

**AVALIAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ESTUDO DE RECURSOS
HÍDRICOS NA ÁREA DE INSTALAÇÃO DO FUTURO REATOR
MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO – RMB**

**Thamiris B.Stellato¹, Tatiane B.S.C.da Silva¹ Mainara G.Faustino¹ Joyce R.Marques¹ Gabrielle
da Silva Miranda¹ Cintia C. de Oliveira¹ Lucilena R. Monteiro¹ Maria A.F.Pires¹ e Marycel
E.B.Cotrim¹**

¹ Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)

Av. Professor Lineu Prestes 2242

05508-000 São Paulo, SP

thamistellato@gmail.com

RESUMO

A proposta deste estudo é avaliar as características químicas das águas subterrâneas da área de instalação do futuro Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), como uma ferramenta para o processo de licenciamento ambiental. Os ânions e cátions maiores foram analisados e os resultados, empregados na caracterização e classificação das águas por meio do diagrama de Piper. Verificou-se, considerando os parâmetros analisados, que todos os pontos de coleta apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/08 e que os pontos de água subterrânea apresentaram características variadas entre mista, sódica e cálcica para cátions e dominantes bicarbonatadas para ânions, não variando em relação aos períodos de coleta.

Palavras-chave: avaliação dos recursos hídricos; cromatografia iônica; reator Multipropósito brasileiro

1. INTRODUÇÃO

O Reator Multipropósito Brasileiro (RMB) é um reator nuclear de pesquisa que tem como finalidade contribuir com a aquisição de conhecimento, experiência e formação de recursos humanos, bem como produzir serviços em diversas áreas, como na fabricação de radioisótopos utilizados na medicina nuclear, para produção de fontes radioativas usadas em aplicações na agricultura, meio ambiente, indústria entre outros (MRS Estudos Ambientais Ltda, 2013).

Para a construção, instalação e operação do RMB, conforme prevê a Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981) e a Resolução CONAMA 237/97 (BRASIL, 1997), é necessário à obtenção do licenciamento ambiental.

A legislação ambiental disciplina o uso racional dos recursos ambientais e a preservação da qualidade ambiental, vinculando a utilização da avaliação de impacto ambiental como um de seus instrumentos, por meio do Decreto nº 88.351/83 (BRASIL, 1983). Dentre os requisitos para uma avaliação de impacto ambiental está incluso a avaliação das águas subterrâneas da área direta e indireta afetada pelo empreendimento.

As características geoquímicas das águas subterrâneas são influenciadas pelo teor de substâncias dissolvidas, que vai aumentando e se modificando conforme o seu movimento. Inicialmente contém a composição das águas de recarga e posteriormente da evolução

química, influenciada por diversos fatores como clima, tempo de contato entre a água e o meio físico e até mesmo da ação antrópica (CETESB, 2016).

Variações naturais na qualidade das águas subterrâneas são normalmente pequenas, por isso que qualquer mudança de característica diferente do esperado pode indicar a presença de situações anormais, como metamorfismo de rochas e contaminação antrópica (CETESB, 2016).

Portanto, é primordial sabermos quais os parâmetros químicos de um determinado aquífero, para identificarmos quais mudanças podem ser consideradas naturais ou resultantes de fontes antrópicas, demonstrando assim a importância do monitoramento das águas subterrâneas.

O monitoramento das águas subterrâneas deve fornecer informações sobre a dinâmica e qualidade do aquífero em comparação com variações sazonais e efeitos antropogênicos. Assim, este estudo pretende avaliar as características químicas da água subterrânea, em relação à concentração de íons majoritários (ânions e cátions), de quatro pontos selecionados, comparando-os com a legislação ambiental (BRASIL, 2008), na área de influência de um novo empreendimento, o RMB, a ser instalado na área contígua ao Centro Experimental de Aramar do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP) localizado no município de Iperó, São Paulo.

A classificação das águas quanto aos íons majoritários (cátions e ânions) e a avaliação da variabilidade quanto às estações fazem parte de um estudo maior que consiste do licenciamento ambiental da área. Este trabalho apresenta os resultados da classificação das águas e sua variabilidade em 4 períodos distintos de coleta.

Logo, esta avaliação é essencial para identificar a qualidade dos recursos hídricos, antes da construção do empreendimento, para que assim futuramente possam ser demonstradas que as atividades desenvolvidas no RMB não alteraram as características do aquífero da região.

