

XVI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE
15º SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES
DE LÍNGUA PORTUGUESA

**CLASSIFICAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DE
POÇOS INSERIDOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIAUÍ,
NORDESTE BRASILEIRO**

*Joel Marques da Silva¹; Paulino Estevez Rocha²; Douglas da Cruz Santos³; Érica Alves de
Oliveira Santos⁴; Wirna Stefane Santos de Campos⁵; Adnivia Santos Costa Monteiro⁶; Carlos
Alexandre Borges Garcia⁷ & Silvânio Silvério Lopes da Costa⁸*

RESUMO: Conhecer os fatores que controlam a composição química e como se relacionam com o ambiente geológico torna-se uma ferramenta poderosa na preservação e gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Foram determinadas as concentrações de cátions e ânions por cromatografia iônica, em 12 amostras de água de poços tubulares em diferentes domínios hidrogeológicos localizados na Bacia Hidrográfica do Rio Piauí, na região sul do Estado de Sergipe. Segundo o diagrama de Piper observou-se as classes: Mista Cloretada (P1 e P10), Sódica Bicarbonatada (P9) e Sódica Cloretada (P2-P8; P11 e P12). Conforme a classificação de Stiff observou-se três grupos distintos de águas, o primeiro relacionado ao Domínio Cárstico com elevadas concentrações de sais dissolvidos, um segundo relacionado ao Domínio Sedimentar com pequenas concentrações e outro relacionado ao Domínio Fissural com valores pouco maiores que do domínio sedimentar. Os resultados sugerem o acompanhamento da evolução hidroquímica das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Rio Piauí, pois muitos pontos analisados já mostram concentrações elevadas, principalmente de cloretos, sódio e bicarbonatos.

Abstract: Knowing the factors that control the chemical composition and how they relate to the geological environment becomes a powerful tool in the preservation and management of groundwater resources. The concentrations of cations and anions were determined by ion chromatography, in 12 water samples from tubular wells in different hydrogeological domains located in the Piauí River Basin, in the southern region of the State of Sergipe. According to the Piper diagram, the following classes were observed: Mixed Chlorinated (P1 and P10), Bicarbonated Sodium (P9) and Chlorinated Sodium (P2-P8; P11 and P12). According to the Stiff classification, three distinct groups of waters were observed, the first related to the Karst Domain with high concentrations of dissolved salts, a second related to the Sedimentary Domain with small concentrations and another related to the

1) Geólogo e Mestrando em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n - Jd. Rosa Elze, São Cristóvão, SE, CEP: 49100-000, marquesengpetro@gmail.com

2) Graduando em Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n - Jd. Rosa Elze, São Cristóvão, SE, CEP: 49100-000, paulinoestevyrocha@gmail.com

3) Analista Químico, Companhia de Saneamento de Sergipe – DESO, R. Campo do Brito, 331 - Treze de Julho, Aracaju - SE, 49020-380, douglascruzsantos@hotmail.com

4) Engenheira de Pesca e Mestranda em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n - Jd. Rosa Elze, São Cristóvão, SE, CEP: 49100-000, ericaevelln_alves@hotmail.com

5) Graduanda em Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n - Jd. Rosa Elze, São Cristóvão, SE, CEP: 49100-000, wirna1101@gmail.com

6) Professora Doutora do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n - Jd. Rosa Elze, São Cristóvão, SE, CEP: 49100-000

7) Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n - Jd. Rosa Elze, São Cristóvão, SE, CEP: 49100-000, carlosabgarcia@gmail.com

8) Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n - Jd. Rosa Elze, São Cristóvão, SE, CEP: 49100-000, silvanioslc@gmail.com

Fissural Domain with values slightly higher than the sedimentary domain. The results suggest the monitoring of the hydrochemical evolution of groundwater in the Piauí River basin, as many points analyzed already show high concentrations, mainly of chlorides, sodium and bicarbonates.

Palavras-Chave – Ambiente geológico, domínios hidrogeológicos, diagrama de Piper.

1. INTRODUÇÃO

Assis *et al.* (2021) aponta os aquíferos como uma possibilidade para usos múltiplos, alguns aspectos que favorecem tais usos relacionam-se a viabilidade econômica e qualidade da água que tende a apresentar boas características físico-químicas. Água potável é essencial para a maioria das atividades da sociedade moderna e o seu uso é essencial para abastecimento humano, dessedentação animal e atividades industriais.

Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2019) indicam que o consumo médio de água no Brasil, era de aproximadamente 153,9 L/hab ao dia, apesar das grandes reservas hídricas existentes no país, estas apresentam certo grau de vulnerabilidade, seja por falta de saneamento básico ou disponibilidade de água tratada para a população, com índices médios de água potável de 83,6% e esgotamento sanitário de 53,2%.

A ANA (2020) aponta que no Brasil aproximadamente 15,6% dos domicílios utilizam exclusivamente água subterrânea para suprir as suas necessidades básicas. E ainda estima que existem mais de 2,4 milhões de poços para explorar água subterrânea, sendo que apenas 346 mil desses são registrados. Os poços registrados são cadastrados na plataforma do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) do Serviço Geológico Brasileiro (CPRM, 2022), portanto, existe carência de informações acerca da qualidade das águas subterrâneas mesmo esta sendo uma importante fonte de abastecimento.

A qualidade da água subterrânea tem relação direta com o substrato rochoso no qual está inserido o aquífero. Segundo Gastmans *et al.* (2005), as características hidrogeoquímicas refletem a composição mineralógica das rochas com as quais a água interage. Tendem a elevar sua concentração em substâncias dissolvidas à medida que percola em diferentes formações geológicas, ainda é influenciada por outros fatores como clima, tempo de contato, contribuições antrópicas e misturas de diferentes águas.

Os aquíferos dependem da interação de fatores geológicos, hidrológicos, climáticos e antropogênicos que condicionam as formas de recarga, armazenamento, circulação, descarga e qualidade da água, Embaby *et al.* (2016). Conforme dados do SIAGAS (2022), nas áreas onde ocorrem rochas e sedimentos inconsolidados o aquífero é do tipo granular e costumam ter boa

capacidade de armazenamento e transmissividade, além de boas características físico-químicas, onde se observam rochas cristalinas há ocorrência de aquífero do tipo fissural, sendo geralmente esparsos, descontínuos e de pequena extensão, já a ocorrência de rochas carbonáticas favorecem aquíferos do tipo cárstico que são anisotrópicos e muito propícios à ação dos processos de dissolução promovendo elevados teores de sólidos totais dissolvidos e dureza.

Logo, este trabalho se propõe classificar hidrogeoquimicamente a água de 12 poços tubulares inseridos na Bacia Hidrográfica do Rio Piauí.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo e amostragem

Para este trabalho a Bacia Hidrográfica (BH) do Rio Piauí (Figura 1) foi definida como área de estudo. Essa BH possui uma área de 4175,0 km² de extensão total, sendo uma porção pertencente ao estado da Bahia, compreendendo 221,6 km² (5,3% da área total da BH), já no estado de Sergipe cobre aproximadamente 3953,4 km², equivalente a 19% da área do território sergipano (Sergipe, 2015).

