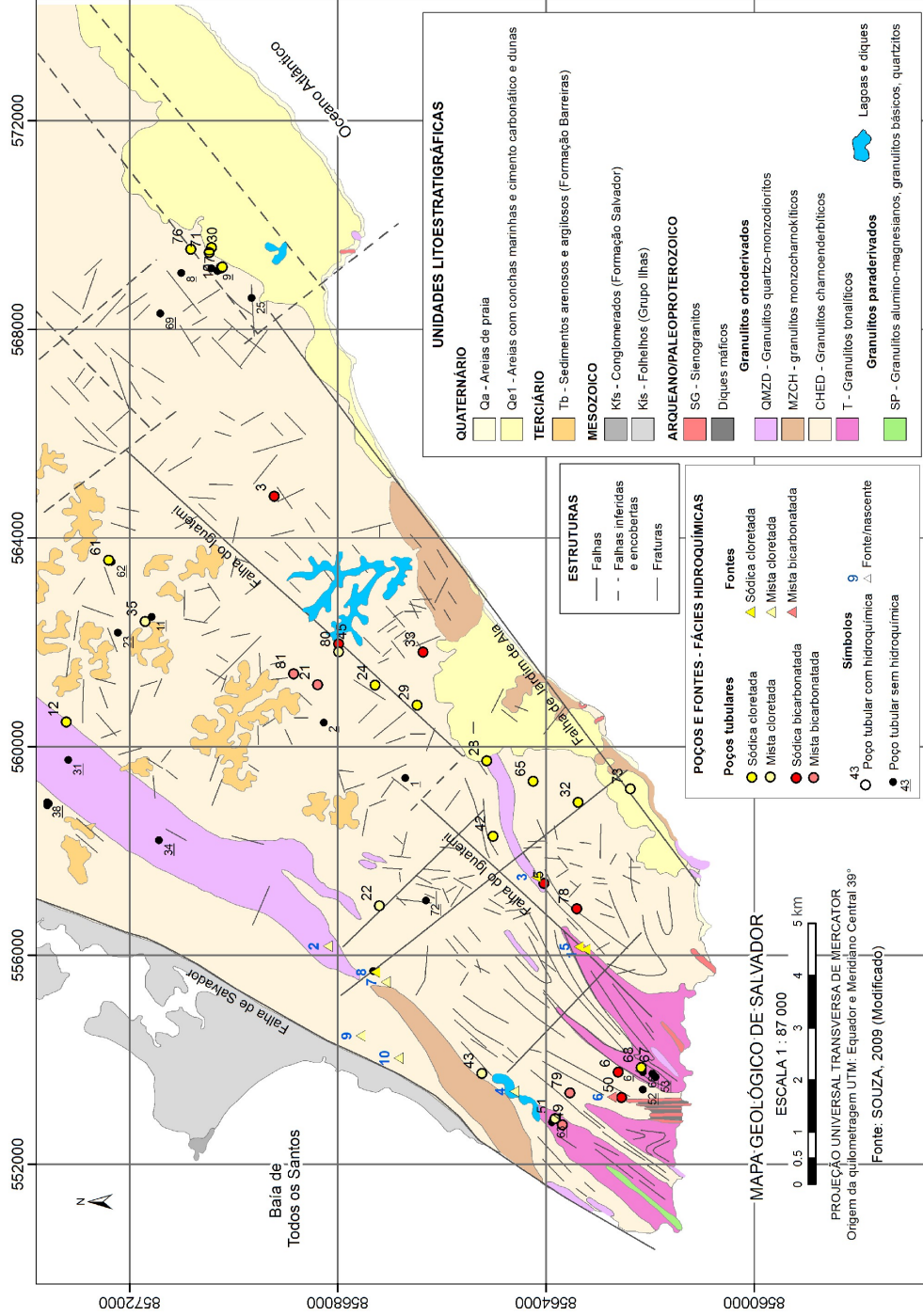
objetivo a análise química da mesma, a fim de classificar as águas e determinar suas possibilidades de utilização pelos diversos setores da sociedade soteropolitana.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho foi realizado a partir de análises químicas, dados e perfis de poços e fontes naturais localizados no Alto Cristalino da cidade de Salvador. Salvador é a capital do Estado da Bahia, e segundo o censo realizado pelo IBGE em 2010, possui 2.675.656 pessoas, com uma população estimada para o ano de 2019 de 2.872.347. Segundo o IBGE (2018), Salvador possui uma área de 693,831 km² e encontra-se situado entre as coordenadas geográficas 12°53'54" e 13°00'59" de latitude sul e 38°18'31" e 38°32'20" de longitude oeste.

Os poços e fontes presentes na área de estudo (Mapa 1) estão localizados num domínio geológico chamado de Alto Cristalino de Salvador, que ocupa cerca de 80% da área total do município. O Alto Cristalino de Salvador é constituído essencialmente por rochas cristalinas metamorfizadas e fraturadas, e pelas coberturas, representadas pelo manto regolítico e por sedimentos da Formação Barreiras. Na área de estudo foram analisados 84 pontos a nível hidrogeoquímico, sendo 10 de fontes naturais e 74 de poços tubulares.

Mapa 1 – Mapa Geológico do Alto Cristalino de Salvador



Fonte: Modificado de SOUZA (2009)

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo principal a classificação hidroquímica do Alto Cristalino da cidade de Salvador.

3.2 Objetivos Específicos

- Fazer classificação das águas dos poços perfurados no Alto Cristalino de Salvador, e das fontes naturais, a partir dos dados disponibilizados;
- Gerar mapas de distribuição química dos poços e das fontes na área de estudo;
- Determinar a influência da geologia e da topografia na composição química da água;
- Verificar as anomalias hidrogeoquímicas na área de estudo;
- Desenvolver modelos hidroquímicos para os diferentes aquíferos estudados.

4. METODOLOGIA

Devido à importância de se produzir cada vez mais estudos relacionados às águas subterrâneas da cidade de Salvador, esse trabalho foi realizado com a finalidade de analisar a hidroquímica das águas dos poços e fontes naturais.

Dessa maneira, utilizou-se de pesquisa bibliográfica, por meio de livros, artigos científicos e dissertações de mestrado. Também fazendo uso de dados disponibilizados pela CERB (Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia) e de trabalhos produzidos anteriormente relacionados ao tema, de modo a fazer um estudo comparativo a respeito das diferentes águas dos poços locais, buscando acrescentar informações pertinentes ao assunto.

Foram utilizados no total dados de 74 poços, dos quais 36 foram possíveis realizar a classificação das águas, e de 10 fontes naturais, as quais todas puderam ter suas águas classificadas. Todo o trabalho foi produzido em escritório, de modo que o

mesmo desenvolveu-se a partir do processamento e interpretação dos dados disponibilizados a partir da CERB e de trabalhos anteriores.

Por meio de *softwares* como *Excel 2007* e *Qualigraf 1.1*, foi possível processar os dados, fazer análises estatísticas, produzir gráficos e classificar as águas, através do diagrama triangular de Piper (1944) e do diagrama de Stiff (1951), com os valores dos componentes maiores, Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^{-2} , e SO_4^{-2} das análises químicas dos poços e fontes, quando disponíveis. Para os diagramas de Stiff, adotou-se como metodologia a classificação das águas tomando como base os dois padrões predominantes: Sódica Cloretada e Sódica Bicarbonatada. As águas que apresentaram assinaturas hidroquímicas diferentes das duas supracitadas foram caracterizadas como águas mistas.

A utilização dessa metodologia se justifica pela intenção do trabalho em apontar os padrões hidroquímicos das águas no Alto Cristalino de Salvador, e suas possíveis variações, sejam pela evolução da água, ao percolar os diferentes aquíferos, ou por contaminações, de origem antrópica ou não. Os diagramas de Stiff foram os mais utilizados para classificação das águas estudadas, por permitir uma visualização mais precisa das assinaturas hidroquímicas, e seus diferentes padrões.

Através do software *Surfer 9*, foi possível gerar mapas de distribuição hidroquímica, que permitiu a análise dos sentidos de crescimento dos componentes maiores na área de estudo. Além disso, através dos mapas de contorno, identificou-se as anomalias hidroquímicas presentes. Em seguida, geraram-se os mesmos mapas sem as anomalias de 1º e 2º ordem, a fim de excluir os poços que possuíam possíveis contaminações, com o objetivo de caracterizar as concentrações de cada componente maior, a nível regional.

Os mapas foram gerados e vetorizados a partir do software *ArcGis (10.2.2)*, com auxílio do *Google Earth*, que permitiu a melhor visualização e determinação dos pontos onde se localizavam os poços e fontes.

Por fim, foi feita a consolidação, integração e interpretação dos dados processados, pretendendo chegar a resultados que demonstrem as características hidroquímicas das águas subterrâneas do Alto Cristalino de Salvador e sua evolução, procurando contribuir para estudos futuros mais aprofundados no tema.

5. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

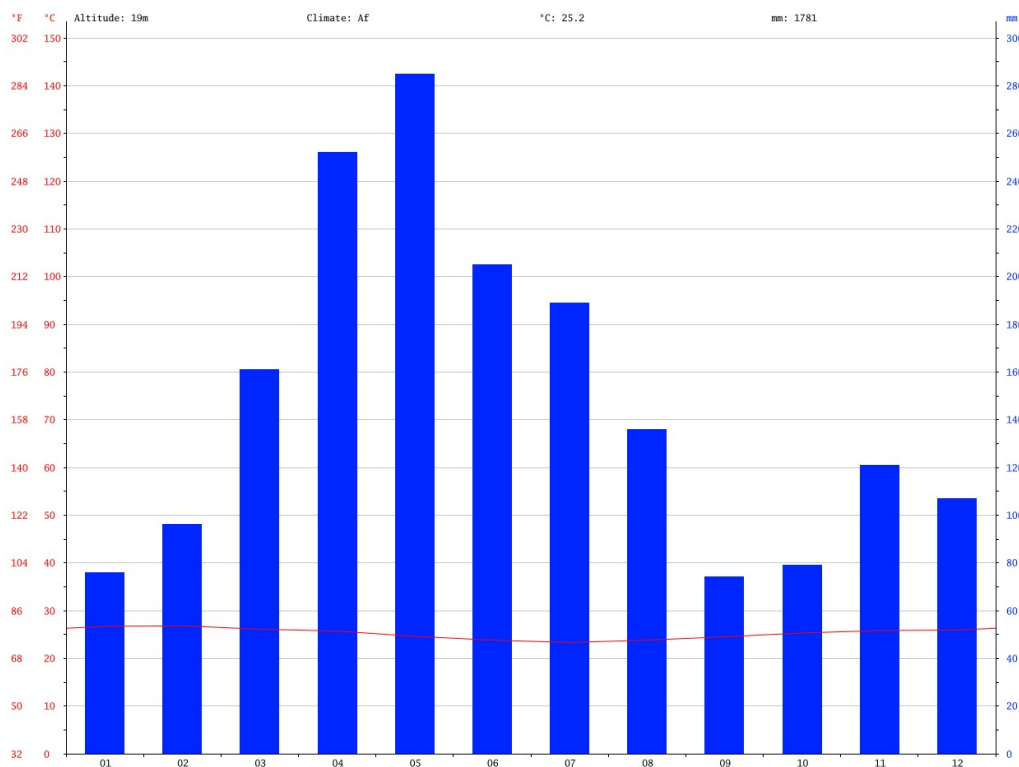
5.1 Clima

Segundo o SEI (1998), O clima da cidade de Salvador é classificado como tropical chuvoso de floresta, sem estação seca (Af), segundo a tipologia climática de Köppen. A brisa oriunda do Oceano Atlântico possibilita uma temperatura agradável, mesmo em períodos mais quentes.

Os bairros litorâneos, fora da Baía de Todos os Santos, como a Pituba, Praia do Flamengo, recebem fortes ventos, vindos do mar. Com mais de 2 400 horas de sol por ano, a umidade do ar é relativamente elevada. As maiores precipitações nos meses de Abril, Junho e Julho, sendo que em todos os meses do ano existem precipitações sempre maiores do que 100 mm.

Apresenta um índice hídrico de 48,4 (com um excedente hídrico de 694,2 mm/ano) e evaporação potencial de 1417,9 mm/ano. Possui temperatura anual média em torno de 25,3 °C, tendo nos meses de janeiro, fevereiro e março as máximas e nos meses de julho e agosto as mínimas temperaturas (Figura 1).

Figura 1 - Gráfico Comparativo das Precipitações e Temperaturas Médias na Cidade de Salvador



Fonte: Climate-Data.org

5.2 Vegetação

De acordo com Brasil (1981), a vegetação do município de Salvador está bastante antropizada, onde grande porção das matas nativas foi modificada ao passar dos séculos, com a ocupação do território. As regiões fitoecológicas que aparecem como coberturas vegetais na capital baiana são: Região da Floresta Ombrófila Densa e Área das Formações Pioneiras. Dentro da Região da Floresta Ombrófila Densa, há apenas a Vegetação Secundária com Palmeira, e da Área das Formações Pioneiras, a Área de Influência Marinha (Restinga).

5.2.1. Vegetação Secundária com Palmeira

Constitui a porção da Região da Floresta Ombrófila Densa, as quais estão cobertas com vegetação secundária, onde ocorre a presença de capoeiras de porte e fâcies variáveis, sendo mais comum a ocorrência de densas palmeiras. Em geral, essa vegetação ocorre nas zonas com predominância de tabuleiros litorâneos do Terciário-Quaternário (BRASIL, 1981).

5.2.2. Área de Influência Marinha (Restinga)

Essa vegetação ocorre ao longo da costa, sobre as planícies aluviais, onde ocorrem as Areias Quartzosas e o Podzol Hidromórfico, os quais dão origem às praias, as dunas e aos cordões litorâneos. Essas áreas são constituídas por halofitos-psamofitos endêmicos, além de outras espécies as quais se adaptaram as condições climáticas e geológicas da área, formando povoamentos arbóreos, arbustivos e herbáceos. Essa vegetação encontra-se antropizada, com atividades agrícolas como as culturas de coco. As areias quartzosas de praia, as quais formam barreiras, as quais impedem a chegada perpendicular dos córregos e dos rios ao Oceano Atlântico, o que divide a zona banhada pelo mar (praia) da provida de vegetação, sobre as dunas, onde as ervas graminóides e as palmeiras atuam como fixadoras do substrato (BRASIL, 1981).

5.3 Solos

Segundo o Brasil (1981), os tipos de solos presentes na cidade de Salvador são: (i) Podzólico Vermelho Amarelo Álico, com horizonte B textural; (ii) Latossolo Amarelo Álico, sendo este geralmente tendo como característica a boa porosidade e permeabilidade, e ser profundo a muito profundo.

Apresenta pouca diferenciação entre os horizontes e apresentam sequência de horizontes A, B e C, com transições geralmente difusas; (iii) Latossolo Vermelho-Amarelo Álico, com sequência de horizontes A, B, e C, com pouca diferenciação, e cores variando do vermelho ao amarelo, com tons intermediários; (iv) Areias Quartzosas

Marinhas são materiais arenosos, depositados na faixa litorânea pela ação dos ventos, com predominância marcante de quartzo hialino, que compõe a fração areia, sendo que as frações argila e silte aparecem em pequena porcentagem.

6. ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

A cidade de Salvador possui uma área territorial de aproximadamente 694.000 km², com uma população estimada de 2.857.329 pessoas (IBGE, 2018). Desse modo, é considerada a cidade mais populosa da região nordeste do Brasil, e a terceira maior capital do país. A densidade demográfica da capital baiana é de quase 4.000 hab/km², com um IDHM de 0,759. A cidade de Salvador possui um índice de escolarização entre 6-14 anos de 95,9%, e de mortalidade infantil de 14,56 óbitos por mil crianças nascidas vivas, a qual é menor que o índice brasileiro, que é de 15,6 (IBGE, 2010).

Segundo dados do IBGE (2016), em parceria com o SUFRAMA, o PIB per capita de Salvador é de aproximadamente R\$ 21.000, que se encontra abaixo da média nacional. O turismo constitui a principal fonte econômica da cidade, movimentando milhões de turistas anualmente. Anteriormente, a economia de da capital baiana era movida pelo açúcar, desde a colonização até o século 19. A partir do final do século 19, o cacau passou a ser a principal fonte econômica da cidade.

Além do cacau, os incentivos a indústria no início do século 20 permitiram a alavancagem de setores da indústria, como o fumo e calçados. Nos anos 60 houve a criação do centro industrial de Aratu e do fortalecimento da agricultura no vale do São Francisco, o que permitiu um considerável crescimento econômico na cidade. Com a crise ocasionada pela “vassoura-de-bruxa”, o cacau deixou de ser a principal atividade econômica, dando lugar ao comércio e as indústrias, as quais estão ligadas a implantação do polo petroquímico de Camaçari, em 1978, assim como o turismo, associados a eventos esportivos, paisagens naturais e festas de rua.

7. GEOMORFOLOGIA REGIONAL

O relevo da cidade de Salvador é resultado da ação do intemperismo físico e químico, associado ao clima quente e úmido, aos índices pluviométricos, e da geologia estrutural, devido à presença de falhas e fraturas, presentes nas rochas do embasamento cristalino. Com o processo de fraturamento das rochas cristalinas, houve a criação de canais para percolação de água, de origem pluvial, que resultou na desagregação e decomposição do embasamento. Processos erosivos em conjunto com o intemperismo químico, atuaram na formação de vales e depressões, os quais deram origem à drenagem fluvial da cidade.

Segundo Sacramento (1975), existem três domínios geomorfológicos em Salvador: o Planalto Cristalino, as Bacias e Coberturas Sedimentares e os Depósitos Sedimentares.

7.1 Domínio dos Planaltos Cristalinos

O Domínio Planalto Cristalino está relacionado aos ciclos orogênicos Guriense e Transamazonico, possuindo rochas com elevado grau de metamorfismo, as quais seguem um *trend* preferencial, além de rochas graníticas alóctones. Segundo Brasil (1981), o relevo dissecado é constituído por tabuleiros pré-litorâneos, cuja altimetria varia entre 100 e 200 m, formando escarpas, que por vezes se limitam com o mar. O relevo caracteriza-se por ser uniforme e dissecado, através da erosão das rochas Pré-Cambrianas, resultou um modelado de dissecação homogênea. Os interflúvios estão associados às colinas de Salvador.

7.2 Domínio Bacias e Coberturas Sedimentares

O Domínio Bacias e Coberturas Sedimentares estão associados às áreas cobertas por metassedimentos pré-cambrianos e sedimentos paleozoicos e mesozoicos, que formam camadas horizontais. Nesse domínio, a região geomorfológica que está relacionada com a cidade de Salvador é a Região do Recôncavo, dentro da qual, está presente a Unidade das Baixadas Litorâneas.

A unidade Baixada Litorânea engloba os relevos os quais se encontram ao redor da baía de Todos os Santos, compreendendo as Planícies Marinhas e Flúviomarinhas, as quais se encontram a leste da Falha de Maragojipe. Em geral, caracterizam-se como colinas rebaixadas, com altitudes menores que 100 m. Possuem interflúvios convexos, e os entalhes de ravinas são côncavos. Em alguns casos, nota-se que as colinas são espaçadas por rampas. Algumas colinas constituem monoclinais, com camadas basculadas por falhas, enquanto um nível de dissecado mais baixo é integrado por lombas. Os movimentos de massa são identificados através das marcas de solifluxão. Nota-se a presença de falhas cortando toda a unidade, de sentido SW-NE.