2. OBJETIVO

Avaliar as características químicas da água subterrânea na área de influência de um novo empreendimento, o Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), localizado no município de Iperó, São Paulo.

3. MÉTODOS E MATERIAIS

3.1 Identificação das amostras

Foram selecionados quatro pontos de amostragem de água subterrânea (**Tabela 1**), sendo os mesmos pontos adotados pela CNEN (2012) no Programa de Monitoração Radiológica Ambiental.

Tabela 1 - Localização dos pontos de coleta das amostras

AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO DO PONTO	LOCALIZAÇÃO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS (UTM)
ÁGUA SUBTERRÂNEA	005RMB	Ponto de controle da Fazenda Ipanema - Poço Lago	23 25 36 S 47 35 59 W
	006RMB	Ponto de controle da Fazenda Ipanema - Poço Viveiros	23 25 37 S 47 35 57 W
	007RMB	A jusante do empreendimento Fazenda São Benedito	23 22 8,5 S 47 37 22 W
	008RMB	Entrada de água na SABESP/Sarapuí	23 38 35 S 47 49 40 W

As amostras foram identificadas pelo número do ponto coletado, seguido da abreviação RMB, sendo que os pontos de coleta foram denominados com uma sequência de números de 5 a 8, de acordo com sua localização (**Figura 1**).

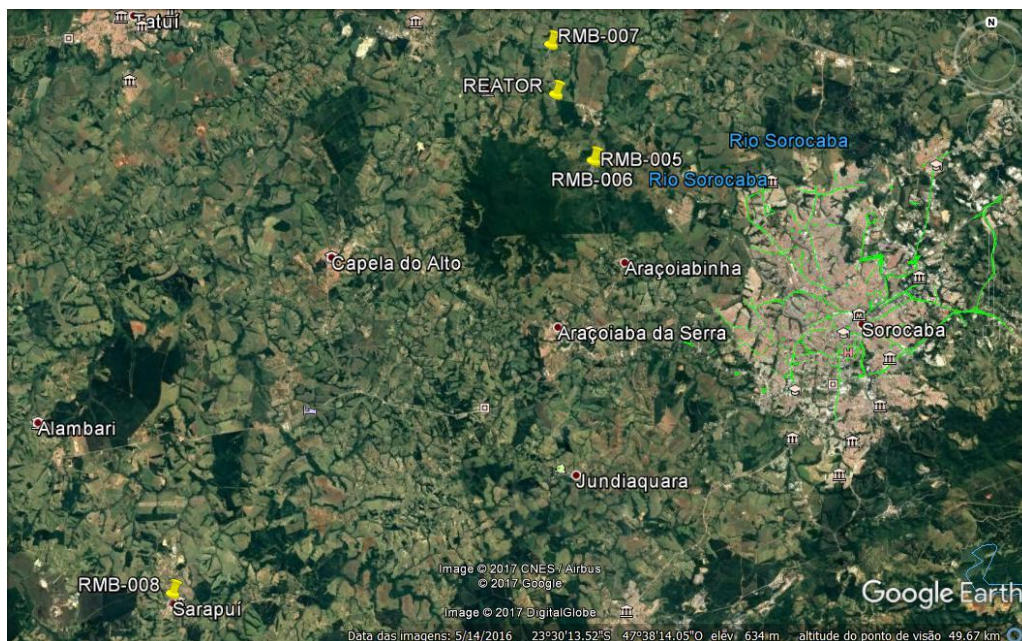


Figura 1 – Localização dos pontos amostrados na área de estudo

A área diretamente afetada do RMB insere-se na região de ocorrência do Sistema Aquífero Tubarão, pertencentes à Bacia Paraná e subgrupo Itararé, caracterizada por rochas heterogêneas, tornando o comportamento do aquífero extremamente irregular (MRS Estudos Ambientais Ltda, 2013).

De acordo com estudos realizados pela MRS Estudos Ambientais Ltda (2013), a caracterização do fluxo hidrológico subterrâneo da área em estudo demonstrou que a movimentação da água subterrânea tem relação direta com a topografia e com as características geológicas do aquífero envolvido. Definindo direções preferenciais da região do embasamento para as rochas sedimentares no sentido SE-NW, logo o fluxo da água subterrânea passa primeiramente pelos pontos RMB-005 e 006, pelo futuro reator e depois pelo ponto RMB-007. Já o fluxo da água subterrânea do ponto RMB-008 vem da Cidade de Sarapu para depois passar pelo futuro reator.