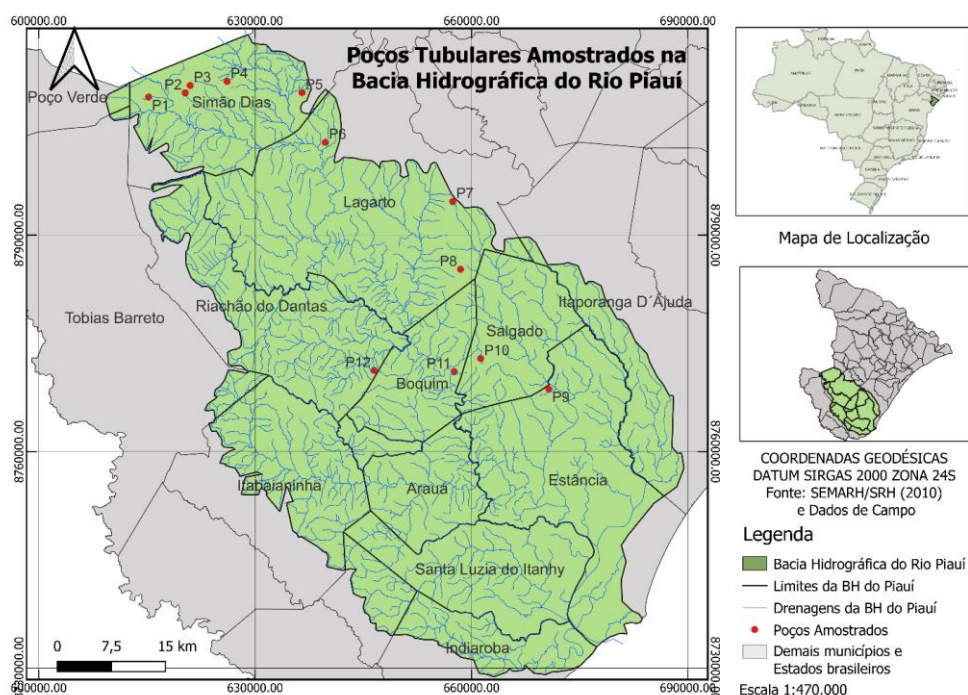


Figura 1: Mapa contendo poços amostrados na Bacia Hidrográfica do Rio Piauí.

Os pontos amostrais correspondem a poços tubulares registrados, disponíveis no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS (2022), contendo módulos capazes de realizar pesquisas, consultas e geração de relatórios acerca de cada poço. Os poços estudados neste trabalho são utilizados para abastecimento humano e localizam-se em áreas rurais.

Os pontos amostrados representam diferentes domínios hidrogeológicos na BH do Piauí, foram escolhidos quatro pontos em cada domínio. Domínio cárstico representado pelos pontos P1 a P4, domínio sedimentar P6 a P9 e domínio fissural contemplando os pontos P5, P10 a P12, como pode ser observado na Figura 2:

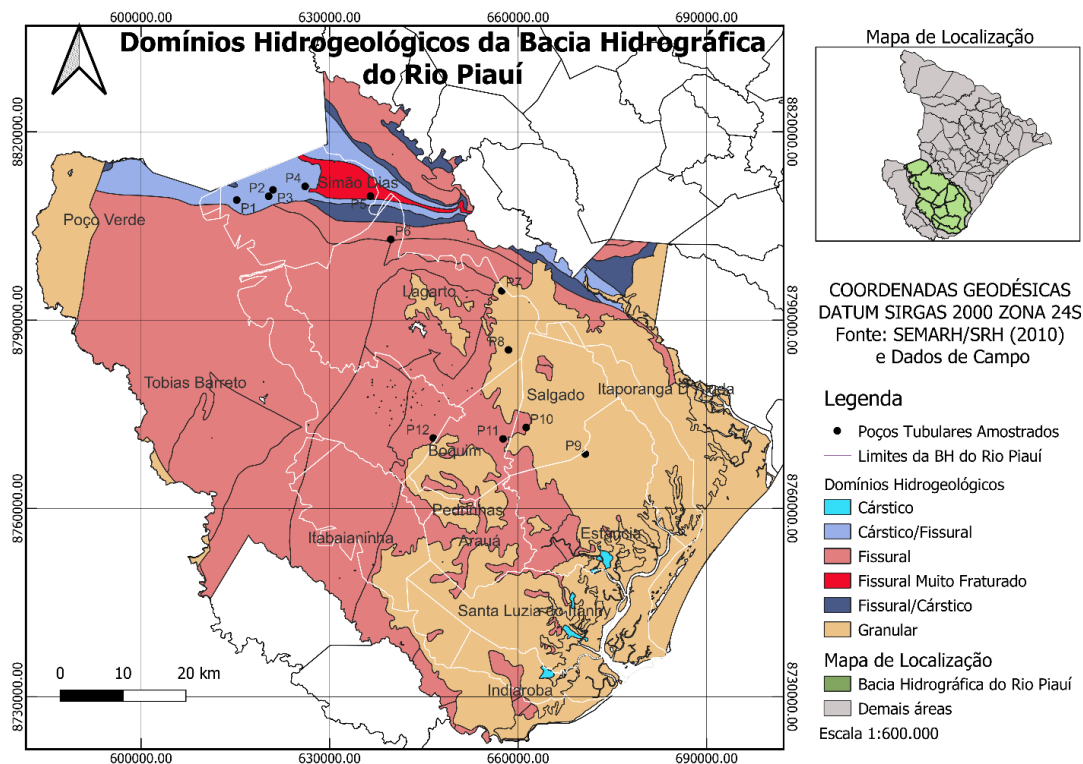


Figura 2: Domínios Hidrogeológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Piauí.