A rede de drenagem nessa unidade geomorfológica apresenta alta densidade de pequenos cursos de água, de baixa profundidade, de padrão dendrítico (BRASIL, 1981).

7.3 Domínio Depósitos Sedimentares

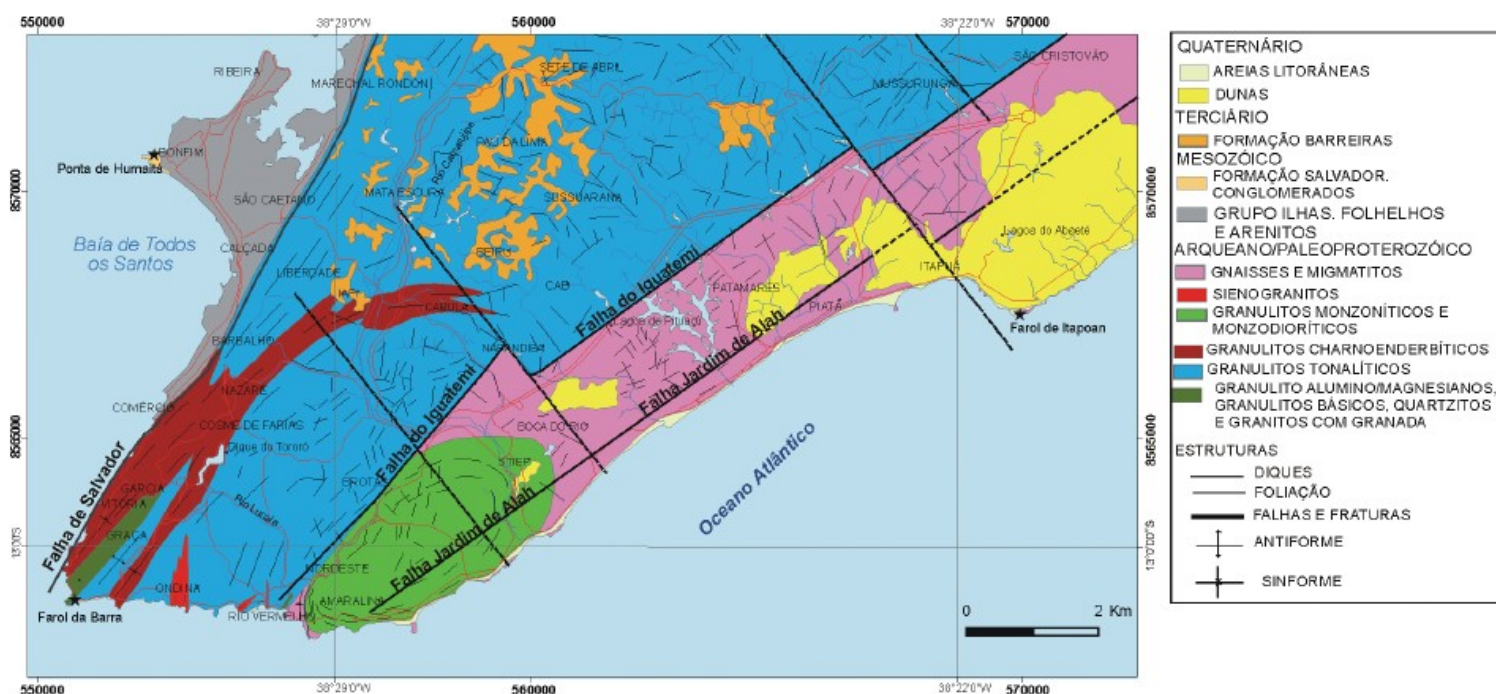
O Domínio dos Depósitos Sedimentares está associado aos sedimentos quaternários, pouco consolidados ou inconsolidados, de espessura que chega a ordem de centenas de metros. Na cidade de Salvador, está representado pela Região das Planícies Litorâneas, onde se encontra a Unidade Planícies Marinhas e Flúviomarinhas.

A Unidade Planícies Marinhas e Flúviomarinhas estão os modelados de origem marinha, flúviomarinha, coluvial e eólica, os quais indicam as etapas de evolução do litoral e dos cursos inferiores dos rios. Em Salvador, são representados por trechos de praias e dunas. As formas são as praias, as quais são extensas e ocasionalmente limitadas por bancos de arenitos e recifes de corais. Ao nordeste da capital baiana, encontram-se dunas associadas a restingas, muitas vezes entremeadas por lagoas, como é o caso da Lagoa do Abaeté. O solo associado a essa unidade geomorfológica é do tipo hidromórfico (BRASIL, 1981).

8. GEOLOGIA REGIONAL

A cidade de Salvador pode ser subdividida em três domínios geológicos: (1) Alto Cristalino de Salvador, as rochas pertencentes à (2) Bacia do Recôncavo e as rochas da (3) Depósitos Tércio-Quaternários. Abaixo, o Mapa 2 ilustra as unidades geológicas da capital baiana.

Mapa 2 - Mapa Geológico da Cidade de Salvador



Fonte: Modificado de Barbosa et al. (2005)

8.1. Alto Cristalino de Salvador

Segundo Barbosa & Dominguez (1996) e Barbosa *et al.* (2005), o Alto Cristalino de Salvador representa um *horst*, formado por rochas metamórficas de alto a médio grau, que datam do arqueano ao paleoproterozoico, as quais marcam o contato do Oceano Atlântico com a Bacia do Recôncavo. Segundo Barbosa et al. (2005), o Alto de Salvador pode ser dividido em duas porções topográficas, as quais são divididas pela

Falha do Iguatemi: uma a oeste, na qual predominam as maiores altitudes (maiores que 60m) e uma a leste onde as altitudes são menores que 30m. Na porção oeste, ocorrem os granulitos, e na leste, além dos granulitos, ocorrem rochas reequilibradas em fácies anfíbolito (SOUZA, 2013).

8.2. Bacia do Recôncavo

Segundo Kosin *et al.* (2007), as sequências sedimentares relacionadas ao preenchimento da Bacia do Recôncavo (Figura 2), compreendem os depósitos acumulados durante o processo extensional juro-cretáceo e caracterizam 5 sequências deposicionais que estão associados aos estágios pré-rifte, rifte e pós-rifte.

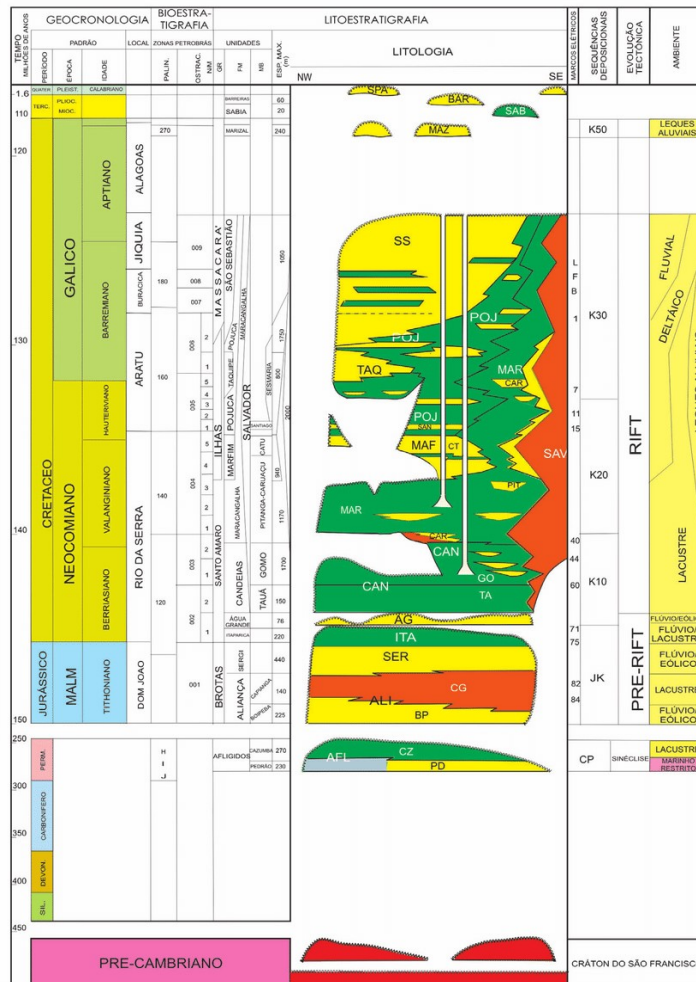
O estágio Pré-Rifte corresponde a Sequência J20-K50, a qual está relacionada a três grandes ciclos flúvio-eólicos representados da base para o topo, pelo Membro Boipeba da Fm. Aliança e pelas formações Sergi e Água Grande. Transgressões lacustres de caráter regional separam esses ciclos as quais são expressas pela sedimentação pelítica, representada pelo Membro Capianga, da Fm. Aliança, e pela Fm. Itaparica (ambos possuem folhelhos avermelhados).

O estágio Rifte corresponde as Sequências K10, K20 e K30. As duas primeiras englobam grande parte do Andar Rio da Serra, que compreende rochas sedimentares relacionáveis às formações Candeias (membros Tauá e Gomo) e Maracangalha. As litofácies associadas testemunham o contexto lacustre que prevalecia no início da fase Rifte, quando se definiu o arcabouço estrutural da Bacia. A diminuição da atividade tectônica e o aumento do aporte sedimentar resultaram na redução dos gradientes deposicionais, com progressivo assoreamento dos depocentros. Neste processo, ocorreu a deposição da Fm. Maracangalha, o qual está associado a um grande volume de depósitos relacionados a fluxos gravitacionais (membros Caruaçu e Pitanga).

A porção inferior da Sequência K30 (Neo-Rio da Serra) registra a expansão dos sistemas deltaicos ao longo da bacia, com progressivo recuo, para sul, dos sítios deposicionais lacustres representados pela Formação Maracangalha. A seção basal está relacionada aos arenitos deltaicos do Membro Catú da Formação Marfim. No

Andar Aratu a bacia assumiu uma geometria de rampa, onde ciclos deltaicos-lacustres sucessivos (Formação Pojuca) evidenciam um contexto de reduzido gradiente deposicional e baixa taxa de subsidência.

Figura 2 - Carta estratigráfica da Bacia do Recôncavo. EMB (embasamento); AFL (Afligidos); CZ (Cazumba); PD (Pedrão); ALI (Aliança); CG (Capianga); BP (Boipeba); SER (Sergi); ITA (Itaparica); AG (Água grande); CAN (Candeias); TA (Tauá); GO (Gomo); MAR (Maracangalha); CAR (Caruaçu); PIT (Pitanga); MAF (Marfim); CT (Catu); SAN (Santiago); POJ (Pojuca); SS (São Sebastião); SAV (Salvador); MAS (Marizal); SAB (Sabiá); BAR (Barreiras).



Fonte: Caixeta (2007)

A Formação São Sebastião, a qual está associada à fácies fluviais, representa a fase final de assoreamento do rifte, que durante o Andar Jiquiá esteve submetido a um novo ciclo tectônico, com a criação e reativação de falhamentos (KOSIN *et al.* 2007, *apud* ARAGÃO, 1994).

O estágio pós-rifte corresponde a Sequência K50 que é representada pelos clásticos grossos (conglomerados e arenitos), folhelhos e calcários, os quais estão associados à Formação Marizal. Sua deposição está relacionada a sistemas aluviais, os quais foram desenvolvidos em um contexto de subsidência termal, pós rifte, que é indicado pela natureza sub-horizontal dos estratos, que se sobrepõem discordantemente as seções estruturadas, relacionadas à fase rifte (KOSIN *et al.* 2007, *apud* SILVA 1993).

8.3 Depósitos Tércio-Quaternários

São depósitos associados a variações do clima e do nível do mar. Podem ser subdivididas em:

- a) Formação Barreiras, que se caracteriza por ser uma cobertura sedimentar terrígena, cuja origem é continental e marinha, que datam desde o Mioceno até o Pleistoceno Inferior (BEZERRA, 1998; SUGUIO; NOGUEIRA, 1999; VILAS BOAS *et al.* 2001; BEZERRA *et al.* 2006). No estado da Bahia, a Formação Barreiras encontra-se por toda faixa costeira, principalmente no extremo e nordeste do estado. Tanto na Bahia, quanto no litoral brasileiro, esses depósitos são vistos como originários a partir de sedimentação tipicamente continental, consistindo principalmente em coalescência de leques aluviais e em sistemas fluviais, entrelaçados desenvolvidos sob condições climáticas quentes e secas (p.e. MABESOONE *et al.* 1972, BIGARELLA 1975, GÓES 1981, VILLAS BÔAS *et al.* 2001, LIMA *et al.* 2006). Em geral, essa interpretação foi feita, tendo como base principalmente, a constituição arenosa a conglomerática, e a abundância de depósitos com geometria de canais (BARBOSA, 2012). Na região da cidade de Salvador, há algumas exposições isoladas, as quais se localizam sobre as rochas cretáceas da Bacia do Recôncavo. Os depósitos do grupo barreiras

formam um *onlap* costeiro sobre as rochas do embasamento cristalino, bem como sobre as rochas cretáceas associadas à Bacia do Recôncavo, formadas no processo de separação da América do Sul da África. Acima da Formação Barreiras, encontram-se as formações quaternárias.

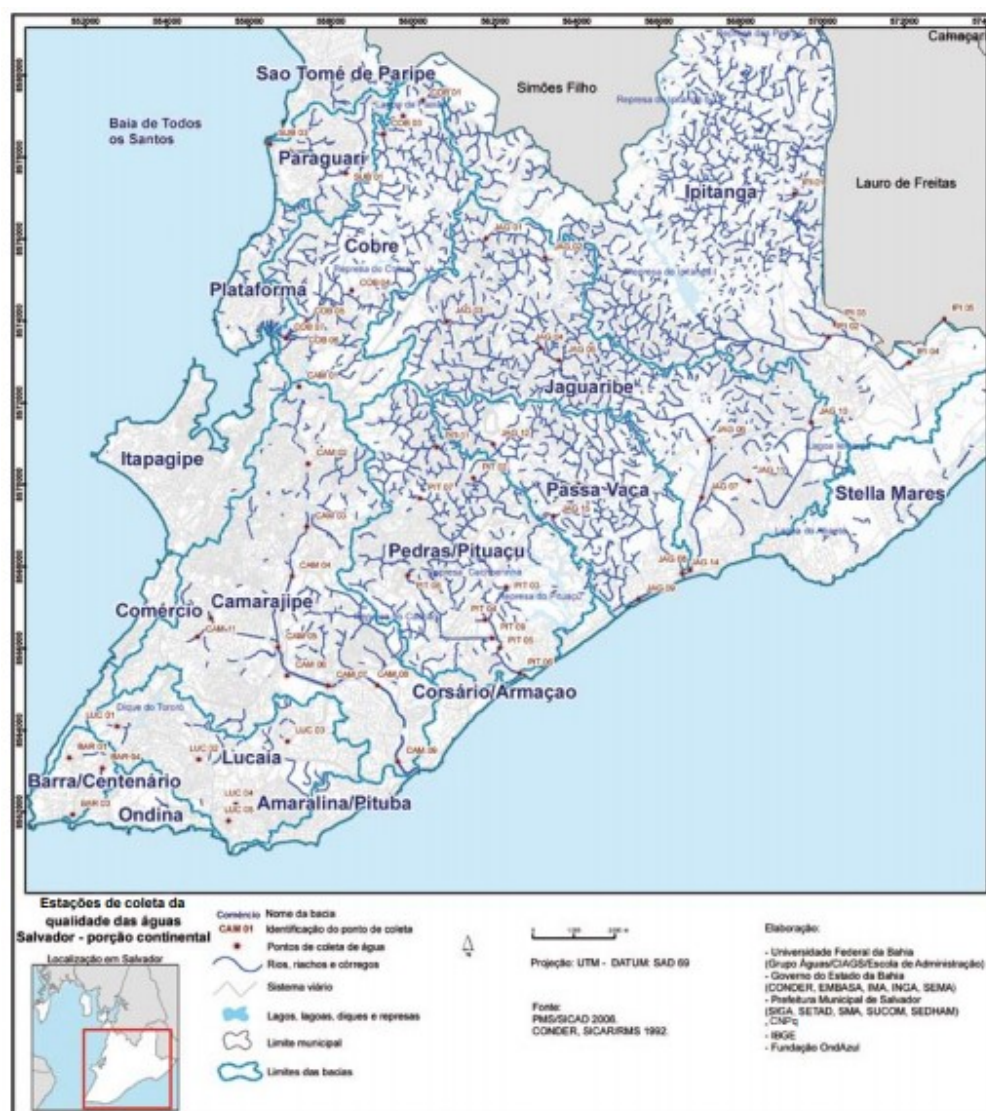
- b) Depósitos Quaternários se caracterizam por serem sedimentos de origem fluvial e costeiros (materiais arenosos e areno-argilosos), sedimentos de mangue (argilas ricas em matéria orgânica), sedimentos de origem eólica (dunas), e sedimentos dos terraços arenosos (materiais arenosos e argilo-arenosos), além de recifes de corais e algas coralinas (BITTENCOURT *et al.* 1987, 2000, DOMINGUEZ *et al.* 1999, MARTIN *et al.* 1980, DOMINGUEZ & BITTENCOURT 2012).

9. HIDROLOGIA REGIONAL

A pluviosidade média anual da cidade de Salvador é de 1781 mm, sendo maio o mês de maior precipitação, com 285 mm, e setembro o de menor, com 74 mm de média. Dados da estação meteorológica de Ondina indicam um índice hídrico de 48,4, com excedente de 694,2 mm/ano, e evapotranspiração potencial da ordem de 1417,9 mm/ano.

As principais bacias hidrográficas associadas ao município de Salvador (Mapa 3) são: A Ipitanga, com 59 km², a Jaguaribe com 58km², a Camurujipe, com 52 km², a do rio das Pedras/Pituaçu, com 28 km², a do rio Lucaia com 18 km² e a Cobre, com 17 km². O padrão dendrítico predomina regionalmente, sendo que suas nascentes encontram-se nos planaltos costeiros, com o fluxo indo em direção ao Oceano Atlântico, com exceção da bacia do Cobre, na qual o fluxo se dá em direção a Baía de Todos os Santos.

Mapa 3 – Principais Bacias Hidrográficas de Salvador



Fonte: Santos *et al.* (2010)

10. HIDROGEOLOGIA LOCAL

Devido aos altos índices pluviométricos, Salvador recebe uma alta taxa de recarga, o que permite a utilização das águas subterrâneas durante o ano, sem grandes rebaixamentos.

Segundo Nascimento (2008), a hidrogeologia do Alto Cristalino de Salvador pode ser subdividida em dois aquíferos distintos: um sistema associado a coberturas, associadas ao regolito e aos sedimentos da Formação Barreiras, e um segundo, formado pelas rochas do embasamento cristalino.