A caracterização das variáveis químicas foi realizada nos 4 pontos de amostragem em amostras de água subterrânea coletadas no ano de 2015, nos meses de abril, junho, setembro e dezembro, em quatro campanhas de campo, representando 14 amostras (devido os pontos RMB-005 e 006 não terem sido coletados no mês de abril).

3.2 Coleta e preparação das amostras

As amostras de água subterrânea foram coletadas em poços de captação de água instalados na região. Nesses poços a água é coletada por bombeamento e coletadas em uma

torneira diretamente do poço. As amostras foram coletadas e armazenadas em frascos de polietileno previamente limpos, e transportados em recipientes termicamente isolados.

As coletas e preservação das amostras foram realizadas conforme recomendação do Standard Methods (2005) e do Guia nacional de coleta e preservação de amostras da CETESB/ANA (2011). As amostras utilizadas para a aplicação da técnica analítica de cromatográfica iônica foram filtradas em membrana de 0,45 µm.

Para a técnica analítica de emissão ótica com fonte de plasma de argônio indutivamente acoplado as amostras foram acidificadas com HNO₃ e passadas pelo processo de digestão ácida conforme EPA 3015 (2007), para a obtenção da fração total dos analitos.

3.3 Análise das amostras

As análises das amostras de água realizadas foram são apresentadas na **Tabela 2**, conforme o método de análise e técnica analítica (Standard Methods, 2005; EPA, 2007a; EPA, 2007b).

Tabela 2 – Método de análise e técnica analítica utilizada nas amostras

Parâmetros	Método de análise	Técnica analítica	Equipamento/Modelo /Marca	Características do Sistema
Alcalinidade	SM2320B	Titulometria	-	-
Cátions (Na, K, Mg e Ca)	EPA3015A (preparação) EPA6010C (análise)	ICP OES	ARCOS - Spectro	Tocha axial
Ânions (Fluoreto, cloreto, nitrito-N, nitrato- N e sulfato)	SM4110B	Cromatografia Iônica	Cromatógrafo de íons ICS-2100/DIONEX	Detector de condutividade Supressora auto-egenerante Software Chromeleon 6.8

3.4 Diagrama Piper

Para a construção dos diagramas de Piper foi utilizado o software de uso livre Qualigraf (FUNCEME, 2011), versão 2014, elaborado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). As avaliações foram realizadas com base nas médias dos resultados obtidos nos meses de abril, junho, setembro e dezembro de 2015 para todos os pontos, utilizadas para classificar e comparar os distintos grupos de águas quanto aos ânions e cátions majoritários em cálcica, cloretada, bicarbonatada, sódica, magnésiana, sulfatada ou mista.

4. RESULTADOS

4.1 Ânions

Os resultados das concentrações de ânions, nos quatro pontos coletados, foram comparados com os requisitos legais brasileiros (BRASIL, 2008), para avaliar as águas subterrâneas da região antes da construção do RMB.

4.1.1 Fluoreto

O flúor é um elemento que ocorre naturalmente e em pequenas quantidades nas águas naturais, devido ao intemperismo de minerais. Nas águas subterrâneas, o valor de intervenção estabelecido pela legislação brasileira para o fluoreto é de $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$, de acordo com CONAMA (BRASIL, 2008), como apresentado na **Figura 2**.