2.2 Classificação Hidrogeoquímica

A determinação das concentrações dos cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) e ânions (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} e HCO_3^-) foi realizada por cromatografia iônica, através de cromatógrafo METROHM modelo 882 Compact IC Plus. Utilizou-se os softwares Grapher e Diagrammes para realizar as classificações hidroquímicas e geração de gráficos, além do QGIS versão 3.22.8 LTR para geração de mapas temáticos.

O tipo de litologia na qual se encontra determinado aquífero afeta características como a velocidade da água, qualidade e sua preservação Yan *et al.* (2017). As concentrações naturais das diversas espécies químicas na água subterrânea é função, principalmente do intemperismo e dissolução de minerais durante a interação com as rochas do substrato como mostra trabalho de CAO *et al.* (2020).

Para representar as concentrações de cátions e ânions são comumente utilizadas representações gráficas através de diagramas, sendo os mais conhecidos o Diagrama de Piper (1944) e Diagrama de Stiff (1951). O diagrama de Piper (Figura 3) define classes hidroquímicas de acordo

com as concentrações iônicas apresentadas em quatro campos do diagrama, que definem a classe à qual a amostra de água se enquadra, a saber: sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas; bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas; sulfatadas ou cloretadas sódicas; e bicarbonatadas sódicas.

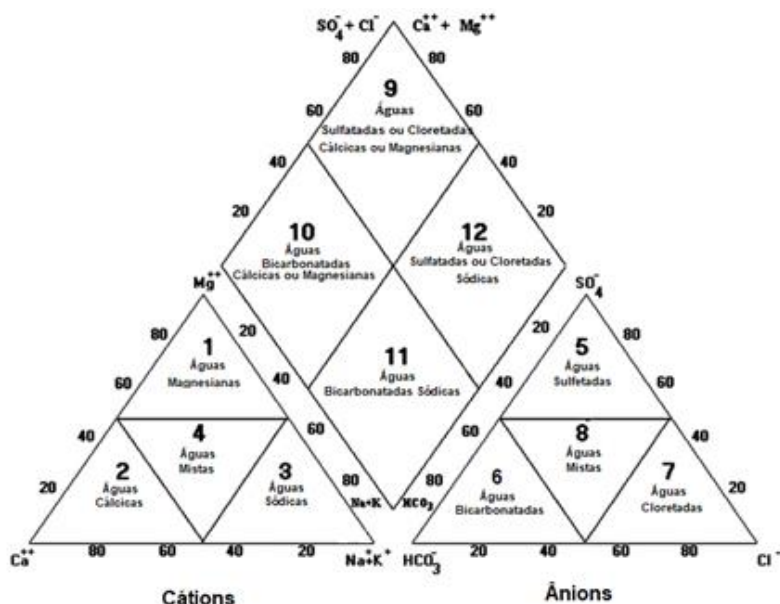


Figura 3: Diagrama de Piper (1944)

Já o diagrama de Stiff (Figura 4) é um método gráfico no qual é gerada uma figura baseada nas concentrações de cátions e ânions, sempre expressas em miliequivalente por litro (meq L⁻¹). É considerada uma ferramenta adequada quando se deseja fazer comparações entre várias amostras, de um mesmo ponto ou de pontos diferentes.

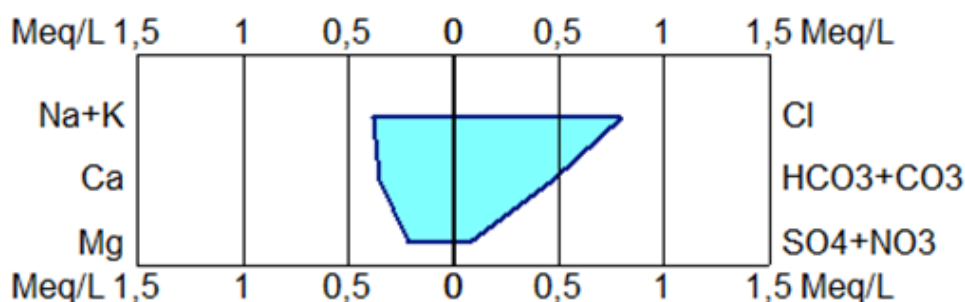


Figura 4: Diagrama de Stiff (1951).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A composição química das águas dos poços estudados pode ser observada na Tabela 1. Foram determinados os principais cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} e K^{+}) e ânions (Cl^{-} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} e HCO_3^{-}) dos 12 poços representativos do domínio cárstico (P1-P4), fissural (P5, P10-12) e sedimentar (P6-P9).