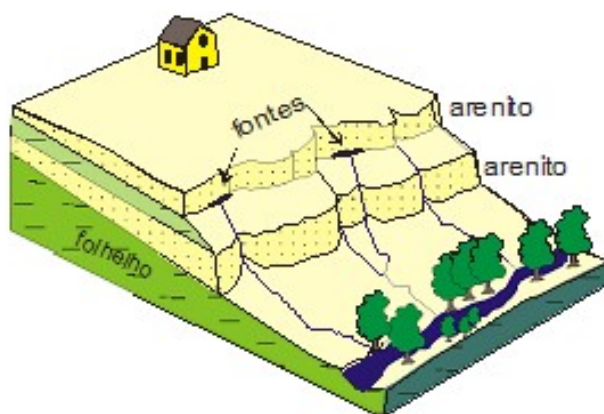
O aquífero associado às coberturas tem majoritariamente caráter areno-siltoso, e possui espessuras que podem atingir no máximo 48 metros. Essas características limitam a sua qualidade como aquífero, pois implica em pequena capacidade de armazenar água, além de interferir negativamente na produção de um poço que capte água desse sistema. Já no aquífero associado ao embasamento, é formado por rochas cristalinas, o que lhe dá um caráter fissural.

Desse modo, as águas meteóricas percolam os dois sistemas de fraturas associadas ao embasamento, as quais possuem dois sistemas de direção preferencial, que variam em densidade e frequência pela cidade. Os poços mais profundos, em geral captam água de sistemas mistos. Desse modo, as diferentes características das coberturas influenciam no processo de captação. Em locais que a cobertura está associada aos sedimentos da Formação Barreiras e/ou por dunas e areias litorâneas, há um aumento do acoplamento hidráulico, que resulta num aumento de produtividade dos poços de caráter misto. Desse modo, poços locados na orla, onde há o caráter área de duna-embasamento, normalmente produzem vazões superiores em comparação com poços locados nas porções mais internas da cidade, associados a um sistema aquífero regolito-embasamento (LIMA, 1999).

Por definição, fontes de água natural é o local de surgência, a partir da interseção da superfície topográfica com nível freático. Essas condições são determinadas pelo clima, geologia e topografia. Segundo Lima (2005), no Alto Cristalino de Salvador ocorrem três tipos de Fontes Naturais: As Fontes de Contato, as Fontes de Vale e as Fontes de Fratura. As Fontes de Contato (Figura 3) ocorrem quando a superfície topográfica intercepta o contato de uma camada permeável com uma camada impermeável. As Fontes de Vale (Figura 4) estão associadas à interceptação do talvegue de um vale com o nível freático. Já as Fontes de Fratura (Figura 5) tem sua existência propiciada à interceptação de um plano de fratura interligados a outros

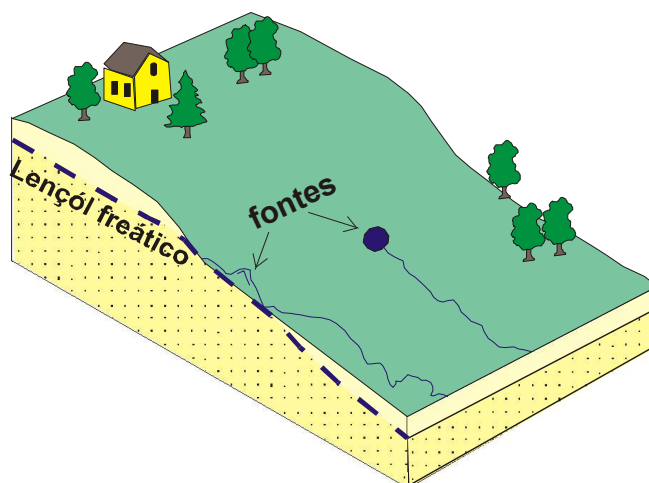
planos de fratura, com a superfície topográfica. Além disso, deve haver uma interceptação desse plano com o nível freático.

Figura 3 - Bloco Diagrama Ilustrando uma Fonte de Contato



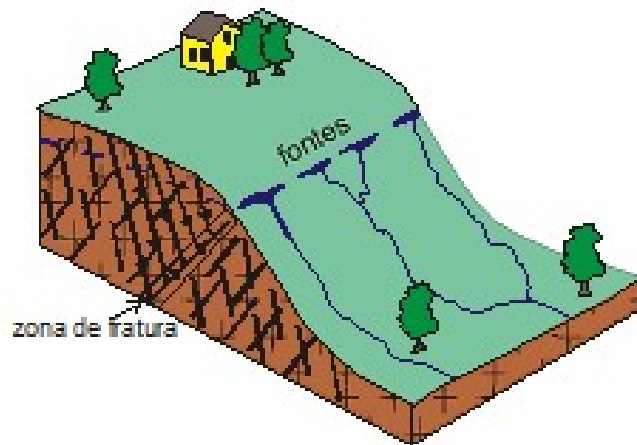
Fonte: Lima (2005)

Figura 4 – Bloco Diagrama Ilustrando uma Fonte de Vale



Fonte: Lima (2005)

Figura 5 - Bloco Diagrama Ilustrando uma Fonte de Fratura



Fonte: Lima (2004)

Entre as fontes naturais estudadas no presente trabalho, podemos destacar as Fontes Pedreira I, Pedreira II, Instituto de Biologia, Queimadinho e Santo Antônio do Cabula como exemplos de Fontes de Contato. As fontes do Dique do Tororó e a Guetho são do tipo Fonte de Vale. A única Fonte de Fratura estudada no presente trabalho foi a Fonte do Conjunto Bahia.

11. ASPECTOS FÍSICOS NATURAIS

A natureza físico-química das águas subterrâneas no seu estado natural, sem a interferência antrópica, está intrinsecamente relacionada às condições geológicas, litológicas e climáticas associadas a cada região (NASCIMENTO, 2002).

Em relação à hidroquímica, segundo Nascimento (2008), as águas associadas às coberturas regolíticas e aos sedimentos da Formação Barreiras possuem uma natureza cloretada-sódica. Esse fato se deve à origem dessas águas estarem associadas à dissolução dos aerossóis marinhos, trazidos por correntes atmosféricas, as quais entram no aquífero através da recarga, com concentrações baixas de sódio e de cloro. Essas baixas concentrações estão associadas a baixa condutividade elétrica das águas

subterrâneas associadas à região, de em média 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. As águas associadas ao embasamento cristalino possuem uma natureza majoritariamente bicarbonatada sódica e bicarbonatada cálcica-magnésiana.

Esse caráter bicarbonatado das águas associadas ao sistema aquífero fissural, está relacionada com os valores do pH nessas regiões (acima de 6,5), o que permite que o índice de saturação (SI) do bicarbonato na água aumente, e se torne positivo. Como consequência disso, segundo Nascimento (2008), ocorre a precipitação de aragonita, calcita e dolomita.

12. GEOLOGIA LOCAL

O presente trabalho foi realizado na porção de Salvador, onde se encontra o conjunto de rochas que fazem parte do Alto de Salvador (BARBOSA & DOMINGUEZ, 1996). O Alto de Salvador é composto por rochas metamórficas, de alto a médio grau, de idade arqueana e/ou paleoproterozoica.

O Alto Cristalino de Salvador é formado pelo (a) embasamento cristalino pela (b) cobertura regolítica, produto da alteração química do embasamento e por (c) a Formação Barreiras.

- a) O embasamento cristalino é composto de rochas metamórficas ortoderivadas, representadas por granulitos charnoenderbíticos e tonalíticos, sendo que ambos contêm enclaves máficos e ultramáficos, sendo cortadas por monzonogranitos e diques máficos (BARBOSA *et al.*, 2005). Há também a presença de rochas metamórficas paraderivadas alumino-magnésianas associadas à granulitos básicos e quartzitos. Na porção leste, é uma área de menores cotas, encontram-se rochas monzoníticas-monzodioríticas e um conjunto de rochas gnáissicas, graníticas, anfíbolíticas e migmatíticas, todas reequilibradas na fácies anfíbolito/granulito. O sistema de fraturas N30-40° e N130-140° constituem zonas de percolação de fluidos, promovendo a alteração química

dos minerais do embasamento, dando origem a um solo residual e a rocha alterada (saprólito) que compõem o regolito, que cobre as rochas cristalinas;

- b) A cobertura regolítica possui coloração avermelhada, sendo composta majoritariamente por argilominerais, sendo estes, produto da alteração química dos minerais aluminosos (plagioclásio, microclina, etc) do embasamento. Os minerais ferromagnesianos (biotita, hornblenda, granadas, ortopiroxênios) também dão origem aos argilominerais, e promovem a formação de diversos óxidos e hidróxidos de ferro, os quais são responsáveis pela coloração vermelha dos solos. Alguns minerais de ferro presentes em pequenas quantidades nas rochas cristalinas, tais como pirita, magnetita e ilmenita, quando alterados, também ajudam a imprimir essa coloração avermelhada, devido à formação da hematita e goetita, depois que os seus produtos amorfos foram desidratados. Quando há a predominância de hematita, os solos são mais avermelhados, enquanto a goetita imprime neles uma cor vermelho-amarelada (NASCIMENTO, 2008);
- c) A Formação Barreiras é constituída por arenitos argilosos, cuja coloração varia de branca, amarela, vermelha e violeta. Esses arenitos possuem estratificações cruzadas e plano-paralelas. É comum a presença de siltitos e argilitos coloridos, assim como lentes conglomeráticas e caulíníticas. Os conglomerados são formados por clastos de quartzo leitoso, subarredondados, intercalados com seixos de granulitos, arenitos e lamitos, imersos a uma matriz arenosa, mal selecionada (Martin *et al.* 1980 in IBGE 1999). Frequentemente, as rochas da Formação Barreiras são friáveis, sendo comum a presença de níveis ferruginosos, as quais se encontram em meio a uma matriz areno-argilosa, de coloração avermelhada (NASCIMENTO, 2008).

13. RESULTADOS E DISCUSSÕES

13.1 Classificação das Águas dos Poços

Dos 74 poços estudados, com apenas 36 (Tabela 1) foi possível fazer a classificação das águas. Tal fato se deve à ausência de um ou mais dados físico-químicos referentes aos componentes maiores. Desse modo, utilizaram-se como metodologia de classificação das águas os diagramas de Piper (1944) (Figura 6) e Stiff (1951) (Figura 7-41).

13.1.1 Classificação das Águas dos Poços, segundo o Diagrama de Piper (1944)

Figura 6 – Diagrama de Piper (1944) das Águas dos Poços Tubulares

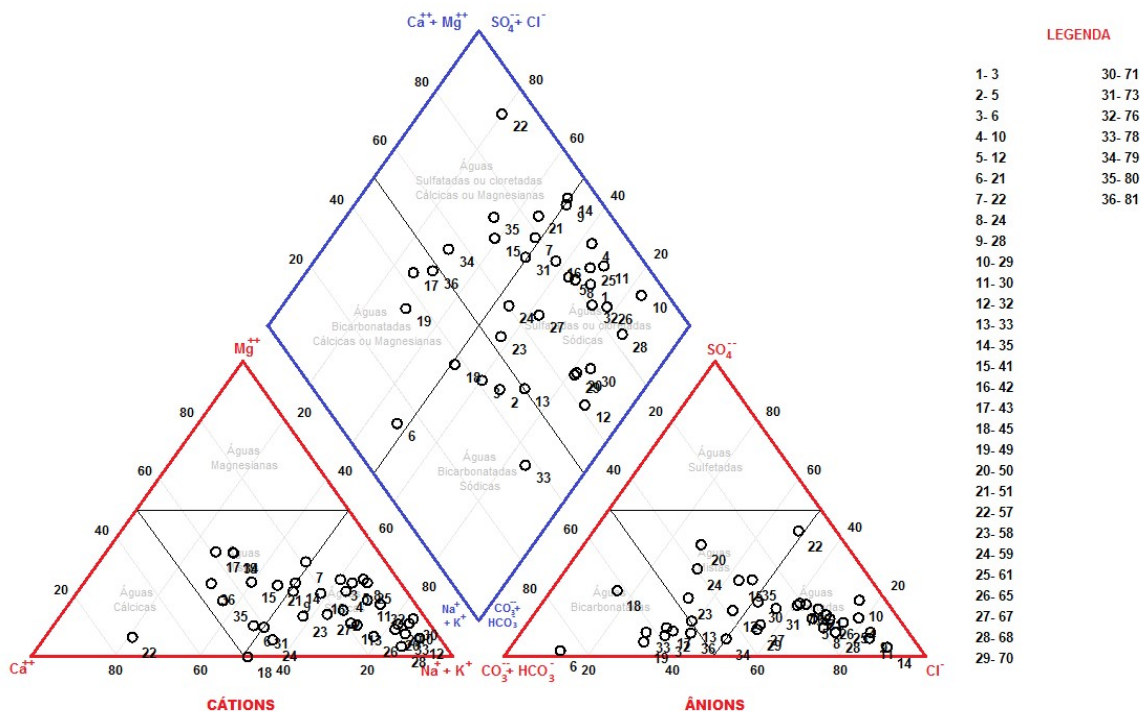


Tabela 1 – Classificação das Águas dos Poços Tubulares e Concentração dos Componentes Maiores

Poço	Na + K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Cl (mg/L)	CO ³⁻ + HCO ³⁻ (mg/L)	SO ⁴⁻ (mg/L)	Classificação
3	248	56,89	21,29	56,89	126,54	87	Sódica Mista
5	59,3	14	7,38	43,2	117	14,6	Sódica Bicarbonatada
6	66,9	13	15,1	60,8	178	17,4	Sódica Bicarbonatada
10	32,5	6,14	5,8	46,2	9,5	10,7	Sódica Cloretada
12	14,1	2,1	2,79	23,5	12,4	6,26	Sódica Cloretada
21	52,53	40,2	6,14	12,1	150	2,95	Mista Bicarbonatada
22	26,8	8,9	9,2	41,1	25,3	16,1	Mista Cloretada
24	20,5	2,2	4,29	26,4	12,4	5	Sódica Cloretada
28	29,43	13,1	6,57	41,9	7,7	5,74	Sódica Cloretada
29	1.064,00	52	75,6	1.680,00	236	588	Sódica Cloretada
30	32,6	4,2	4,55	51,9	10,9	5,32	Sódica Cloretada
32	144,7	6,8	5,42	97,5	138	45,1	Sódica Mista
33	75,7	15,7	5,9	43,7	97,5	18,8	Sódica Mista
35	34,27	14,1	8,63	89,8	12,9	4,44	Mista Cloretada
41	95	69,7	30,5	107	136	88,7	Mista Mista
42	13,2	4	2,53	25,5	14,9	10,3	Sódica Cloretada
43	37,4	46	25,8	57,8	169	23,3	Mista Bicarbonatada
45	4	3	0	1	7	2	Sódica Bicarbonatada
49	38,7	36	22,4	42,1	154	9,57	Mista Bicarbonatada
50	164,9	16	9,93	74,4	160	140	Sódica Mista
51	29,8	16	7,99	59,3	26,7	19,7	Mista Cloretada
57	23	68,4	3,8	31,4	9,8	37,7	Cálcica Mista
58	28,9	12	3,5	14,2	33,9	11,5	Sódica Mista
59	34,9	21,5	1,9	19,7	43,4	26	Sódica Mista
61	15,1	1,5	2,93	23,5	7,44	5	Sódica Cloretada
65	287	49,32	13,45	338,16	133,71	84	Sódica Cloretada
67	101	31,8	12,3	109	115	29,3	Sódica Cloretada
68	255,42	27,2	5,61	271	108	41,2	Sódica Cloretada
70	107,6	8,6	7,62	91,6	101	21	Sódica Cloretada
71	92,2	2,9	7,4	71	73,4	35,4	Sódica Cloretada
73	57,6	38	5,79	67,6	56,5	26,8	Mista Cloretada
76	61,5	5,96	7,71	68,4	36,6	26,4	Sódica Cloretada
78	108,4	8,2	5,2	49,4	181	19,2	Sódica Bicarbonatada
79	44,7	43	26,6	59,8	92,3	10	Mista Mista
80	18,19	19,4	4,97	20,3	21,5	15,8	Mista Mista
81	12,73	15,95	5,34	17,2	38,3	4,72	Mista Bicarbonatada

Ao analisar a classificação das águas de acordo com o Diagrama de Piper (1944), nota-se que o cátion que predomina nas amostras é o Na⁺, estando presente em 66% das amostras. O cloreto é o ânion mais presente nas amostras, sendo predominante em 50% dos poços que foi possível fazer classificação das águas.

13.1.2 Diagramas de Stiff (1951)

a) Águas Sódicas Cloretadas:

Figuras 7 a 21 – Diagramas de Stiff (1951)