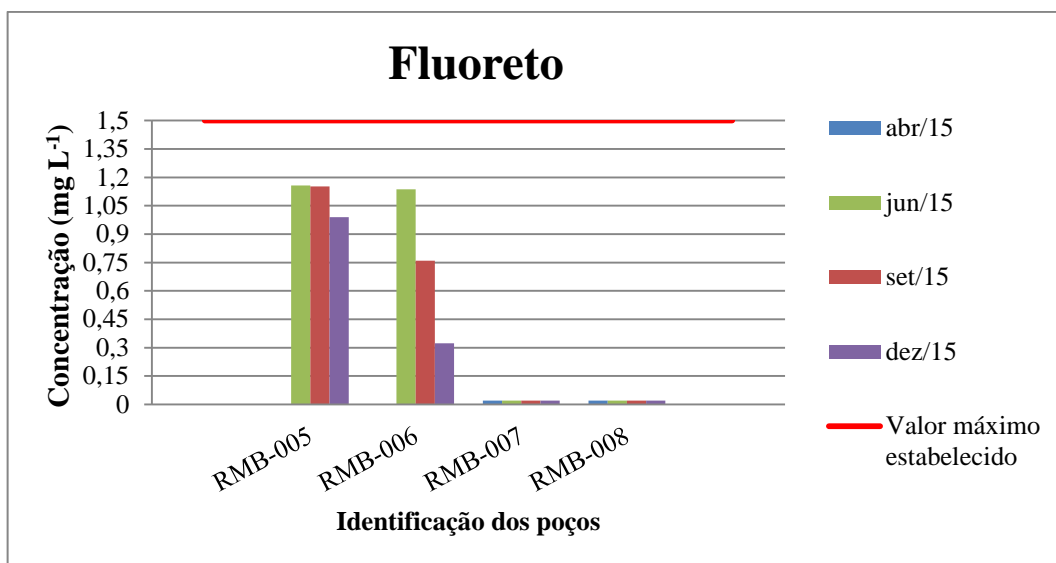


Figura 2 – Distribuição de fluoreto em mg.L⁻¹ por ponto e por coleta

Os pontos RMB-005 e 006 apresentaram valores mais altos quando comparados com os pontos RMB-007 e 008. Observa-se que todos os pontos analisados, nas quatro campanhas de coleta, apresentam valores abaixo do máximo estabelecido pela legislação. Sendo o limite de quantificação do fluoreto 0,02 mg.L⁻¹ para esta técnica.

4.1.2 Cloreto

O limite máximo de concentração de cloreto é de 250 mg L⁻¹, de acordo com a Resolução CONAMA 396 (BRASIL, 2008). Normalmente as águas subterrâneas apresentam níveis inferiores a 100 mg.L⁻¹, portanto valores muito superiores a este, pode ser indicativo de infiltração de poluição (Feitosa, 2008). A **Figura 3** apresenta a distribuição de cloreto no período avaliado.

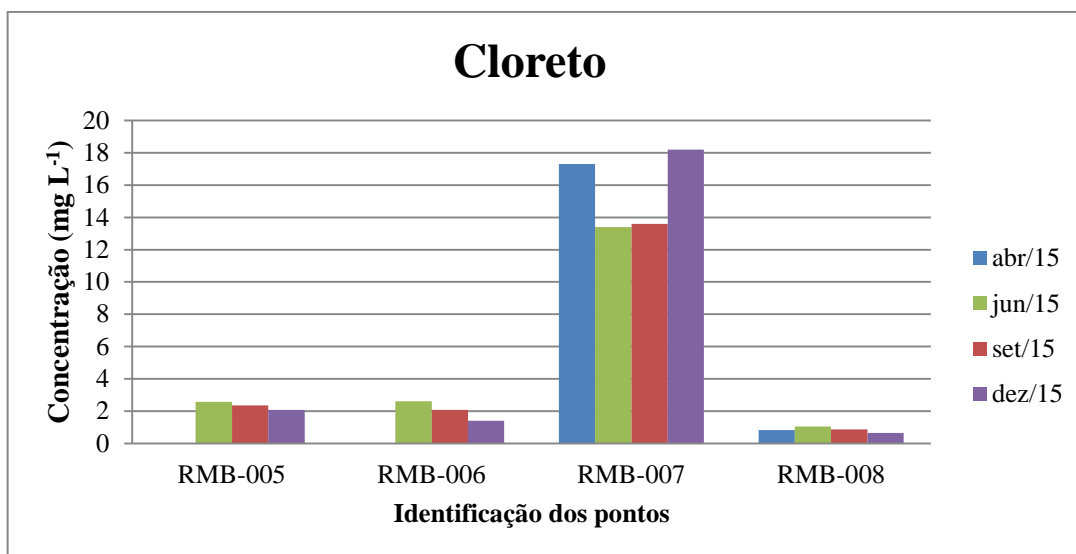


Figura 3 – Distribuição de cloreto em mg.L⁻¹ por ponto e por coleta

Todos os pontos analisados, nas quatro campanhas de coleta, apresentam valores abaixo do máximo estabelecido pela legislação. Observa-se que o ponto RMB-007 apresentou valores superiores aos demais, pois o teor de cloreto na água subterrânea tende a aumentar no sentido do fluxo devido ser um elemento com alta solubilidade e o movimento do aquífero ser lento. O limite de quantificação do cloreto é de 0,10 mg.L⁻¹.