Tabela 1: Composição hidroquímica da água dos poços tubulares inseridos na BH do rio Piauí.

Ponto	Ca ²⁺ (mg L ⁻¹)	Mg ²⁺ (mg L ⁻¹)	Na ⁺ + K ⁺ (mg L ⁻¹)	Cl ⁻ (mg L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ (mg L ⁻¹)	CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	Domínio Hidrogeológico
P1	476,82	94,03	614,01	1454,5	137,71	517,41	Cárstico
P2	269,07	99,9	717,28	1076,4	248,97	739,16	Cárstico
P3	398,82	200,57	1238,34	1804,96	466,59	808,73	Cárstico
P4	177,15	36,32	413,9	487,12	132,62	717,42	Cárstico
P5	371,27	138,58	902,69	1450,55	243,21	704,37	Fissural
P6	71,22	15,92	128,74	198,7	5,08	165,22	Sedimentar
P7	6,62	11,18	71,73	62,06	3,47	4,35	Sedimentar
P8	3,16	4,99	35,79	29,2	1,29	4,35	Sedimentar
P9	3,85	2,53	22,32	24,79	3,99	47,83	Sedimentar
P10	31,74	28,29	83,09	131,44	7,84	191,31	Fissural
P11	6,06	9,29	55,76	70,06	1,72	73,92	Fissural
P12	37,06	35,16	117,84	217,43	2,84	126,09	Fissural

Fica evidente os comportamentos distintos entre as amostras dos diferentes domínios. Na Figura 5 pode-se observar que o domínio cárstico (em azul) é o mais enriquecido em íons dissolvidos, seguido do fissural (em vermelho) e granular (verde), respectivamente. Em função da interação água-rocha que é mais significativa para o domínio cárstico, este é muito mais susceptível à dissolução, o ponto P5 pertencente ao domínio fissural, apresentou composição semelhante as amostras do domínio cárstico, com o qual faz contato e onde provavelmente está localizada sua zona de recarga.

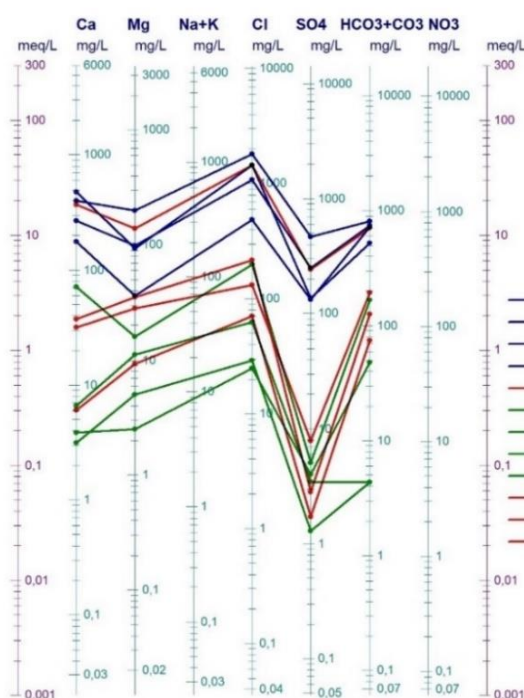


Figura 5: Diagrama da distribuição dos íons estudados.

O principal ânion presente em todas as unidades é o bicarbonato, muito provavelmente em função da entrada de CO_2 dissolvido na água da chuva durante a recarga, semelhante ao observado no estudo de Quaqqio *et al.* (2020) para poços localizados no estado de São Paulo, em aquíferos livres sujeitos a ação do CO_2 , mesmas condições encontradas na maioria dos poços estudados. Em relação a outros íons há uma predominância de cloretos seguido de sódio, indicando uma evolução hidroquímica por ação do intemperismo, como demonstrado no trabalho de Silva *et al.* (2021) ao investigar processos hidrogeoquímicos que afetam a composição de águas subterrâneas na região centro-sul da Bahia.