Figura 7 - Poço 10

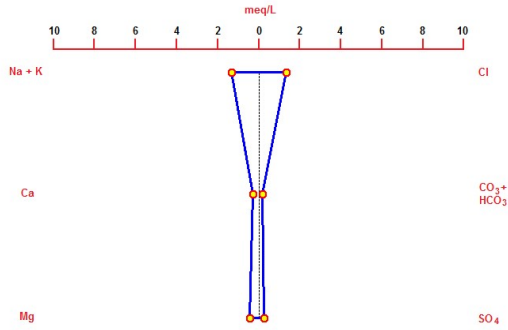


Figura 8 – Poço 12

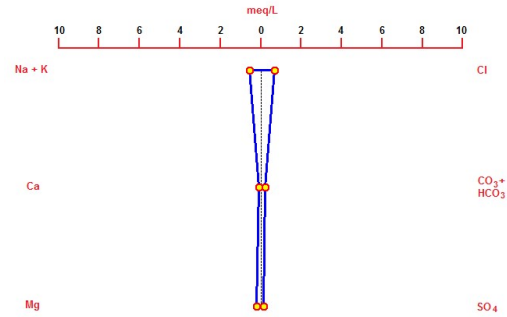


Figura 9 - Poço 24

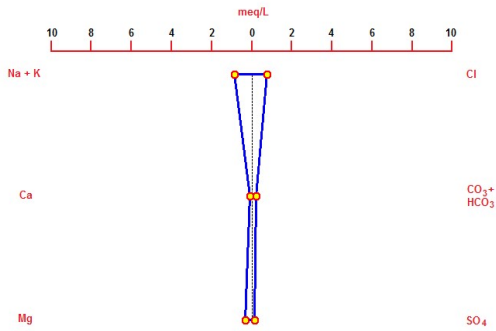


Figura 10 – Poço 28

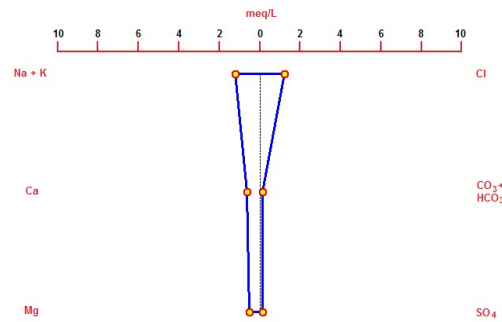


Figura 11 – Poço 29

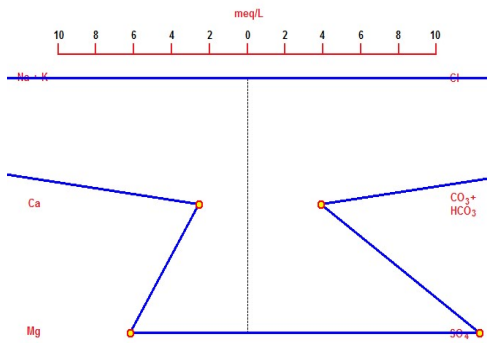


Figura 12 – Poço 30

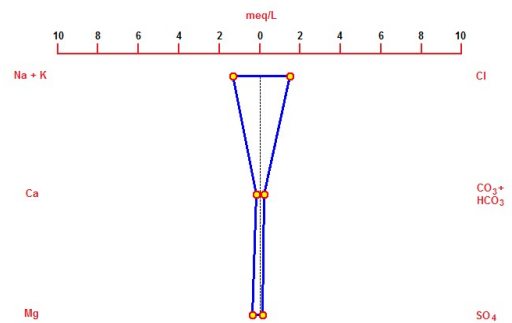


Figura 13 – Poço 32

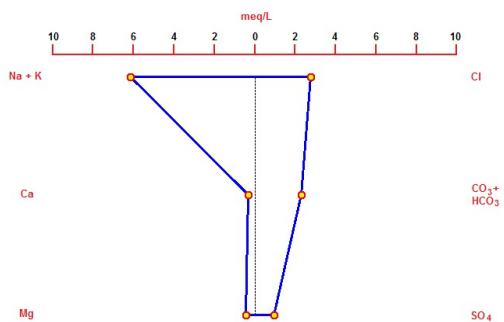


Figura 14 - Poço 42

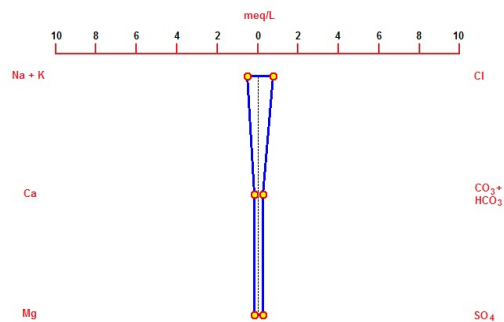


Figura 15 – Poço 61

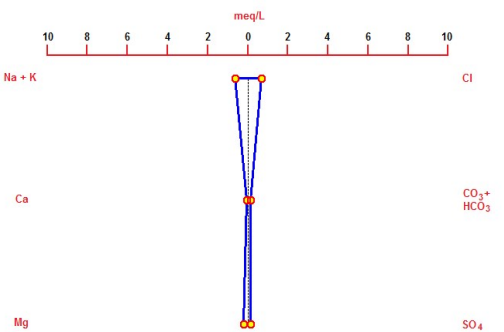


Figura 16 – Poço 65

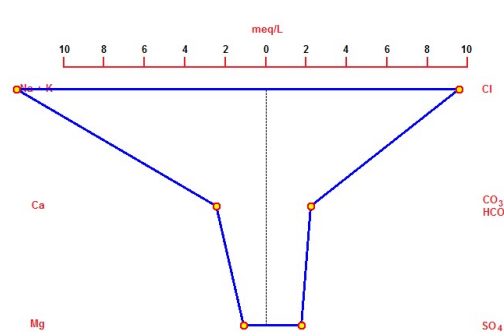


Figura 17 – Poço 67

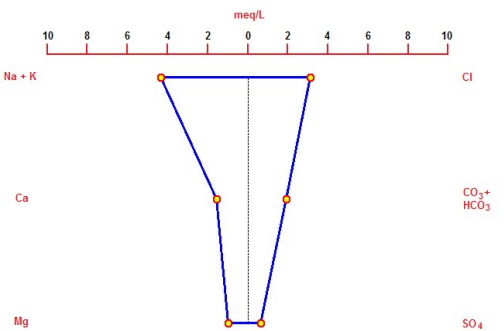


Figura 18 – Poço 68

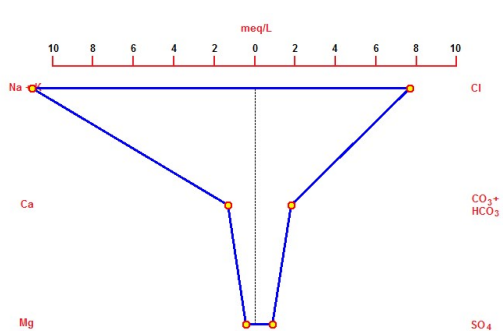


Figura 19 – Poço 70

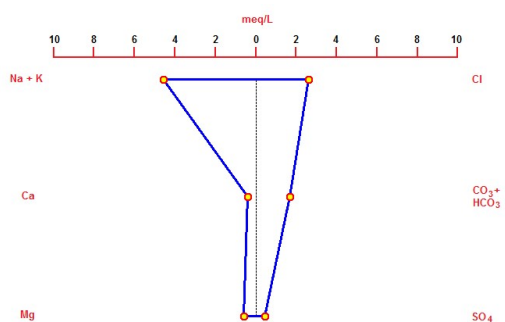


Figura 20 – Poço 71

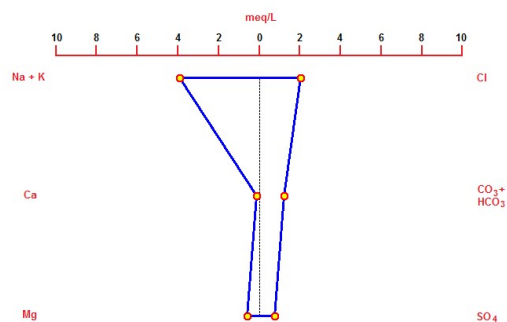
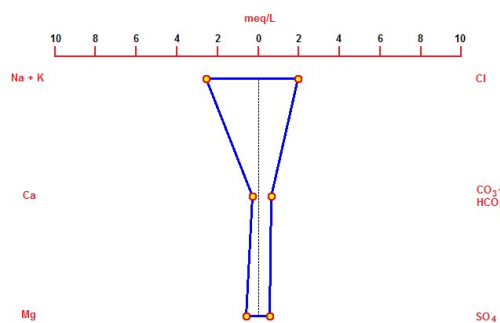


Figura 21 – Poço 76



b) Águas Mistas Cloretadas

Figuras 22 a 28 – Diagramas de Stiff (1951)

Figura 22 – Poço 22

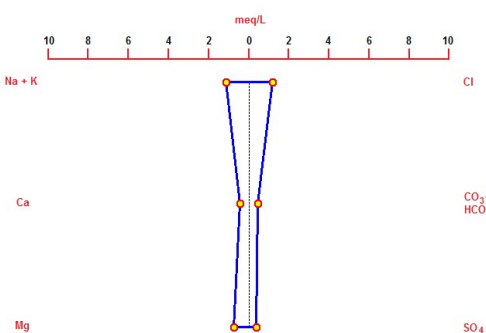


Figura 23 – Poço 35

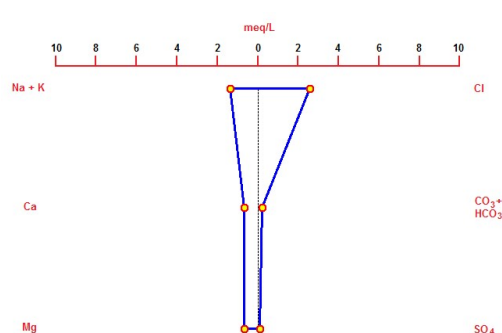


Figura 24 – Poço 41

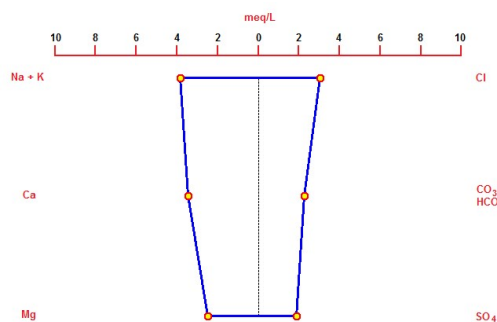


Figura 25 – Poço 51

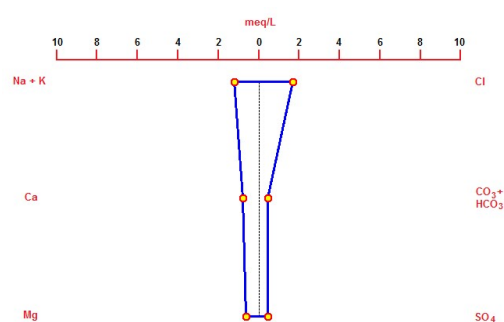


Figura 26 – Poço 57

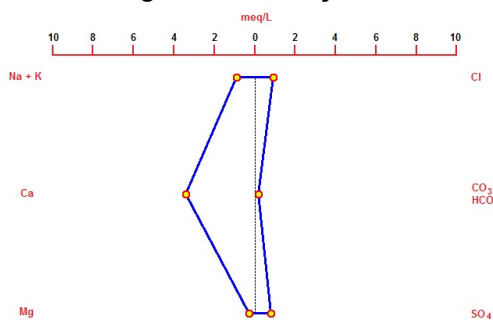


Figura 27 – Poço 73

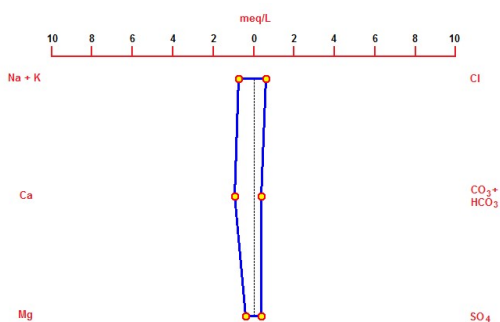
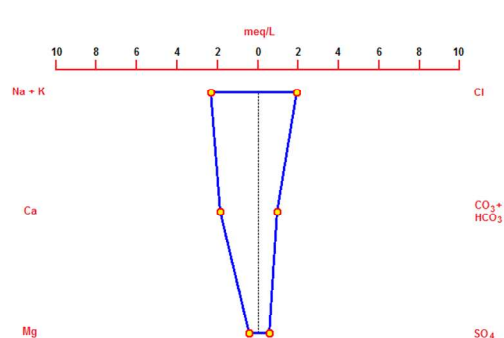


Figura 28 – Poço 80



c) Águas Mistas Bicarbonatadas:

Figuras 29 a 34 – Diagramas de Stiff (1951)

Figura 29 – Poço 21

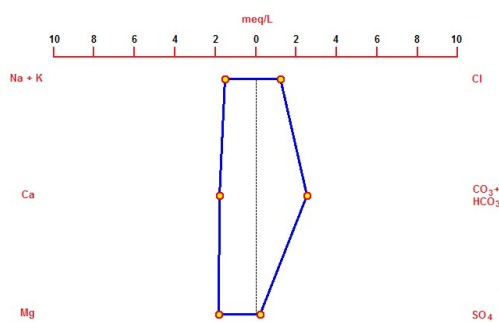


Figura 30 – Poço 49

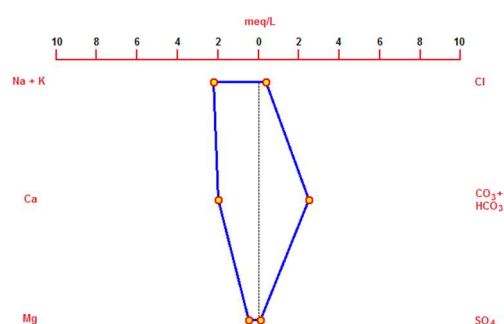


Figura 31 – Poço 58

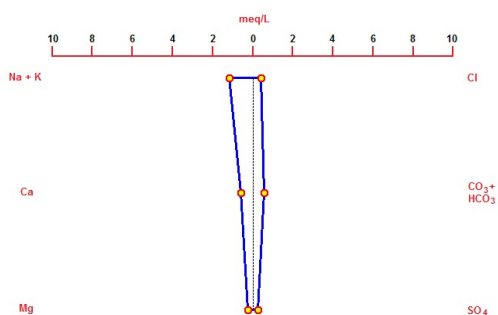


Figura 32 – Poço 59

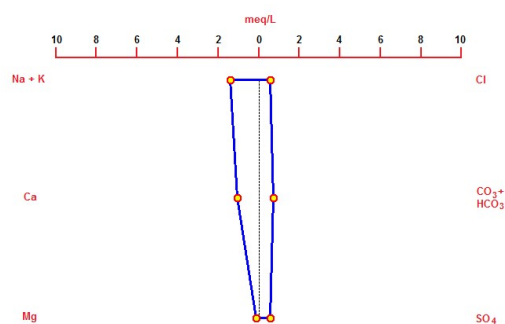


Figura 33 – Poço 79

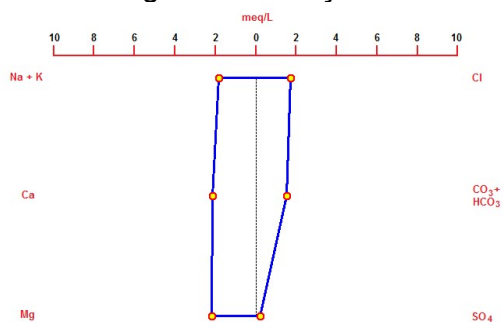
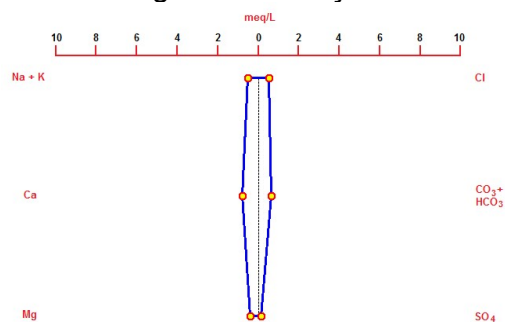


Figura 34 – Poço 81



d) Águas Sódicas Bicarbonatadas:
Figuras 35 a 41 – Diagramas de Stiff (1951)

Figura 35 – Poço 3

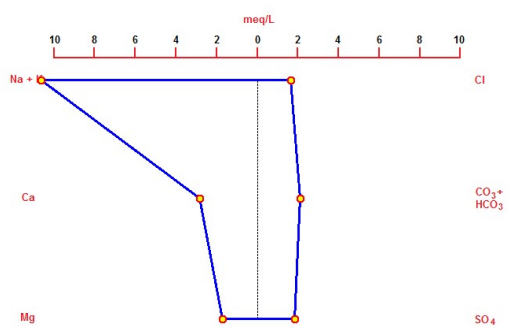


Figura 36 – Poço 5

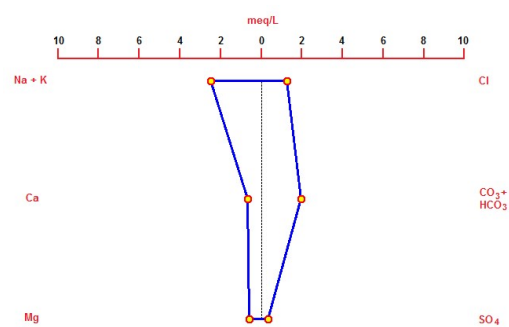


Figura 37 – Poço 6

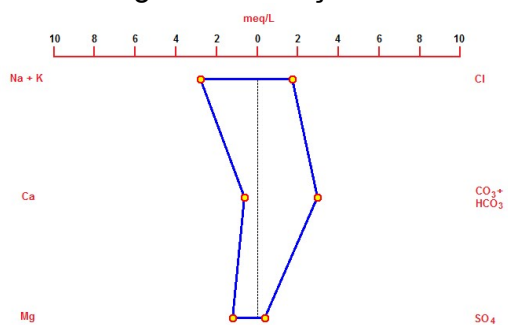


Figura 38 – Poço 33

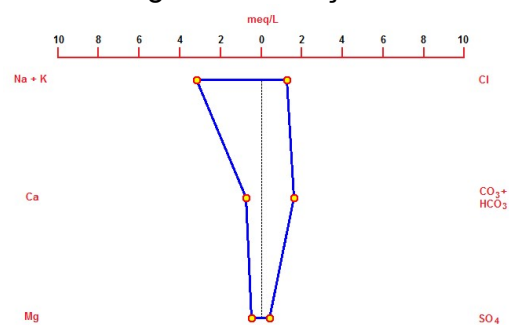


Figura 39 – Poço 45

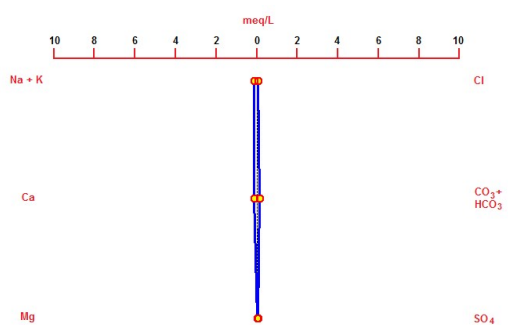


Figura 40 – Poço 50

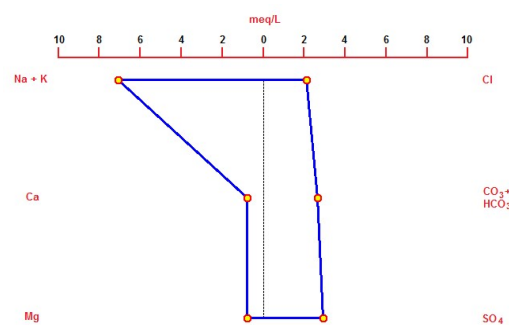
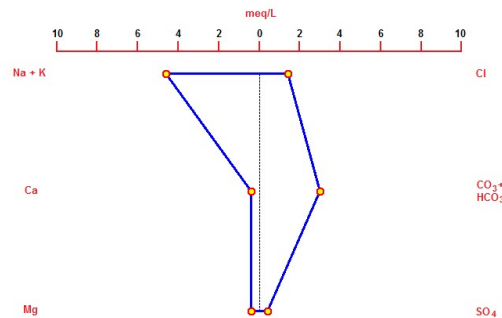


Figura 41 – Poço 76



Ao analisarmos os diagramas de Stiff (1951), nota-se que a maior parte (41,6%) das águas analisadas é do tipo Sódica-Cloretada, o que indica que essas águas estão mais associadas às coberturas (manto regolítico ou Formação Barreiras), ou a poços mais rasos. Dentre as águas sódicas-cloretadas, nota-se que existem águas desmineralizadas, com composição próxima a da água da chuva (Poços 10, 12, 24, 28, 30, 42, 61). Essas águas provavelmente fazem parte de poços nos quais há uma grande espessura de cobertura (regolito + Formação Barreiras), a qual preserva a assinatura química da água, devido à rápida infiltração. O subgrupo formado pelas águas dos Poços 32, 67, 70, 71 e 76 possuem concentrações dos íons Na^+ , Cl^- , Ca^{++} e HCO_3^- mais elevadas, em relação ao subgrupo anterior. Sugere-se que essas águas entraram em contato com o aquífero fissural por um tempo mais elevado que o subgrupo anterior, e enriqueceram em componentes maiores. As águas do Poço 29, 65 e 68 possuem indícios de contaminações por Na^+ , Cl^- .

As águas mistas-cloretadas estão presentes em 19% dos poços analisados. Essas águas indicam que as espessuras das coberturas são menores do que a zona das águas sódicas-cloretadas. Além disso, há a possibilidade de ocorrência de misturas de duas ou mais águas de aquíferos diferentes. O Poço 57 indica valores elevados do cátion Ca^{++} .