4.1.3 Nitrito-N e Nitrato-N

O valor máximo estabelecido pela Resolução Conama 396 (BRASIL, 2008) para o Nitrato-N em água subterrânea é de 10 mg.L⁻¹, porém valores acima de 5 mg.L⁻¹ podem ser indicativos de contaminação da água subterrânea por descarte incorreto de esgotos, fossas sépticas, aterros sanitários, adubos nitrogenados entre outros (Feitosa, 2008). Os resultados obtidos para a análise de Nitrato-N são apresentados na **Figura 4**. O limite de quantificação do nitrato é de 0,10 mg.L⁻¹.

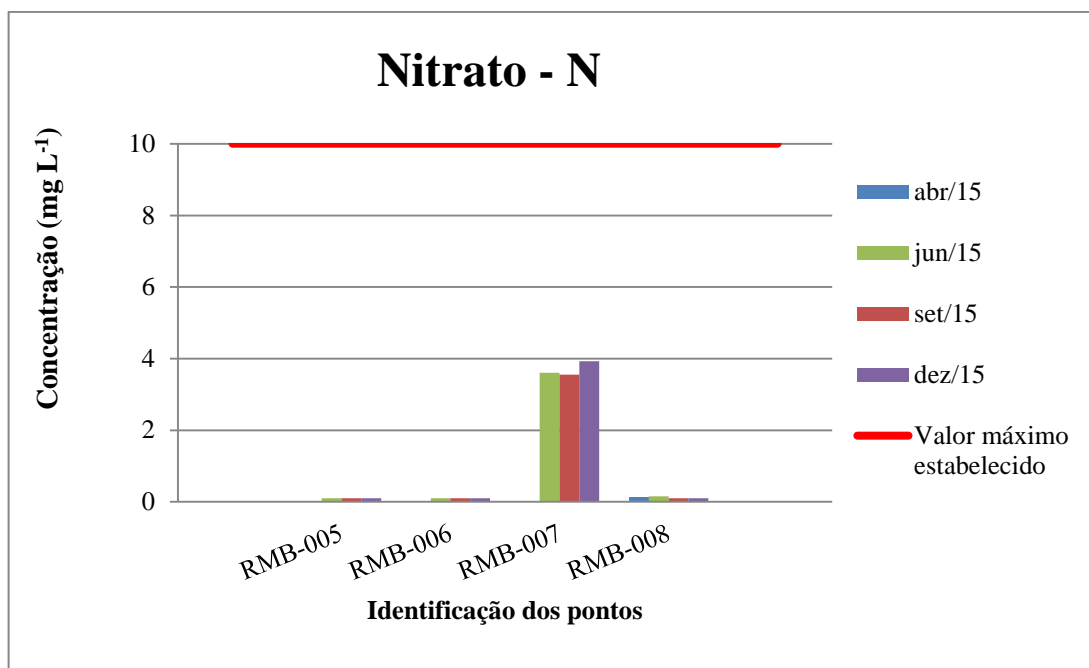


Figura 4 – Distribuição de nitrato-N em mg.L⁻¹ por ponto e por coleta

Todos os pontos analisados apresentaram valores dentro do máximo estabelecido pela legislação. Observa-se que o ponto RMB-007 apresentou os maiores valores de nitrato-N quando comparado aos demais pontos, como no caso do cloreto.

Para o nitrito-N o valor máximo estabelecido pela Resolução Conama 396 (BRASIL, 2008) para água subterrânea é de 1 mg.L⁻¹. Todos os pontos de coleta avaliados apresentaram valores abaixo do limite de quantificação (0,10 mg.L⁻¹).

4.1.4 Sulfato

O valor máximo estabelecido pela Resolução Conama 396 (BRASIL, 2008) para o sulfato em água subterrânea é de 250 mg.L⁻¹. A distribuição de sulfato obtida são apresentadas na **Figura 5**.