Em relação a classificação de Piper foi possível separar em três classes distintas de águas, conforme mostrado na figura 6, sendo assim: mista bicarbonatada (8,33%); mista cloretada (16,67%); e sódica cloretada (75,00%).

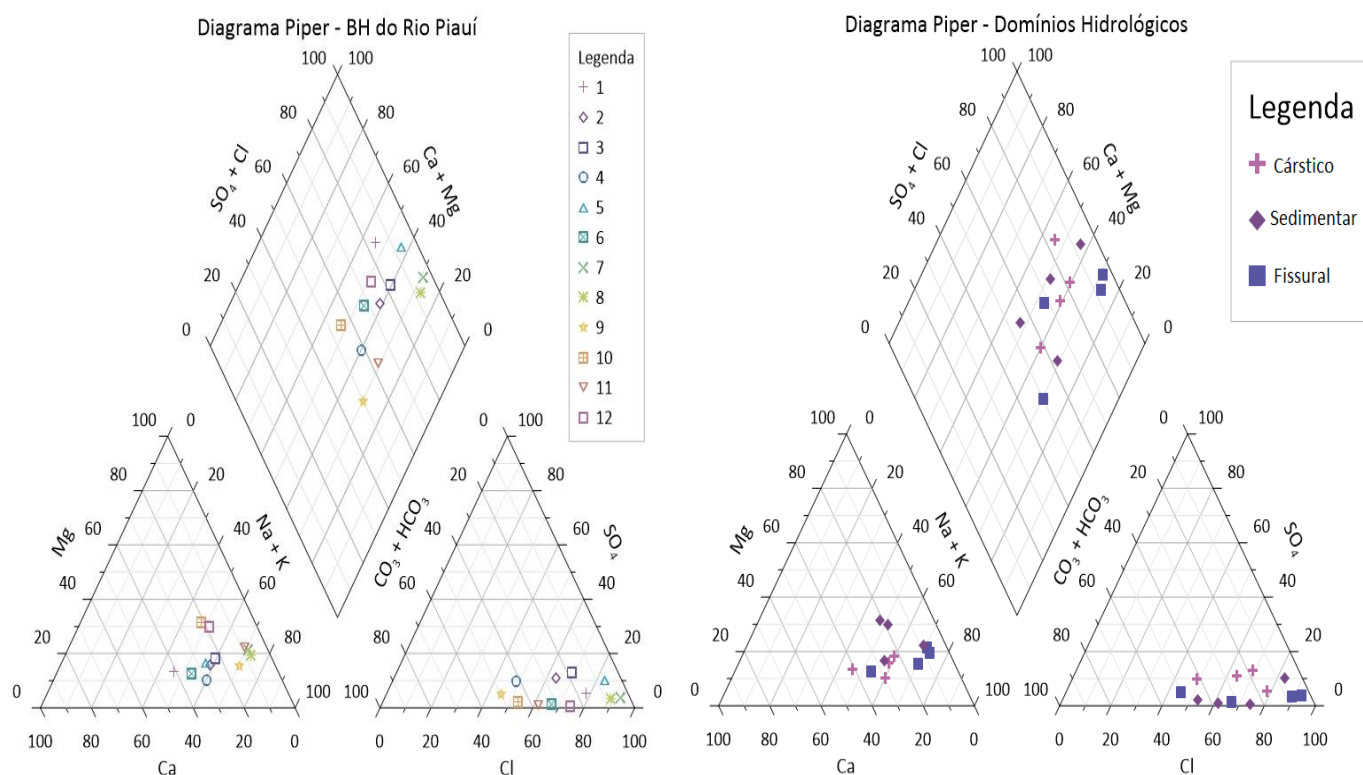


Figura 6: Diagrama de Piper para amostras de água subterrânea por poços e domínios hidrogeológicos.

A tendência no enriquecimento de Na e Cl pode estar associada a abundância desses elementos nos principais minerais formadores de rocha presentes na região a exemplo de feldspatos, piroxênios, anfibólios e feldspatóides que são pouco resistentes ao intemperismo, assim como demonstrado no estudo de Quaqqio *et al.* (2020), soma-se ainda a presença de carbonatos na região do município de Simão Dias, onde se observou maiores concentrações de Ca^{+2} disponibilizados por minerais como

plagioclásios cálcicos, dolomita e calcita. Já as águas classificadas como mistas podem ser resultantes da mistura das águas.