As águas Sódicas-Bicarbonatadas, denotam influencia das rochas do embasamento cristalino. Os Poços 3, 50 e 76 indicam anomalias por Na^+ , associada à evaporação das águas meteóricas, que pode ser indicativo de um manto regolito pouco espesso. Desse modo, a água de recarga acaba se tornando saturada em Na^+ e

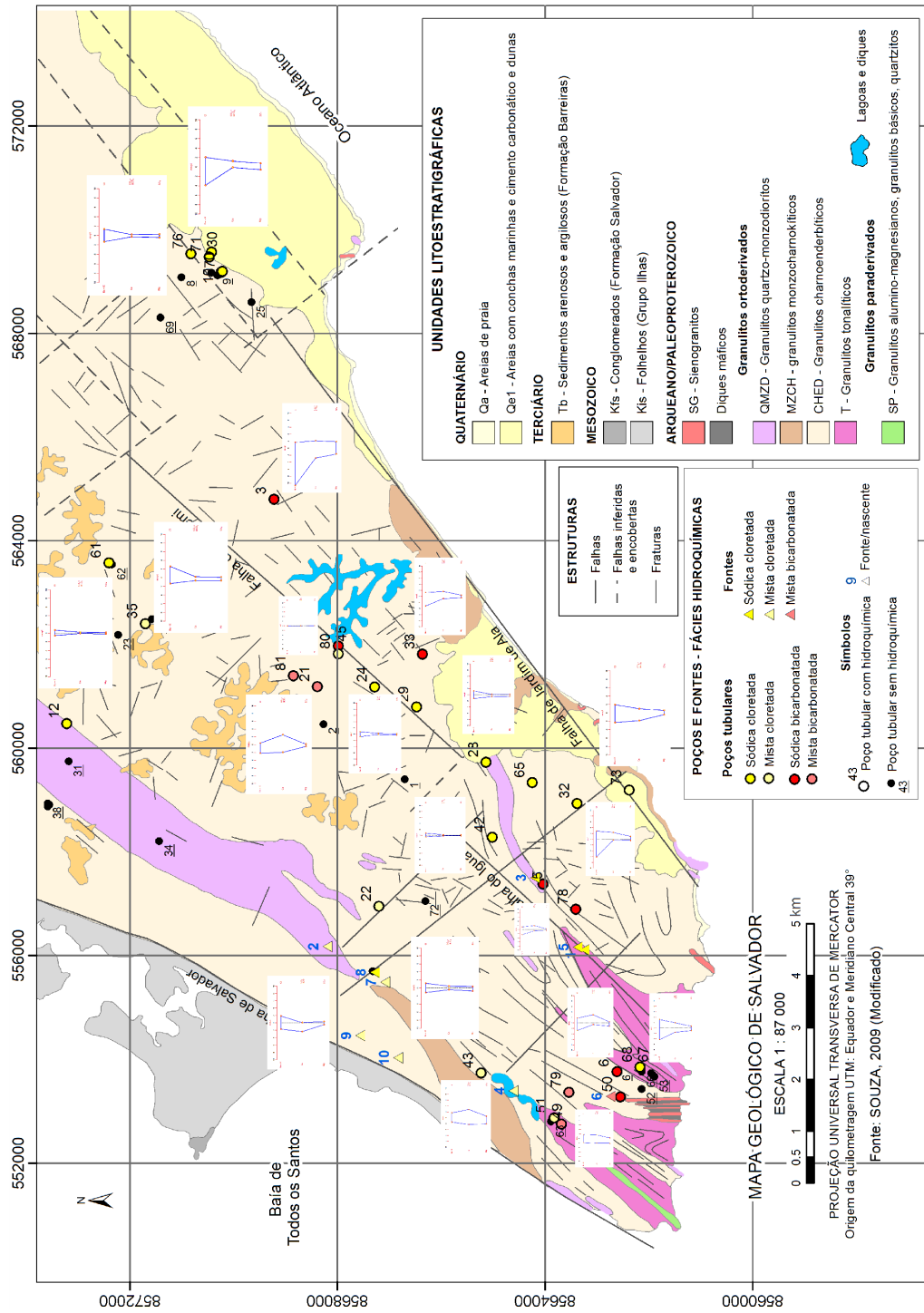
posteriormente penetra no aquífero fissural, enriquecendo em HCO_3^- , devido às condições físico-químicas do aquífero.

As águas mistas-bicarbonatadas estão presentes em 16,6% dos poços tubulares com classificação das águas. Elas indicam uma influencia maior do embasamento cristalino, e enriquecimento das águas nos cátions Ca^{++} e Mg^{++} . Nesse grupo, ela pode ser dividida em dois subgrupos: águas com maior tempo de percolação no embasamento cristalino, a ponto de enriquecerem em HCO_3^- e Ca^{++} e se tornarem mineralizadas (Poços 21, 49 e 79). O segundo subgrupo é formado pelas águas desmineralizadas, as quais estão associadas às águas meteóricas que penetraram diretamente aquífero fissural, com pouco tempo de percolação. Essas águas são representadas pelos Poços

A água do Poço 45 encontra-se bastante desmineralizada, semelhante ao Poço 80, de assinatura Mista-Bicarbonatada. Ambos os poços encontram-se próximo à Falha do Iguatemi. Desse modo, infere-se que essas águas meteóricas atingiram o aquífero fissural, através das fraturas.

Abaixo, o Mapa 4 indica a geologia da área de estudo, com a localização geográfica dos poços e fontes estudadas, com diagramas de Stiff (1951) anexados, indicando a tendência da classificação das águas nas respectivas regiões.

Mapa 4 – Mapa Geológico da Área de Estudo com Assinaturas Hidroquímicas



Fonte: Modificado de SOUZA, 2009

13.2 Classificação das Águas das Fontes

Figura 42 – Classificação das Águas das Fontes, segundo o diagrama de Piper (1944)

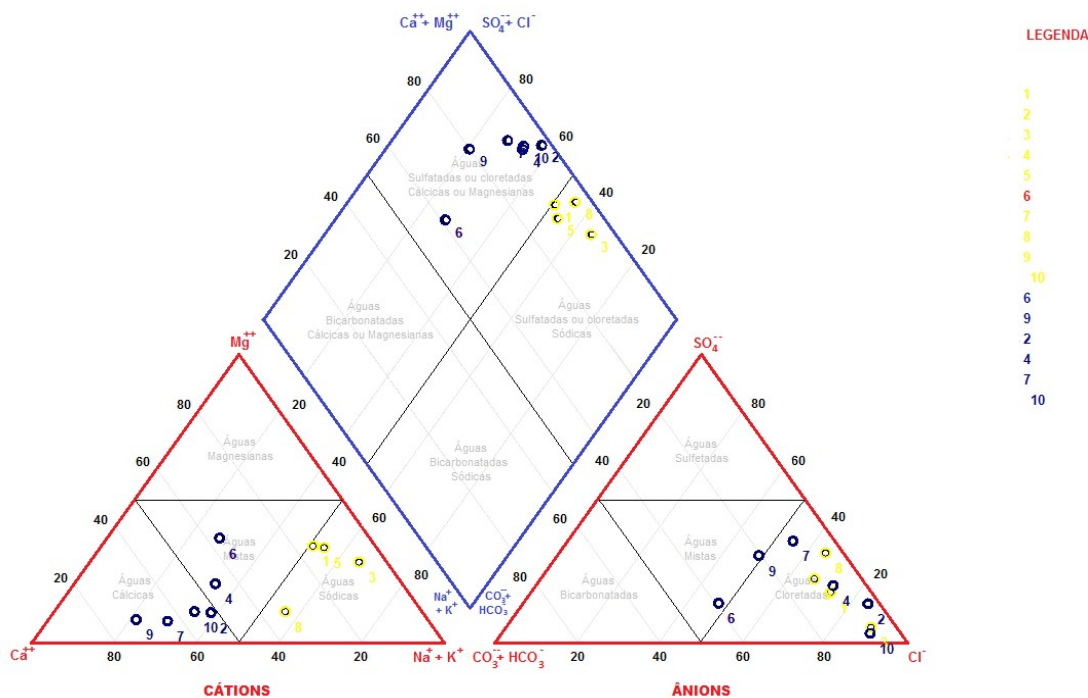


Tabela 2 – Classificação das Águas das Fontes, Segundo Diagrama de Piper (1944)

Nome da Amostra	Na + k (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Cl (mg/L)	CO3+HCO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Classificação das Águas
1	44,50	11,00	15,00	55,30	12,70	18,50	Sódica Cloretada
2	41,90	48,00	6,10	64,00	3,50	14,40	Cálcica Cloretada
3	75,50	6,70	17,20	118,00	13,70	10,30	Sódica Cloretada
4	39,20	43,00	12,00	60,40	11,50	23,00	Mista Cloretada
5	41,10	8,10	12,90	57,70	17,00	26,60	Sódica Cloretada
6	25,90	29,30	17,90	49,10	69,90	19,90	Mista Mista
7	50,00	88,00	6,60	54,00	17,00	48,00	Cálcica Cloretada
8	56,30	27,00	5,46	63,20	6,94	42,00	Sódica Cloretada
9	41,50	112,00	8,00	55,00	40,50	47,00	Cálcica Mista
10	26,40	36,00	4,40	50,00	7,00	2,70	Cálcica Cloretada

Ao analisarmos a classificação das águas pertencentes às fontes naturais, a partir do diagrama de Piper (1944), percebemos que 40% delas são consideradas

Sódicas Cloretadas, 30% são Cálcicas Cloretadas, 10% Mistas Cloretadas, 10% Cálcicas Mistas e 10% Mistas Mistas. Em geral, nessas águas, nota-se a baixa quantidade de Bicarbonato + Carbonato e sulfato em relação ao íon cloreto, o que indica que as águas das fontes estudadas estão majoritariamente associadas às coberturas regolíticas ou aos sedimentos da Formação Barreiras. O caráter sódico-cloretado está mais associado aos aerossóis atmosféricos do que a composição do manto regolítico, devido à alta velocidade de infiltração das águas de recarga no aquífero intergranular. As águas mistas denotam uma possível influencia de águas do aquífero fissural associadas às rochas cristalinas. A Fonte 6, localizada no Instituto de Biologia da UFBA possui uma concentração de $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- >$ do que o do Cl^- .

Esse fato indica uma influencia das rochas do embasamento cristalino. Uma possibilidade para essa assinatura hidroquímica seria o fato de ser uma água antiga, que já havia circulado no embasamento cristalino, e devido às condições de acidez, precipitou carbonato. Além disso, pode-se inferir que essa água enquanto penetrava no aquífero, foi empobrecendo em Na^+ e Cl^- , à medida que ia incorporando Ca^{++} e Mg^{++} .

Figuras 43 a 52 – Diagramas de Stiff (1951) das Fontes Naturais

Figura 43 – Fonte 1

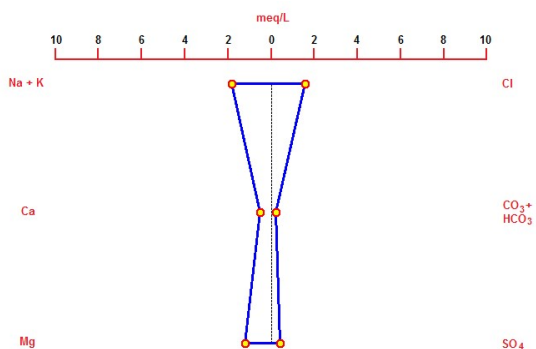


Figura 44 – Fonte 2

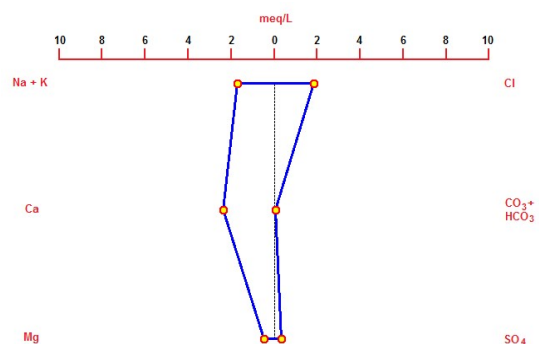


Figura 45 – Fonte 3

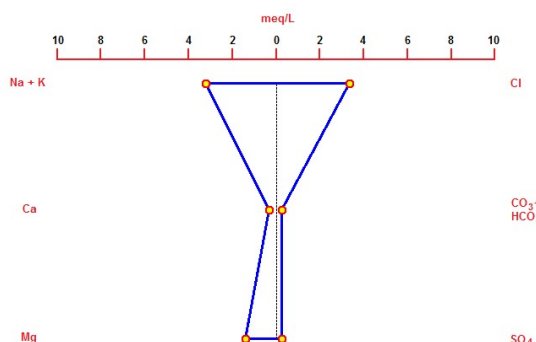


Figura 46 – Fonte 4

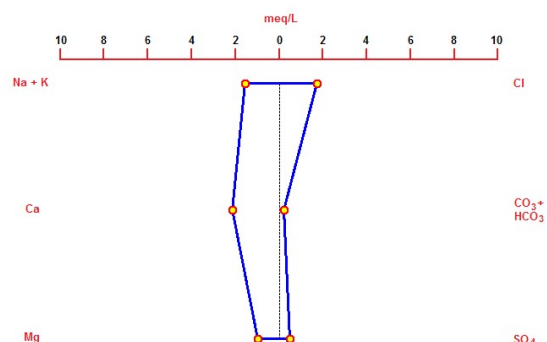


Figura 47 – Fonte 5

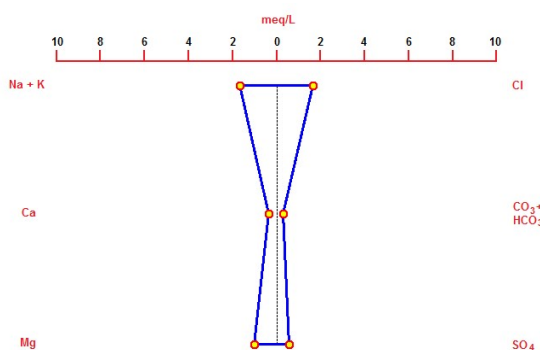


Figura 48 – Fonte 6

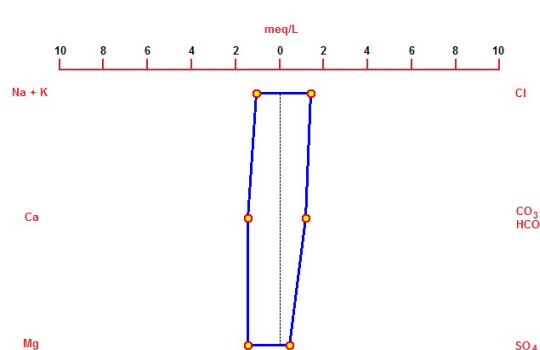


Figura 49 – Fonte 7

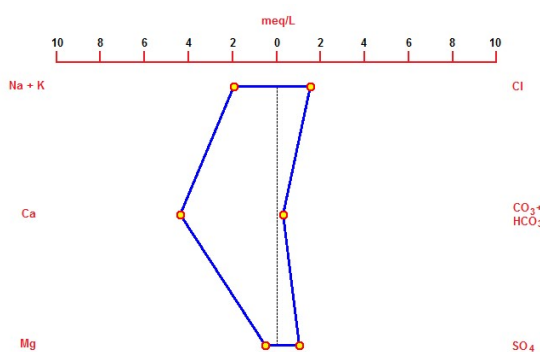


Figura 50 – Fonte 8

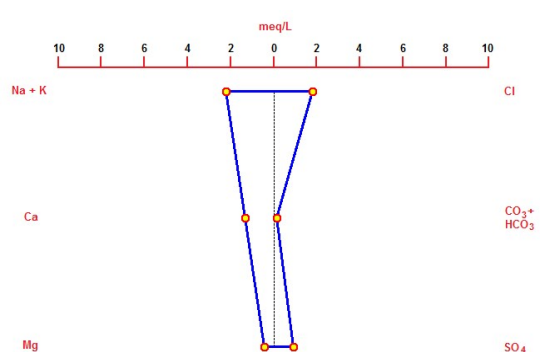


Figura 51 – Fonte 9

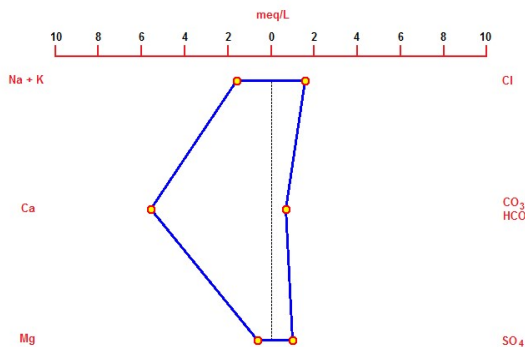
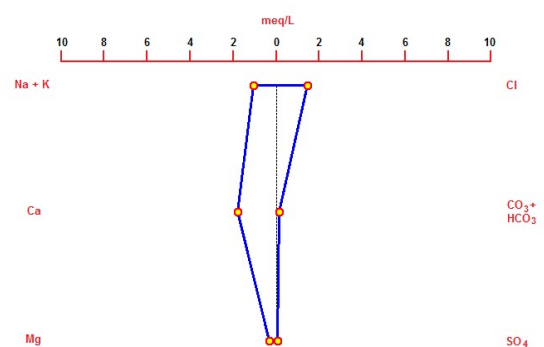


Figura 52 – Fonte 10



Ao analisarmos os diagramas de Stiff (1951), notamos três grupos de águas: um primeiro formado por águas sódicas-cloretadas (Fontes 1, 3, 5 e 8) que indicam uma influencia dos aerossóis marinhos atmosféricos na assinatura química da água; um segundo grupo, formado por águas mistas-cloretadas (Fontes 2, 4, 6, 9 e 10), as quais enriqueceram em Ca^{2+} ; e um terceiro grupo, formado apenas pela Fonte 6 (Instituto de Biologia), a qual indica uma água mais antiga, a qual evoluiu e enriqueceu em HCO_3^- , Ca^{2+} e Mg^{2+} por entrar em contato com os minerais presentes nas rochas do embasamento cristalino.