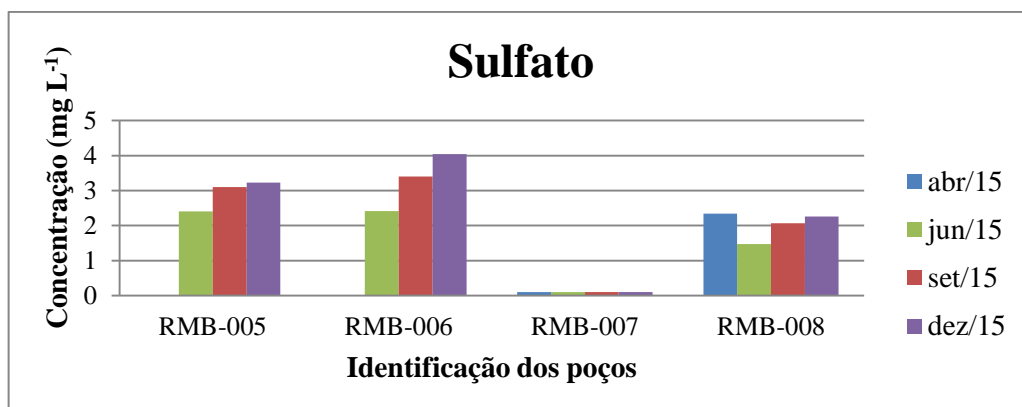


Figura 5 – Distribuição de sulfato em mg.L⁻¹ por ponto e por coleta

As concentrações de sulfato nas águas subterrâneas normalmente apresentam valores inferiores a 100 mg.L⁻¹ (Feitosa, 2008). Todos os poços de monitoramento apresentaram valores muito inferiores a este limite, sendo o limite de quantificação da técnica de 0,10 mg.L⁻¹.

4.1.5 Sódio

O valor máximo estabelecido pela Resolução Conama 396 (BRASIL, 2008) para o sódio em água subterrânea é de 200 mg.L⁻¹. As concentrações de sódio obtidas são apresentadas na **Figura 6**.

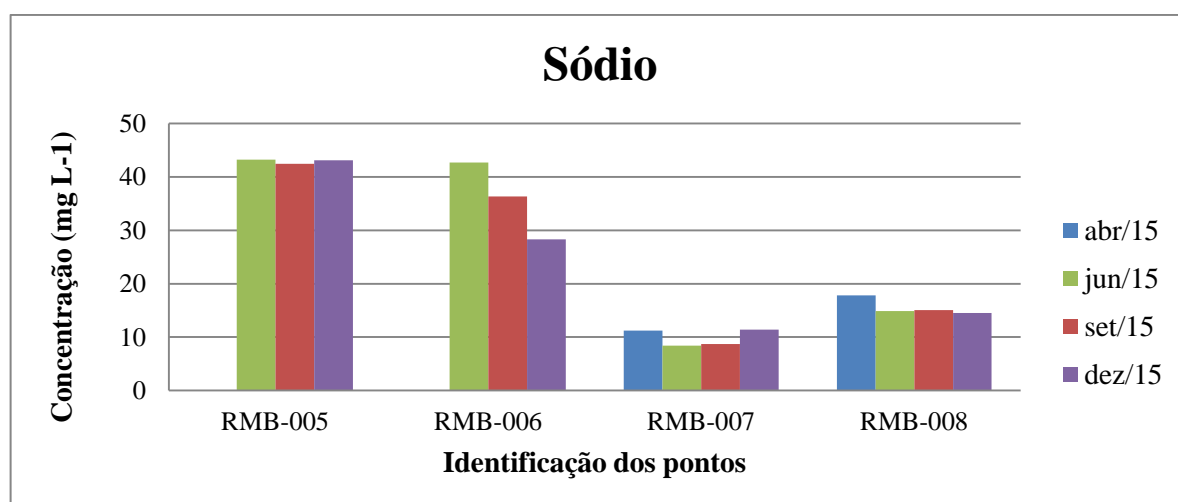


Figura 6 – Distribuição de sódio em mg.L⁻¹ por ponto e por coleta

Todos os pontos apresentaram concentrações de sódio inferiores ao limite normalmente encontrado em águas subterrâneas, que é de 0,1 a 100 mg.L⁻¹ (Feitosa, 2008) e abaixo do valor de intervenção estabelecido pela legislação brasileira (BRASIL, 2008).

As amostras de água dos pontos RMB-005 e RMB-006, que estão localizados na Fazenda Ipanema, é oriunda de dois poços artesianos: um localizado a beira de um lago, com profundidade de cerca de 120 m, e o outro que abastece a vila residencial, com profundidade de cerca de 100 m. Ambos apresentaram valores elevados de sódio em relação aos demais poços. Esses valores podem estar relacionados às atividades agrícolas predominante na região.

4.2 Classificação química da água subterrânea

O Diagrama de Piper apresentado na **Figura 7** foi utilizado para a classificação química das águas subterrâneas amostradas em quatro pontos nos meses de abril, junho, setembro e dezembro no ano de 2015.