As concentrações dos sais foram variáveis, tendo como principal influência a interação água-rocha, principalmente para os poços presentes no domínio cárstico e o ponto P5 do domínio fissural, corroborando com o que foi observado no trabalho de Nascimento *et al.* (2021) para poços inseridos em domínio cárstico e adjacentes apresentando teores mais elevados de salinidade quando comparados com águas de aquíferos granulares. O diagrama de Stiff, apresentado na figura 7, deixa claro essas variações.

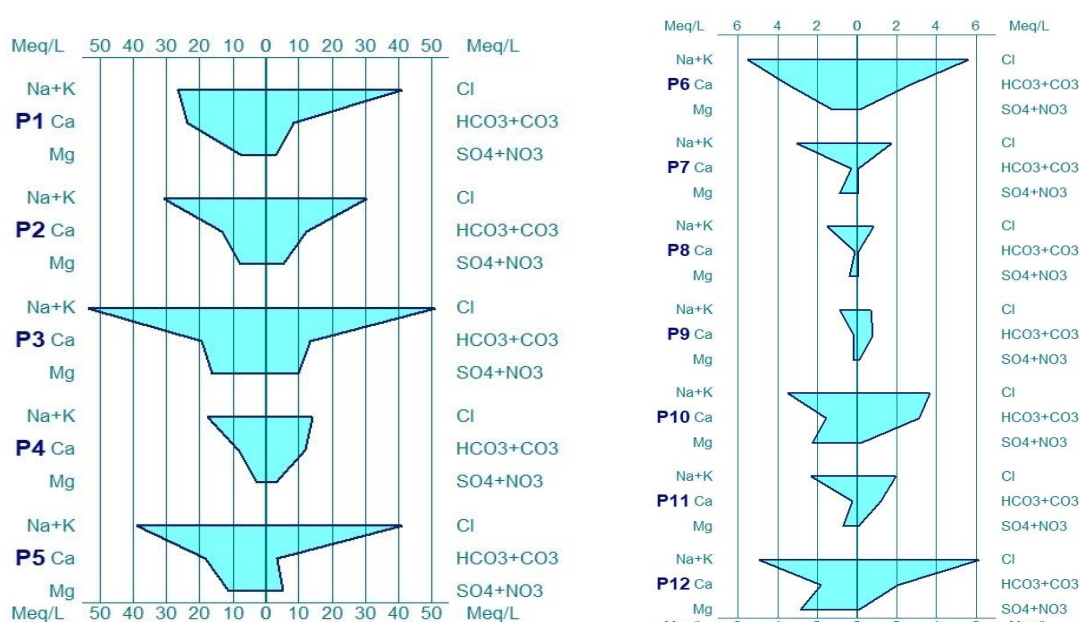


Figura 7: Diagrama de Stiff para amostras água subterrânea de poços inseridos na BH do rio Piauí.

As concentrações dos íons dissolvidos mostraram comportamentos distintos entre os poços pertencentes a cada domínio. No domínio cárstico foi observado elevada concentração de íons dissolvidos, comportamento esperado para águas que estão em contato com substrato carbonático altamente susceptível ao intemperismo químico, águas do domínio granular menos mineralizadas, enquanto o domínio fissural apresentou águas ainda pouco mineralizadas com exceção do poço P5 que está circundado pelo domínio cárstico.

Os poços do domínio cárstico apresentam tendência para águas cloretadas sódicas com contribuição importante de cálcio, de forma geral, as concentrações de íons dissolvidos das águas desse domínio são em média 10 vezes maiores que as águas do domínio sedimentar e, em média, 3,5 vezes quando comparadas as amostras do domínio fissural, Costa *et al.* (2019) observou elevadas concentrações para esses componentes ao estudar ambientes carbonáticos no estado da Bahia.

Os poços do domínio sedimentar apresentam figuras mais delgadas (P6, P7, P8 e P9) mostrando pouca mineralização, as amostras do domínio fissural, no entanto, já mostram um maior

enriquecimento em sais dissolvidos, formando figuras de maior amplitude indicando maior interação da água com o substrato ou ainda alguma influência antrópica, tal comportamento também foi registrado no trabalho de Quaqqio *et al.* (2020).