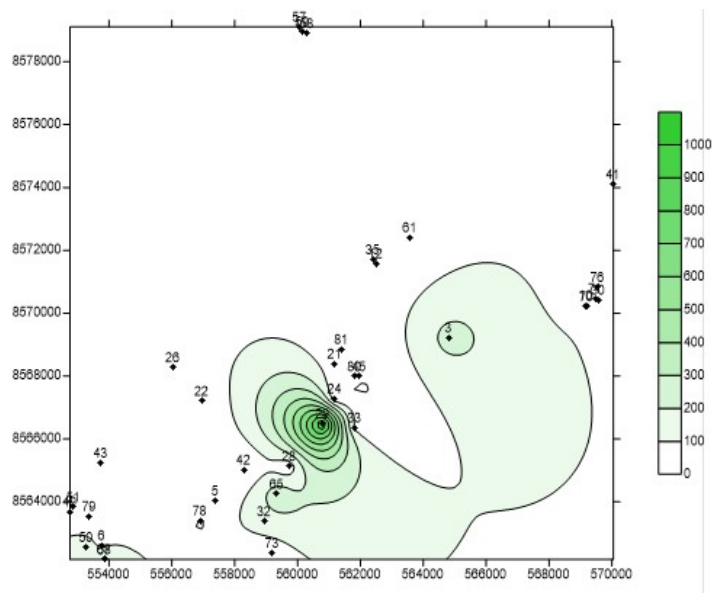
13.3 Mapas de Distribuição Hidroquímica

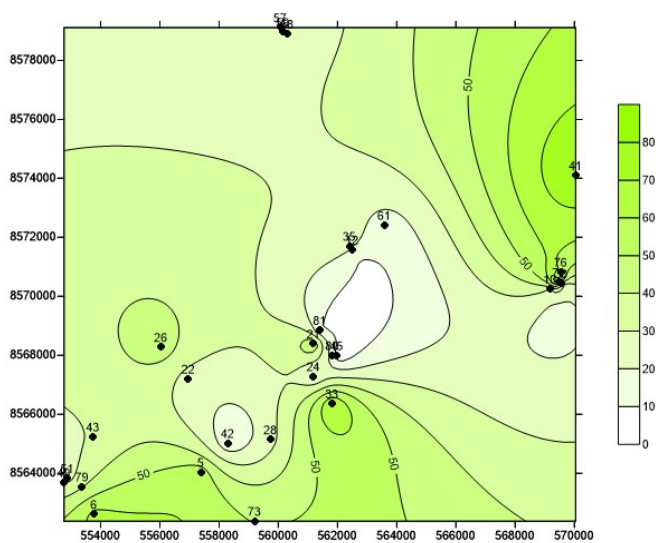
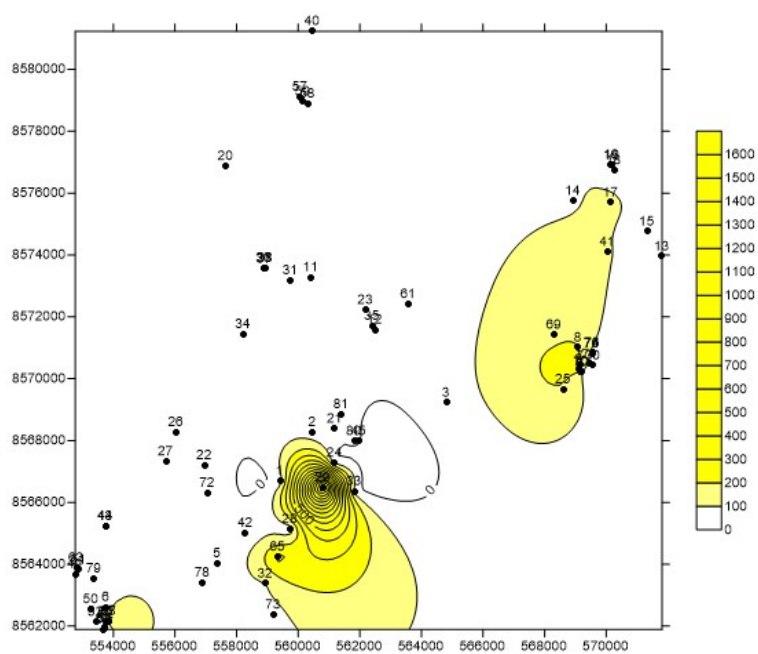
Através do *software* Surfer 9 foi possível gerar mapas de distribuição química para os componentes maiores das águas oriundas dos poços e das fontes naturais. Desse modo, é possível analisar como ocorre o crescimento da concentração dos íons no Alto Cristalino de Salvador, a partir dos dados das análises químicas disponibilizadas. Para alguns parâmetros, foi gerado um mapa com os dados originais, e outro sem as anomalias de 1ª e 2ª ordem, para que se tenha uma visualização do crescimento e concentração de determinado cátion a nível regional em todo Alto Cristalino.

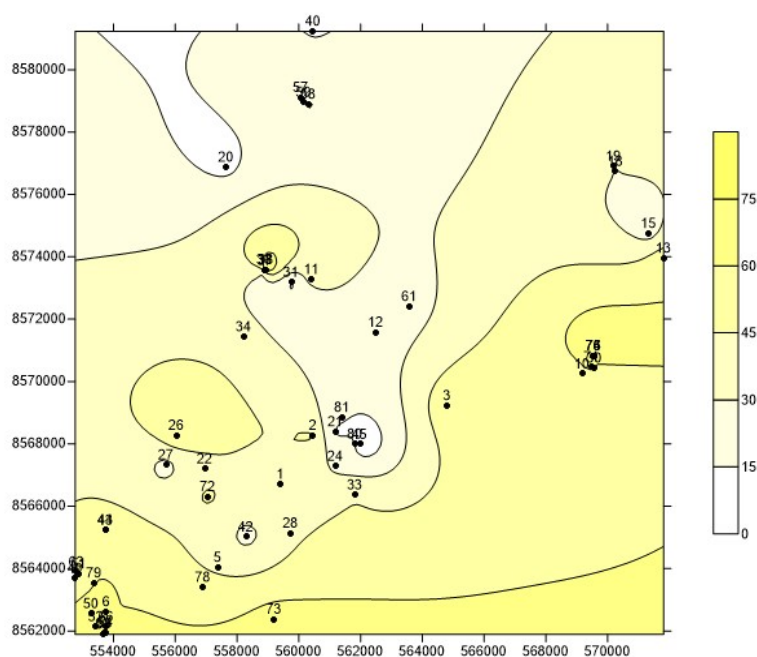
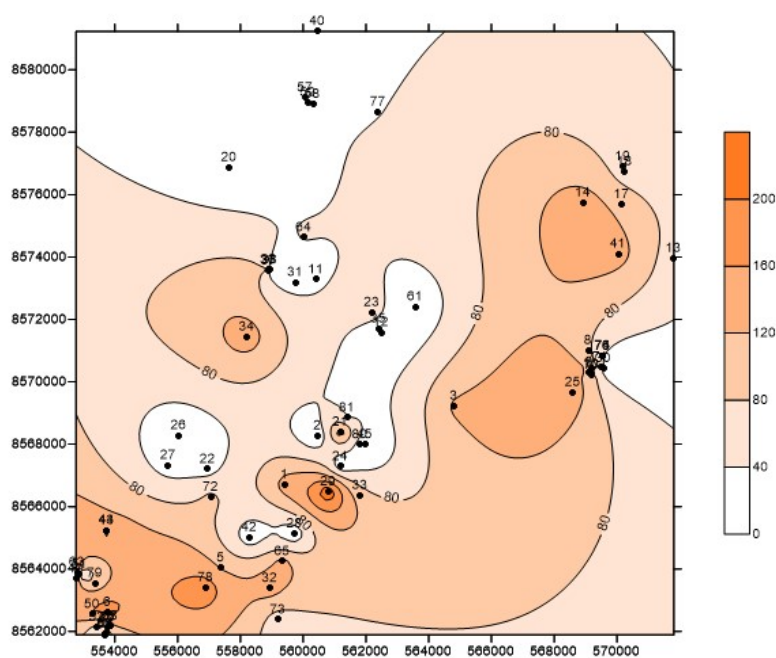
13.3.1 Mapas de Distribuição Química dos Componentes Maiores (Poços Tubulares)

A partir dos dados adquiridos, foi possível gerar mapas de contorno, os quais têm como objetivo representar a distribuição de um determinado cátion área de estudo, considerando as águas dos poços tubulares (Mapa 5-15).

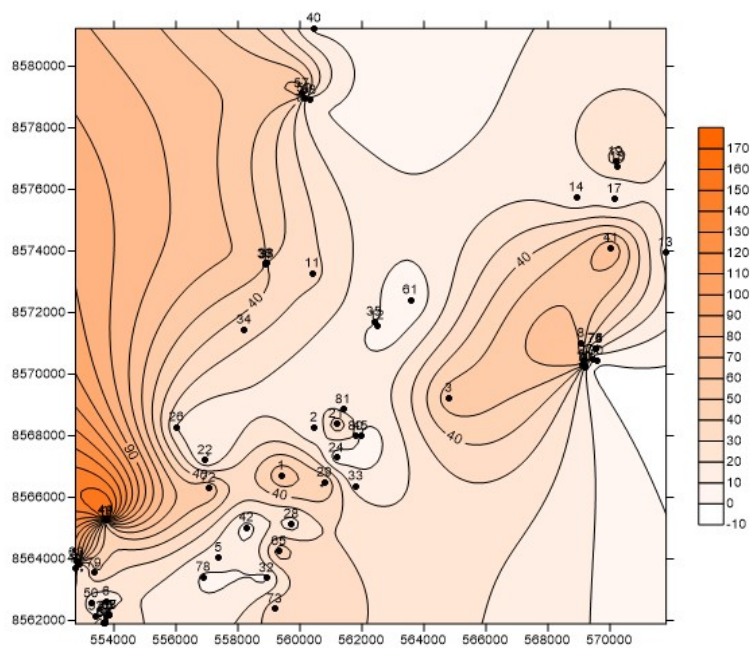
Mapa 5 - Mapa de Distribuição do Na^+



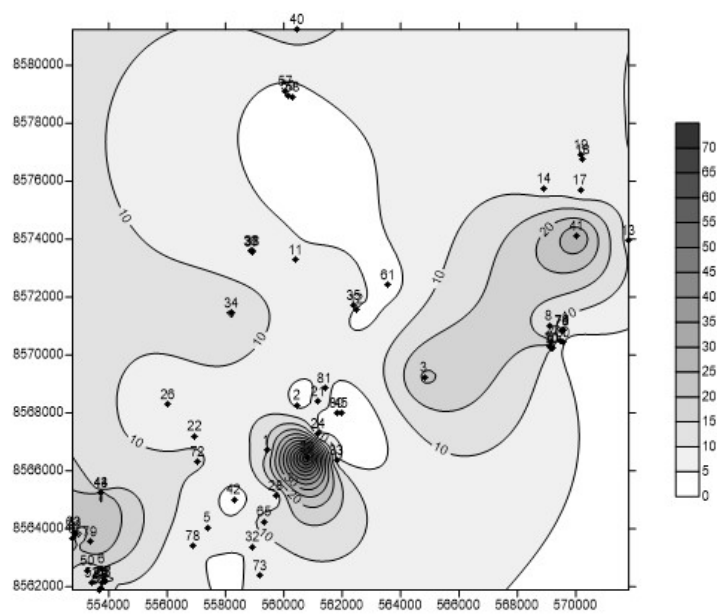
Mapa 6 - Mapa de Distribuição do Na⁺ (Sem Anomalias)Mapa 7 - Mapa de Distribuição do Cl⁻

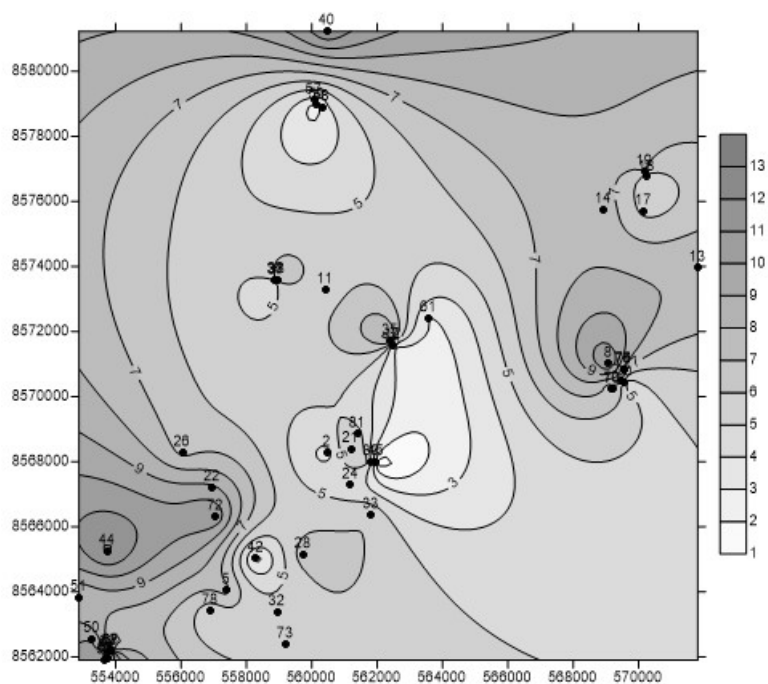
Mapa 8 - Mapa de Distribuição do Cl^- (Sem Anomalias)Mapa 9 - Mapa de Distribuição do HCO_3^- 

Mapa 10 - Mapa de Distribuição do Ca^{2+}

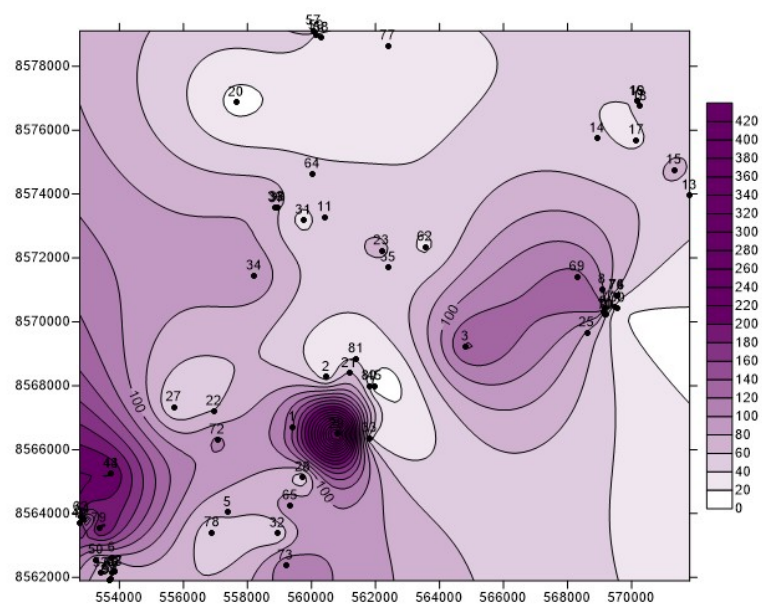


Mapa 11 - Mapa de Distribuição do Mg^{2+}

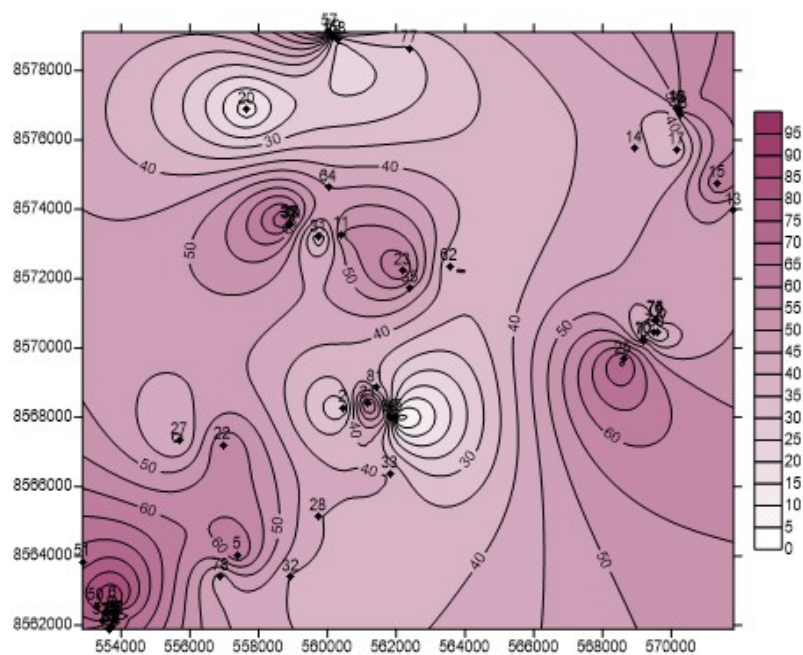


Mapa 12 - Mapa de Distribuição do Mg^{2+} (Sem Anomalias)

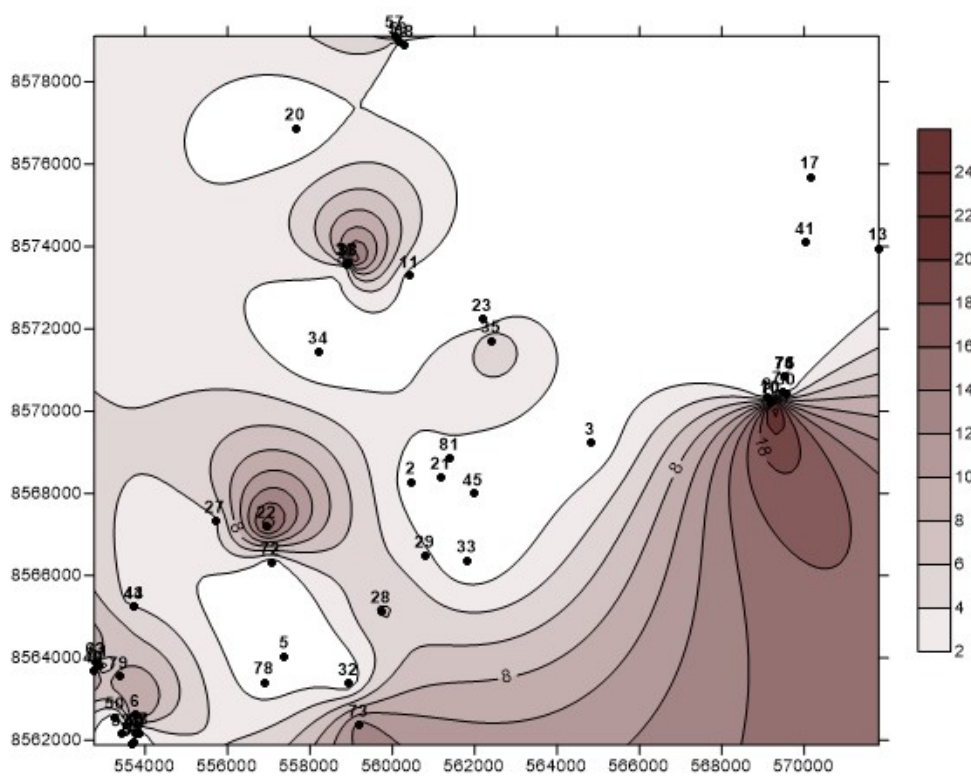
Mapa 13 - Mapa de Distribuição dos Valores de Dureza



Mapa 14 - Mapas de Distribuição dos Valores de Dureza (Sem Anomalias)