4. CONCLUSÃO

Este estudo contribui para melhorar a compreensão acerca da composição da água subterrânea na bacia hidrográfica do Piauí, uma fonte importante para as comunidades rurais da região facilitando um melhor gerenciamento desse recurso. Foi possível observar diferentes graus de mineralização da água conforme o domínio hidrogeológico no qual está inserido, em ordem crescente tem-se domínio granular seguido do fissural e cárstico. Essa separação clara de comportamento indica que as maiores contribuições para a composição hidroquímica está relacionada a fatores naturais como a interação água-rocha e recarga do aquífero. Valores altos para alguns íons indicam a necessidade de tratamento prévio para a água de alguns dos poços estudados, pois excedem limites de potabilidade das legislações nacionais, assim como monitoramento da mineralização dessas águas a fim de amenizar esse efeito e garantir um recurso hídrico de melhor padrão físico-químico.

AGRADECIMENTOS

A Companhia de Saneamento de Sergipe – DESO; A agência de fomento Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe – FAPITEC/SE. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- CAPES

REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2020). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2020. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual* / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. -- Brasília: ANA, 118p.;
- ASSIS, J.M.G.; CASSIANO, C.G.; CARVALHO, M.S.; SANTOS, V.J.S.; PEREIRA, M.A. (2021) “Análise qualitativa de águas subterrâneas do sistema aquífero Urucuia no município de Bonito de Minas-MG”, *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.7, n.11, p. 106054-106066;
- CAO, T.; HAN, D.; SONG, X.; TROLLE, D. (2020). “*Subsurface hydrological processes and groundwater residence time in a coastal alluvium aquifer: Evidence from environmental tracers ($\delta^{18}O$, δ^2H , CFCs, 3H) combined with hydrochemistry*”, *Science of The Total Environment*, v. 743;

- COSTA, M. S.; NASCIMENTO, S.A.M.; GOMES, M.C.R. (2019) “*Análise hidrogeoquímica comparativo entre os ambientes carbonáticos do estado da Bahia – uma abordagem estatística*”, Revista Geociências, v. 38, n.4, p. 987-998;
- GASTMANS, D., ALBERTO, M., BUFON, A., MORAES, F., SANTOS, M., SILVA, J., CHANG, H. (2005). “*Implicações hidroquímicas da interação rocha-água: interpretações através da representação gráfica de análises químicas de águas subterrâneas*”. *Águas Subterrâneas*” Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23214>;
- NASCIMENTO, F.J.S.; BARROSO, A.A.F.; SANTOS, H.O.R.; LIMA, P.F. (2021). “*Hidrogeoquímica das águas subterrâneas da Microrregião do Baixo Jaguaribe, Ceará, Brazil*” *Águas Subterrâneas – Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas*, 11p.;
- QUAQQIO, C.S.; GASTMANS, D.; LUNARDI, M.; SANTAROSA, L.V.; BETANCUR, S.B.; GEMEINER, H. (2020). “*Zoneamento Hidrogeoquímico dos Sistemas Aquíferos do Estado de São Paulo como Ferramenta de Gestão das Águas Subterrâneas*”, Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, vol. 43 – 4, p. 176-188;
- SERGIPE (2015), Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH), Superintendência dos Recursos Hídricos (SRH) – “*Elaboração dos Planos de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Japarutuba, Piauí e Sergipe, Relatório Final – Bacia Hidrográfica do Rio Piauí*”;
- SIAGAS. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (2022). CPRM. Serviço Geológico, disponível em: http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php?action=bacias_hidrograficas, acesso em junho de 2022;
- SNIS. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (2019). 24º *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos*. Brasília: SNS/ MDR, 180 p.;
- SILVA, J.A.; BARBOSA, N.S.; SANTOS, C.B. (2021) “*Processos Hidrogeoquímicos e Evolução das Águas Subterrâneas do Aquífero Cristalino da Folha Amargosa, SD.24-VD-II, Centro-Sul da Bahia*” *Águas Subterrâneas*, v. 35, n. 2;
- YAN, J.; CHEN, J.; ZHANG, W.; MA, F. (2020) “*Determining fluoride distribution and influencing factors in groundwater in Songyuan, Northeast China, using hydrochemical and isotopics methods*” *Journal of Geochemical Exploration*, v. 217;