Mapa 15 - Mapa de Distribuição do NO_3^-

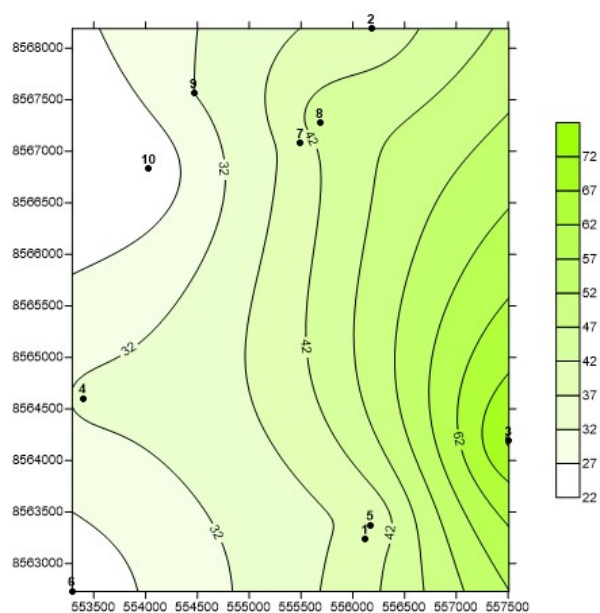
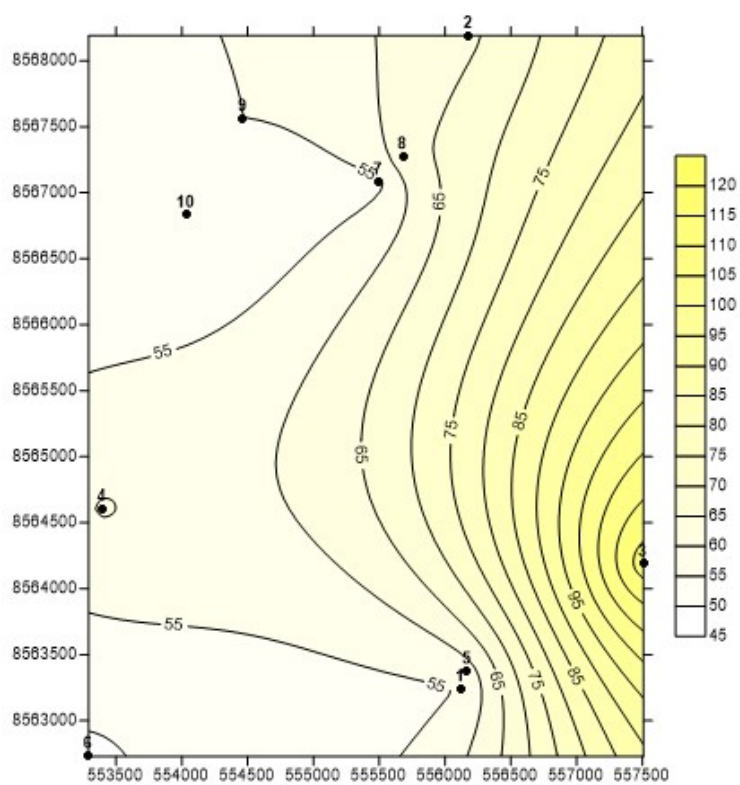


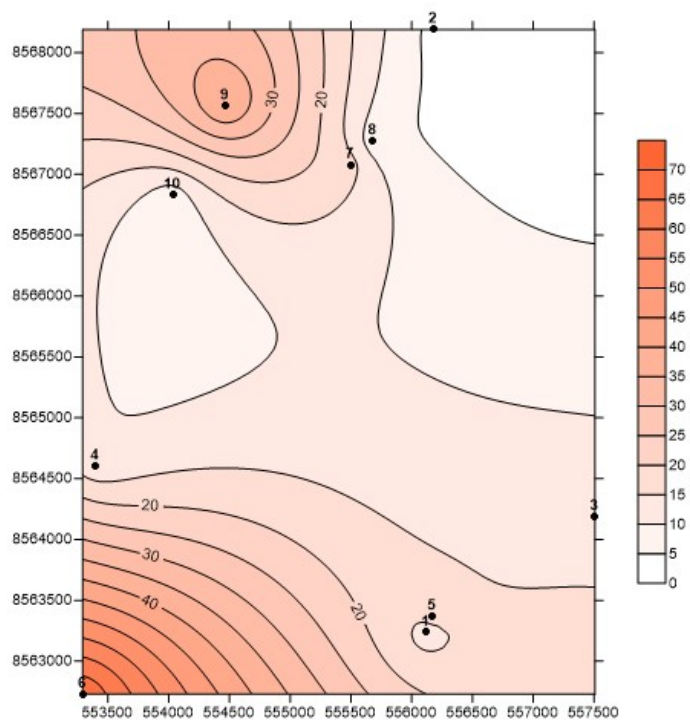
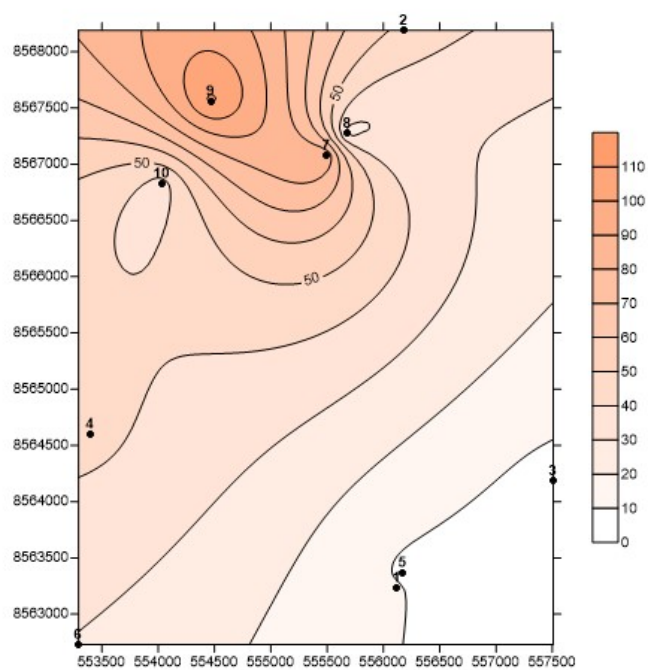
Analisando os mapas de distribuição hidroquímica dos componentes maiores das águas dos poços tubulares, foi possível chegar a algumas conclusões a respeito da dinâmica hidrogeoquímica do Alto Cristalino de Salvador. O Poço 29 (Correio da Bahia) possui anomalias muito evidentes em Na^+ , Mg^{++} , Cl^- , HCO_3^- e nos valores de dureza. Essas anomalias estão relacionadas a uma contaminação pela cunha salina, associada ao rio das Pedras, que geraram uma assinatura com valores que extrapolam o background a nível regional desses íons.

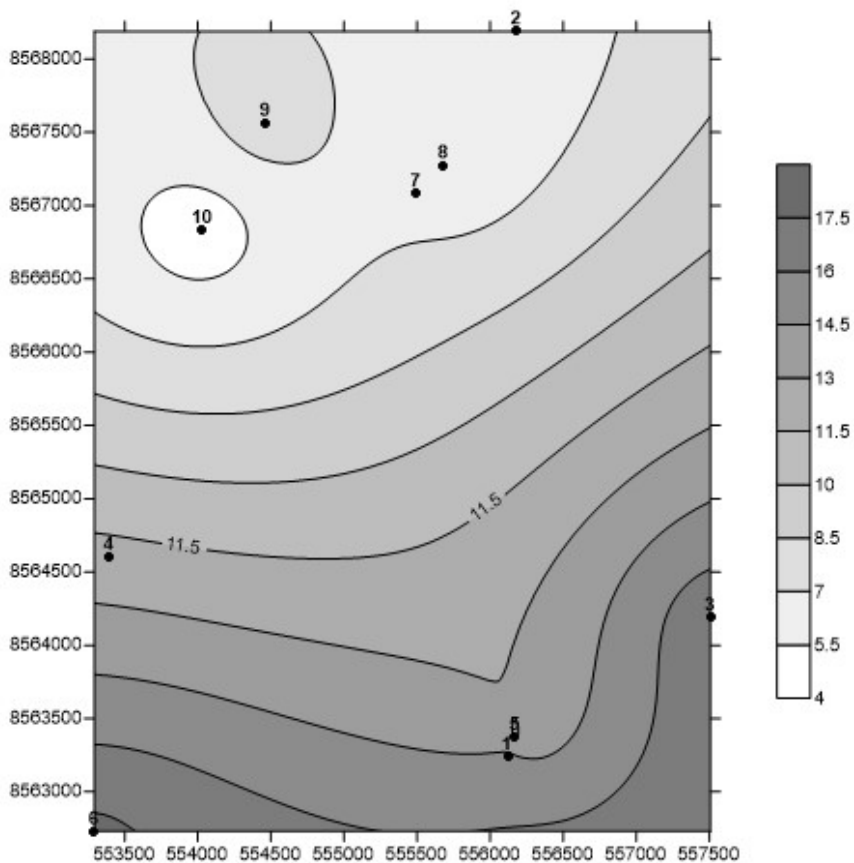
Além do Poço 29, notam-se duas regiões onde ocorrem anomalias: uma zona próxima às dunas, na porção NE da cidade, onde se encontram os Poços 70 e 71 (Parque de Exposições), 30 (EBDA) e 10 (BAHIATER), as quais possuem águas sódicas-cloretadas. Nessa região notam-se valores anômalos de concentração de cloreto e nitrato, o que pode indicar contaminação por esgoto ou fossa séptica. A outra região se localiza na porção SW da área de estudo, onde se encontram os poços 6 (Avenida Garibaldi), 50 (Instituto de Letras), 52 e 53 (Jardim Zoológico), os quais apresentam anomalias em Na^+ , Cl^- , e HCO_3^- . Uma possível interpretação seria que essas águas são relacionadas ao embasamento cristalino, que circularam ao longo do tempo, e enriqueceram nesses componentes.

13.3.2 Mapas de Distribuição Química dos Componentes Maiores (Fontes Naturais)

A partir dos dados adquiridos, produziram-se mapas de contorno, os quais têm como objetivo representar a distribuição de um determinado cátion área de estudo, considerando as águas das fontes naturais (Mapa 16-20).

Mapa 16 - Mapa de Distribuição do Na^+ nas Águas das FontesMapa 17 - Mapa de Distribuição do Cl^- nas Águas das Fontes

Mapa 18 - Mapa de Distribuição do HCO_3^- nas Águas das FontesMapa 19 - Mapa de Distribuição do Ca^{2+} nas Águas das Fontes

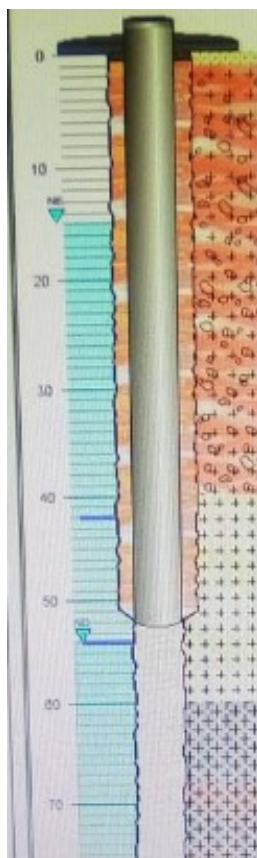
Mapa 20 - Mapa de Distribuição do Mg^{2+} nas Águas das Fontes

Analisando os cinco mapas de distribuição hidroquímica dos componentes maiores das águas das fontes naturais, nota-se que o aumento dos íons Na^+ , Cl^- e Mg^{2+} , se dão no sentido NW para SE, onde se localiza a Fonte 3 (Corona). A água da Fonte 3 é do tipo Sódica-Cloretada. Os fluxos de Ca^{2+} e HCO_3^- se dão em direção a Fonte 9 (Queimadinho), o qual apresenta uma característica Mista-Cloretada, que apresenta um pequeno enriquecimento em HCO_3^- e uma anomalia de Ca^{2+} . A água da Fonte 6 (Instituto de Biologia) possui caráter misto, com proporções similares de Cl^- e HCO_3^- , Na^+ e Ca^{2+} . Uma possível interpretação seria que essa água é antiga, e que circulou pelo embasamento cristalino, se enriquecendo em íons, até aflorar na fonte. Essas águas são predominantemente sódicas-bicarbonatadas.

13.4 Modelos de Aquífero X Assinatura Hidroquímica

Nesse capítulo, serão demonstrados exemplos de perfis de poços tubulares, os quais são modelos para determinadas condições hidrogeoquímica. Fatores como profundidade dos poços, espessura do manto regolítico e geologia vão interferir diretamente nas características físico-químicas das águas subterrâneas. Serão utilizados os exemplos do Poço 81, Poço 67 e Poço 33.

Figura 53 – Perfil Geológico do Poço 81 (Tribunal de Justiça)



O Perfil Geológico do Poço 81 (Figura 53) ilustra que as entradas de água estão sendo feitas a 42 e 54 m, no embasamento cristalino. O nível estático é de 15 m, e o nível dinâmico de 54 m. O Poço encontra-se revestido até 52 m de profundidade.

O Poço 81, do Tribunal de Justiça da Bahia está localizado numa região onde a cobertura regolítica é espessa. Desse modo, a água que atinge o aquífero fissural, por recarga indireta, não terá grandes alterações na sua assinatura hidroquímica (Figura 54). Assim, a água chegará ao embasamento pouco mineralizada, com uma composição levemente sódica-cloretada, e com o tempo, enriquecerá em HCO_3^- e Ca^{2+} .

Figura 54 - Diagrama de Stiff (1951) do Poço 81 (Tribunal de Justiça da Bahia)

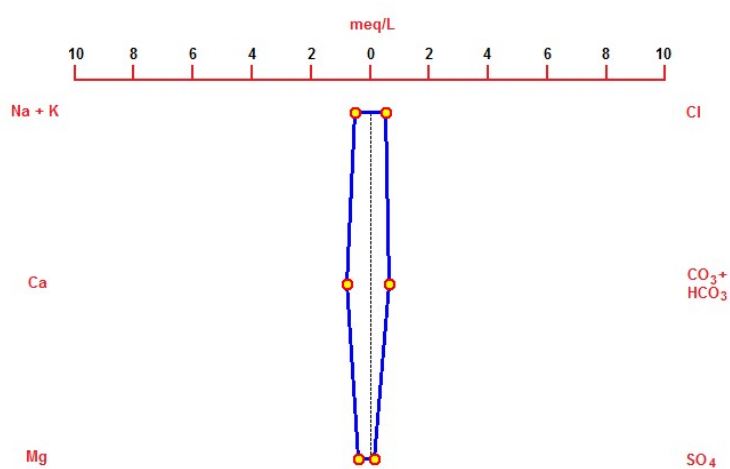


Figura 55 – Perfil Geológico do Poço 33 (Escola Evolução – Imbuí)



Fonte: CERB

O Perfil Geológico do Poço 33 (Figura 55) ilustra que a entrada de água se dá a 41 m, estando o poço revestido até 35 m. Nota-se que o nível estático encontra-se em 18 m, e o nível dinâmico em 66 m de profundidade. Desse modo, a água está sendo captada do aquífero fissural.

O Poço 33 (Escola Evolução – Imbuí), por sua vez possui uma cobertura regolítica pouco espessa recobrindo a rocha cristalina. Desse modo, haverá maior presença de Na^+ e Cl^- (Figura 56), os quais precipitaram após a evaporação da água que não infiltrou. Além disso, esse aquífero será mais susceptível a contaminações, do que o aquífero do Poço 81.

Figura 56 - Diagrama de Stiff (1951) do Poço 33 (Escola Evolução – Imbuí)

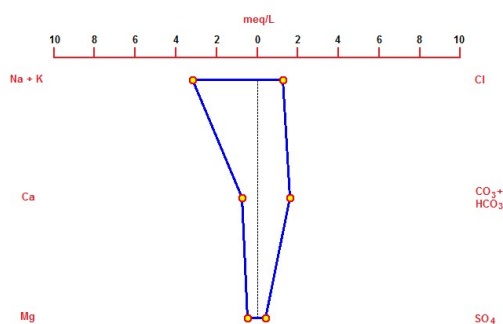
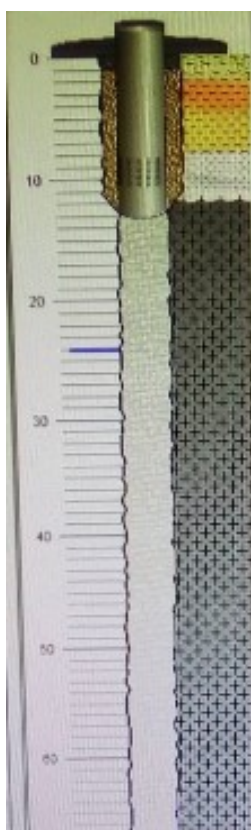


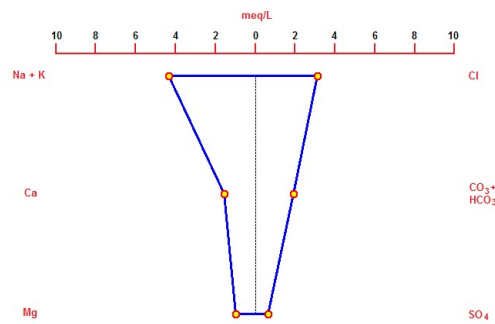
Figura 57 - Perfil Geológico do Poço 67 (Palácio de Ondina IV)



Fonte: CERB

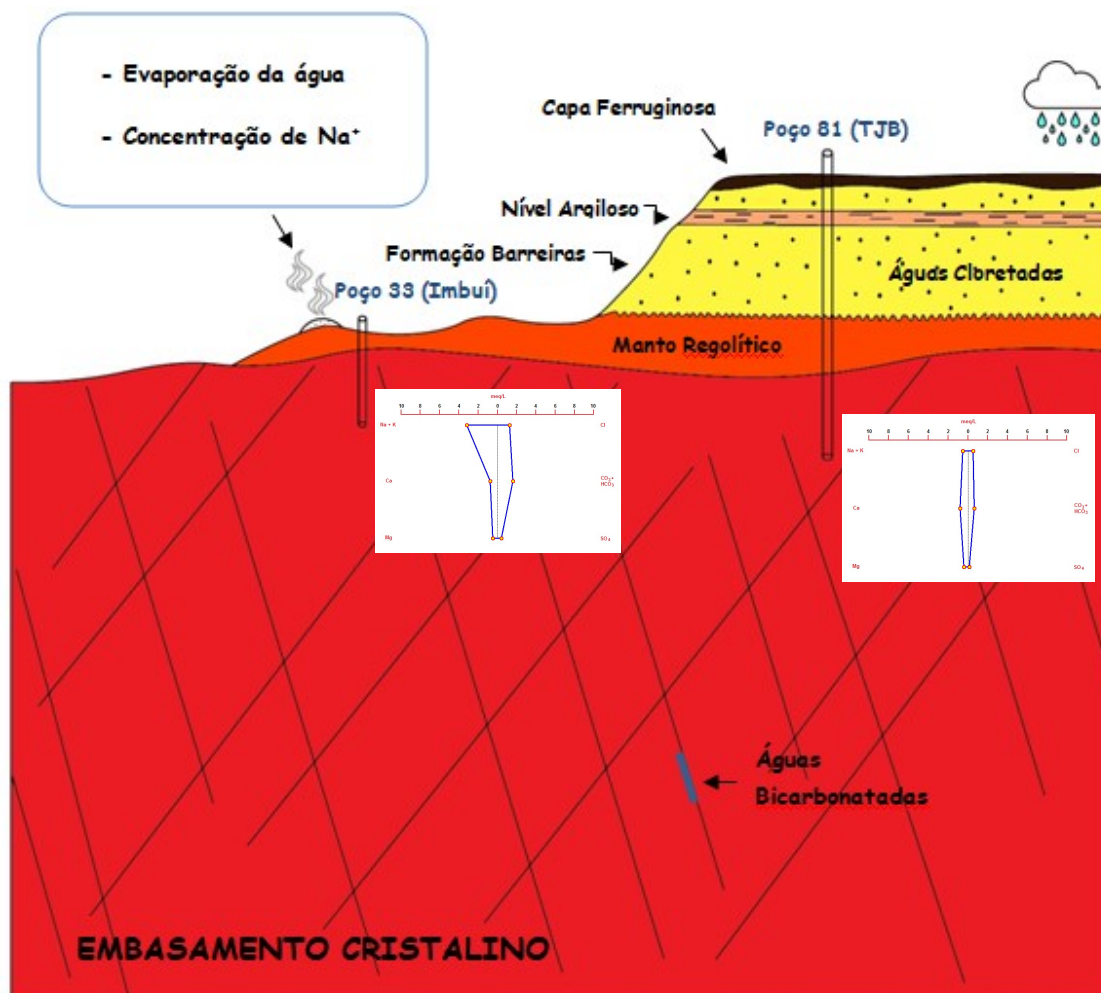
Por fim, temos o terceiro exemplo, que seria o Poço 67 (Palácio de Ondina IV), o qual está associado às coberturas e ao aquífero fissural. O Perfil Geológico do Poço 67 (Figura 57) ilustra a presença de filtro entre 8 e 10 m. Tal fato indica que esse aquífero está susceptível a contaminação do que os Poços 33 e 81, devido a presença do filtro em profundidades rasas. Nesse caso teremos uma água sódica-cloretada, a qual está enriquecendo em HCO_3^- e Ca^{2+} , devido a influencia das condições físico-químicas do aquífero fissural, conforme mostra a Figura 58.

Figura 58 – Diagrama de Stiff (1951) do Poço 67 (Palacio de Ondina IV)



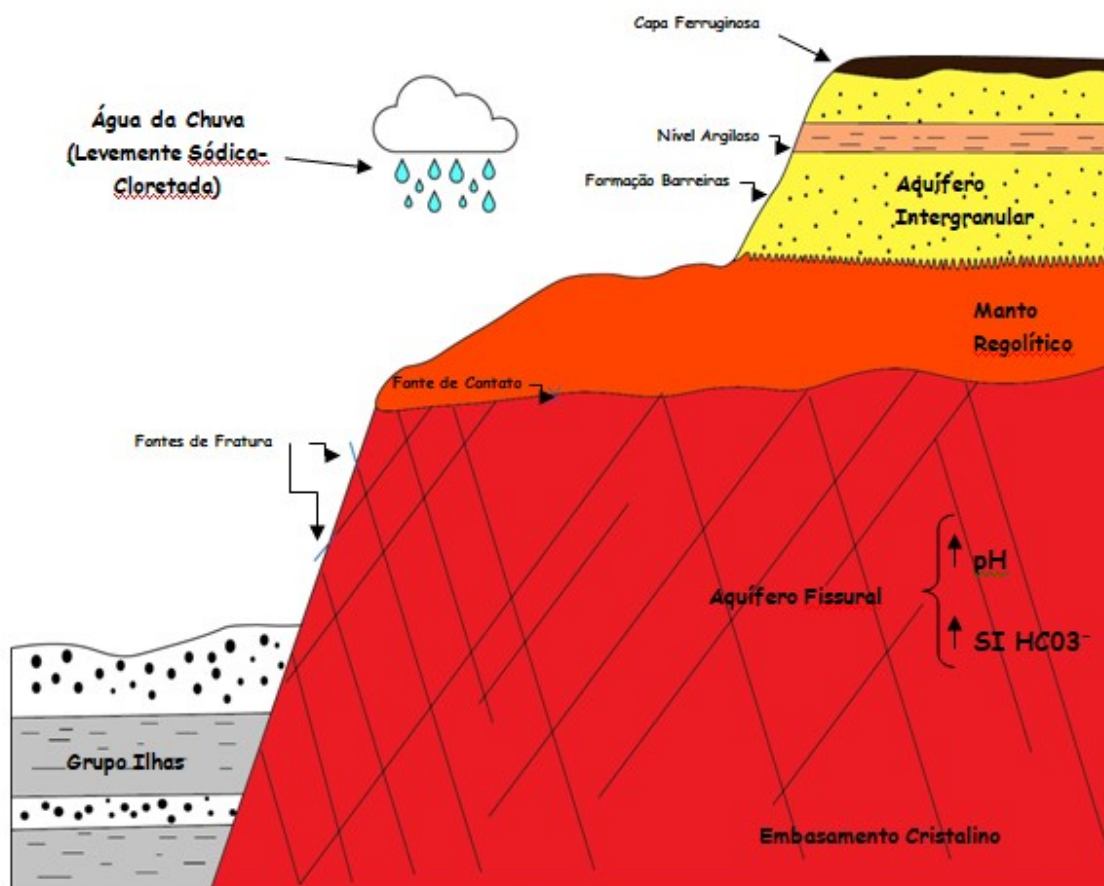
Interpretando as informações dos perfis geológicos dos poços, em conjunto com as assinaturas hidroquímicas obtidas através dos diagramas de Stiff (1951), propõe-se dois modelos hidroquímicos, evidenciando-se a influencia da espessura das camadas, topografia e geologia na qualidade das águas de Salvador. Na Figura 59, utilizaram-se os exemplos dos poços 33 (Escola Evolução) e 81 (Tribunal de Justiça da Bahia) para ilustrar a influencia da litologia e da topografia associada, na classificação das águas. Na Figura 60 ilustraram-se os tipos de fontes naturais, e a evolução química da água meteórica, a qual inicialmente apresenta-se cloretada-sódica, e ao percolar as fraturas dos granulitos, tende a enriquecer em bicarbonato, devidos as condições físico-químicas do aquífero fissural.

Figura 59 – Modelo Hidroquímico do Alto Cristalino de Salvador



Fonte: Vidal & Mello (2019)

Figura 60 – Modelo Hidroquímico do Alto Cristalino de Salvador



Fonte: Vidal & Mello (2019)

14. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As águas associadas às coberturas regolíticas e aos sedimentos da Formação Barreiras são predominantemente sódicas-cloretadas, e por sua vez, as águas associadas ao embasamento cristalino, tem característica sódica-bicarbonatada.

As águas das coberturas possuem uma assinatura hidroquímica que está relacionada com os aerossóis marinhos atmosféricos.

As águas de caráter misto estão relacionadas com a percolação das águas pelo aquífero fissural, enriquecendo em HCO_3^- , Ca^{2+} e Mg^{2+} . Além disso, elas podem indicar misturas de águas do embasamento com águas das coberturas.

Quanto mais espessa for a cobertura regolítica sobre o aquífero fissural, menor a tendência de haver alterações na composição química da água. Foram identificadas contaminações por cunha salina, associada ao rio das Pedras (Poço 29), além de concentrações anômalas de Na^+ e Cl^- nos Poços 63 e 65; anomalias de NO_3^- nos Poços 70, 73 e 22; contaminação de Ca^{2+} no Poço 44, associada à geologia do local onde se encontra.

Recomenda-se a realização de estudos mais aprofundados a respeito das águas subterrâneas e das fontes naturais do Alto Cristalino de Salvador. É essencial que se realize novas análises químicas, tanto em poços novos, quanto em poços com análises antigas, a fim de compreender a evolução das águas subterrâneas nesse sistema aquífero.

REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. 2017. **Conjuntura de Recursos Hídricos 2017**. Brasília, DF.
- BARBOSA, J.S.F. & DOMINGUEZ J.M.L. (Eds.) 1996. **Texto Explicativo para o Mapa Geológico ao Milionésimo**. SICM/ SGM, Salvador, (Edição Especial), 400 pp.
- BARBOSA, J.S.F., Gomes L.C.C., Dominguez J.M.L., Cruz S.A.S., Souza J.S. 2005. **Petrografia e litogeoquímica das rochas da parte oeste do Alto de Salvador, Bahia**. *Revista Brasileira de Geociências*, 35(4):09-22.
- BARBOSA, J. S. F.; CRUZ, S. C. P. ; SOUZA, J. S. DE. 2012. **Terrenos Metamórficos do Embasamento**. In: Barbosa J.S.F, Mascarenhas J.F., Correa-Gomes,L.C. Dominguez,J.M.L. J Souza..S. de (Org.). *Geologia da Bahia, pesquisa e atualização*. 1ed.Salvador: Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, v. 1, p. 101-201.
- Bigarella, J. J. (1975). **The Barreiras Group in Northeastern Brazil**. Anais da academia brasileira de Ciências (suplemento), Porto Alegre / RS. v. 47, p. 365 – 393.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL Folha SD. 24 Salvador**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. MME/SG/Projeto RADAM BRASIL, Rio de Janeiro, 1981.
- CLIMATE-DATA.ORG. Clima: Recife. Disponível em: < <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/bahia/salvador-854/>> Acesso em: 10 de outubro de 2019.
- DOMINGUEZ, J. M. L.& BITTENCOURT, A. C. DA S. P. 2012, **A Zona Costeira do Estado da Bahia**. In: Barbosa J.S.F, Mascarenhas J.F., Correa-Gomes,L.C. Dominguez,J.M.L. Souza. J. S. de (Org.). *Geologia da Bahia, pesquisa e atualização*. 1ed.Salvador: Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, v. 2, p. 395-425.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Área Territorial**: Área territorial brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.
- IBGE, em parceria com os Órgãos Estaduais de Estatística, Secretarias Estaduais de Governo e Superintendência da Zona Franca de Manaus – SUFRAMA. 2016.
- IBGE, **Censo Demográfico 2010**, Área territorial brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.
- KÖPPEN, W.. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, G. **Das geographischa System der Klimate Handbuch der Klimatologie**. C. Gebr, Borntraeger, Berlin, 1936. p. 1–44.
- LIMA, O. A. L. de. **Caracterização hidráulica e padrões de poluição no aquífero do recôncavo na região de Camaçari - Dias D´Avila, Bahia**. 1999. 123 f. Tese (Professor

Titular) – Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1999.

LIMA, Renilda Fátima Gonçalves de. **Caracterização hidrogeológica e ambiental das fontes de água naturais da cidade alta de Salvador**. 2005. 32p. Monografia de Bacharelado. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. 2005.

LIMA, C.C.U.; VILAS BOAS, G.S.; BEZERRA, F.H.R. **Faciologia e análise tectônica preliminar da Formação Barreiras no litoral sul do Estado da Bahia, Brasil**. Geologia-USP Ser.Cient. São Paulo, v 6, nº 2, p. 71-80. 2006.

Mabesoone, J. M.; Campos e Silva, A.; Beurlen, K. (1972). **Estratigrafia e origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte**. Revista Brasileira de Geociências, n. 2, p. 173-188.

NASCIMENTO, Sérgio Augusto de Moraes. **Estudo da qualidade da água do aquífero freático nas bacias dos rios Lucaia e Baixo Camarujipe**. Relatório Final Convenio Ufba/Embasa/Fapex. Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2002.

NASCIMENTO, S.A. de M.; BARBOSA, J. S. F. Qualidade da água do aquífero freático no alto cristalino de Salvador, Bacia do Rio Lucaia, Salvador, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 543-550, dez. 2005

NASCIMENTO, S.A. de M. 2008. **Diagnóstico hidrogeológico, hidroquímico e da qualidade da água do aquífero freático do Alto Cristalino de Salvador-Bahia**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 195 pp.

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

SACRAMENTO, Maria da Glória Peixoto. **Estudo das encostas sobre rochas cristalinas: Arredores de Salvador**. Salvador (Bahia): Instituto de Geociências - Universidade Federal da Bahia, Dissertação de Mestrado, 119 p., 1975.

SANTOS, E.; PINHO, J.A. ; MORAES, L. R. S. ; FISCHER, T. **O caminho das águas em Salvador: bacias hidrográficas, bairros e fontes**. Universidade Federal da Bahia , Salvador, BA. 2010.

SEI, 1998. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. **Análise dos atributos climáticos do Estado da Bahia Salvador**: Serie Estudo e Pesquisas, 58p.

SOUZA, J. S. DE, BARBOSA, J. S. F., CORREA-GOMES, L. C. 2010. Litogeoquímica dos granulitos ortoderivados da cidade de Salvador, Bahia. Rev Bras Geoc , v.40, p.339 – 354.

SOUZA, J. S. DE. 2013. **Geologia, metamorfismo e geocronologia de litotipos de Salvador – Bahia** Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia 125p.

SILVA, O. B.; CAIXETA, J. M.; MILHOMEM, P. S.; KOSIN, M. D. **Bacia do Recôncavo (2007)**. Boletim de Geociências Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, pág. 423-431.

STIFF, H. A. Jr. **The interpretation of chemical water analysis by means of patterns**. Journal Petroleum Technology. 1951, v. 3, n. 10, pp15 – 17.

VILAS BOAS, G. S.; SAMPAIO, F. J.; PEREIRA, A. M. S. 2001. **The Barreiras Group in the Northeastern coast of the State of Bahia, Brazil: depositional mechanisms and processes**. An. Acad. Bras. Ciênc.,73, (3).417-427

APÊNDICES

Tabela 3- Fontes Naturais Estudadas

<i>Fontes</i>	<i>Local</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>
1	Candeal	556120	8563237
2	Conjunto Bahia	556180	8568190
3	Corona	557508	8564187
4	Dique do Tororó	553396	8564603
5	Guetho	556170	8563370
6	Instituto de Biologia	553292	8562729
7	Pedreira	555496	8567078
8	Pedreira II	555682	8567274
9	Queimadinho	554466	8567560
10	Santo Antônio do Cabula	554033	8566830

Tabela 4 - Poços Tubulares Estudados

<i>Poços</i>	<i>Amostras</i>	<i>Local</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>
1	0001/124	19BC-PROJETO CAMINHAR	559410.96	8566701.79
2	401/00 GEPE	ACRECE	560466.00	8568269.91
3	080/90	ADELBA	564809.13	8569222.23
5	04/SE/UFBA	AV. ACM	557385	8564035
6	02/SE/UFBA	AV. GARIBALDI	553771	8562612
7	115/02 GEPE	BAHIATER	569174	8570425
8	400/00 GEPE	BAHIATER	569090	8571009
9	520	BAHIATER	569125.39	8570311.4
10	562	BAHIATER	569181.4	8570242.6
11		BARRADÃO	562495.0	8571579.4
12		BARRADÃO II	562495.0	8571579.4
13	068/86	BASE AEREA DE SALVADOR I	571812.55	8573953.12
14	069/86	BASE AEREA II	568923.85	8575742.18
15		BASE AEREA SALVADOR III	571332.41	8574753.08
16		BASE AEREA SALVADOR IV	570162.46	8576906.46
17	410/96 - GESP	BASE AEREA SALVADOR V	570157	8575689
18	432/96 - GESP	BASE AEREA SALVADOR VI	570256	8576741
19	118/86	BASE AEREA SALVADOR VII	570192.60	8576906.38
20	1758/78	BR 324 - VIAÇÃO ITAPEMIRIM	557654.49	8576873.67
21	1	CERB-SEDE/CAB/DAL-PM-BA	561192.25	8568387.50
22	26/SE/UFBA	CIMPOL-CONCRETA	556961	8567198
23	065/88 - GERP	COELBA	562195.14	8572225.24
24		COELBA-PARALELA	561189.81	8567281.59
25	1278	COLINA DA FONTE	568607.47	8569660.39
26		CONJUNTO BAHIA	556039.79	8568275.51
27	1	CONJUNTO LAURA CATARINA	555706.45	8567323.88
28	512	CORPO DE BOMBEIROS III	559738.99	8565134.37
29	35/SE/UFBA	CORREIO DA BAHIA	560805	8566478

30	25/SE/UFBA	EBDA-EMATERBA	569573.6	8570425.99
31	1019	ENGEX POÇO I	559756.32	8573182.90
32	19/SE/UFBA	ESAEX-COLÉGIO MILITAR	558943	8563378
33	200	ESCOLA EVOLUÇÃO (IMBUÍ)	561820.46	8566358.60
34	054/97 - GESP	ESTADIO MANOEL BARRADAS III	558215.76	8571435.15
35	52	ESTADIO MANOEL BARRADAS IV	562404.91	8571702.53
36	053/98 - GESP	FAB DE CADEADOS PAPAIZ I	558883.25	8573584.11
37	040/98 - GESP	FAB DE CADEADOS PAPAIZ II	558913.32	8573553.33
38	052/98	FAB DE CADEADOS PAPAIZ III	558943.52	8573583.98
40	365/83 - GERP	FAZENDA COUTOS	560466.86	8581229.88
41	215	FAZENDÃO	570043.88	8574095.87
42		FIORELLI	558292.66	8565014.58
43	15/SE/UFBA	FONTE NOVA	553744	8565234
44	059/94 - GESP	FONTE NOVA II	553744.04	8565238.83
45	33	GOVERNO DO ESTADO - CAR	561974.74	8567986.40
49	12/SE/UFBA	INSTITUTO AFRÂNIO PEIXOTO	552762	8563682
50	40/SE/UFBA	INSTITUTO DE LETRAS-UFBA	553281	8562550
51	13/SE/UFBA	INSTITUTO NINA RODRIGUES	552878	8563824
52	236	JARDIM ZOOLOGICO I	553436.78	8562136.75
53	0001/16	JARDIM ZOOLOGICO II	553677.28	8561890.53
54	235	JARDIM ZOOLOGICO III	553737.65	8561951.85
55	0001/17	JARDIM ZOOLOGICO IV	553707.46	8561921.19
57		LAGOA DA PAIXÃO I	560070.44	8579111.09
58	563	LAGOA DA PAIXÃO II	560311.11	8578895.54
59	682	LAGOA DA PAIXÃO III	560160.54	8578957.30
61		MANSÃO DOS MAGISTRADOS I	563581.74	8572406.42
62	064/82 - GERP	MANSÃO DOS MAGISTRADOS II	563551.46	8572345.05
63	249/99 GEPE	NINA RODRIGUES	552807.54	8563888.97
64	882	NORDESTE TRANSPORTE	560030.65	8574626.13
65	19/91 GESP	NOSSA TERRA	559345.44	8564244.35
66		PALACIO DE ONDINA III	553768.13	8562136.11
67	140	PALACIO DE ONDINA IV	553858.56	8562166.65
68	251	PALACIO DE ONDINA VI	553858.56	8562166.71
69		PARQUE DE EXPOSIÇÃO	568310.45	8571412.17
70	33/SE/UFBA	PARQUE DE EXPOSIÇÃO II	569200	8570218
71	34/SE/UFBA	PARQUE DE EXPOSIÇÃO III	569479	8570472
72	039/95 - GESP	PARQUE SANTIAGO	557060.15	8566307.37
73	18/SE/UFBA	PITUBA PLAZA HOTEL	559199	8562374
74		POLICIA MILITAR (CAVALARIA MONTADA)	569547	8570827
75	61	POLICIA MILITAR (CAVALARIA MONTADA) II	569549	8570822
76	121	POLICIA MILITAR	569544.47	8570825.42
77	665	POSTO ATLÂNTICO (VALÉRIA)	562390.32	8578645.22
78	03/SE/UFBA	PRAÇA BAIÁ AZUL	556901	8563404
79	01/SE/UFBA	PRAÇA LORD CROCRANE	553374	8563540
80	509	SAEB	561824.09	8567986.74
81	408	TRIBUNAL DE JUSTIÇA DA BAHIA	561404.18	8568847.83