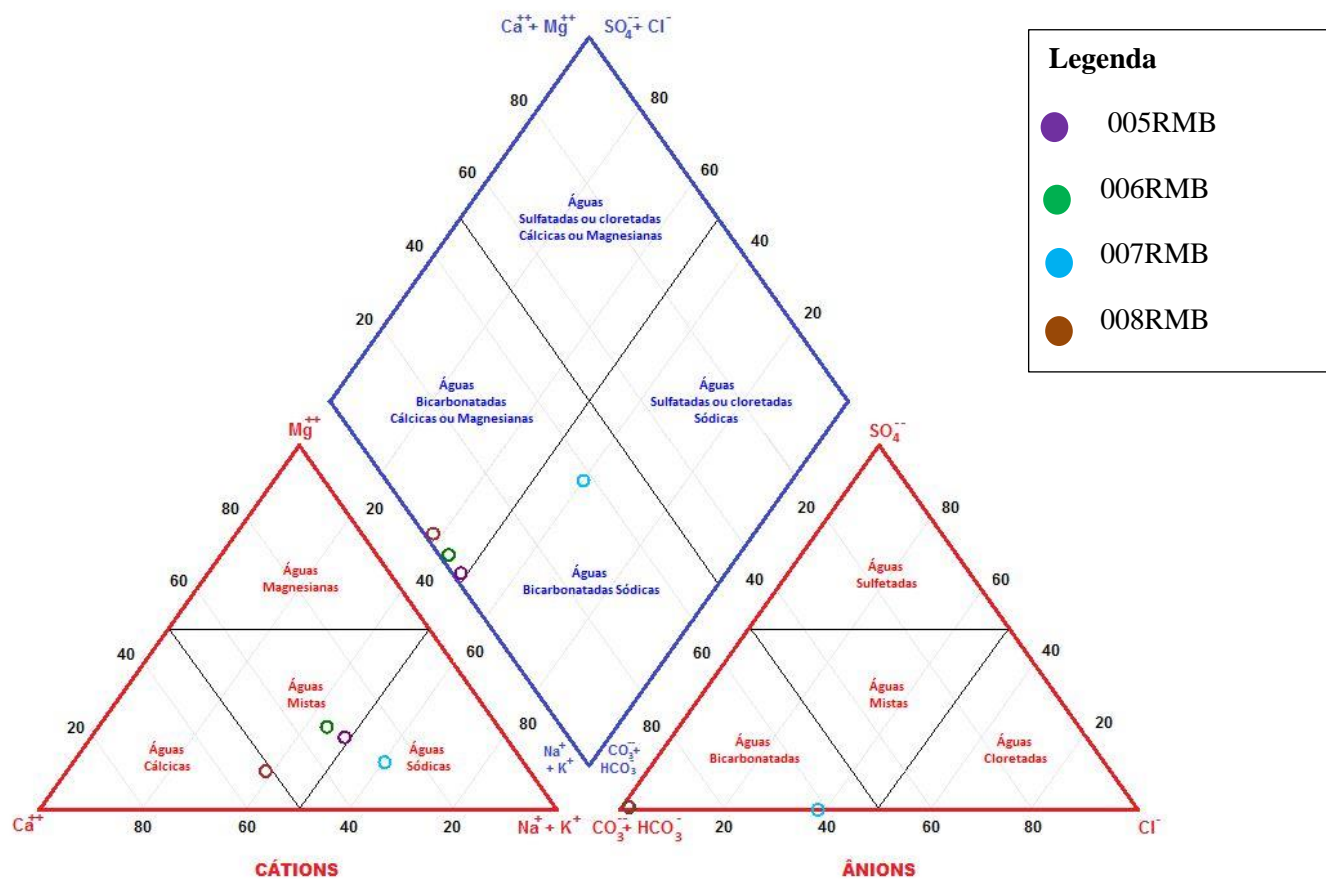


Figura 7 - Representação da classificação química do ponto RMB-005 a 008 pelo diagrama de Piper

Não foram observadas mudanças significativas de classificação nas águas subterrâneas em relação aos períodos sazonais nos pontos amostrados, mas foram encontradas três classes de águas entre os pontos:

- RMB-005 e 006: Mista Bicarbonatada (Ca-Mg-SO₄-HCO₃),

- RMB- 007: Sódica Bicarbonatada ($\text{Na}^+-\text{HCO}_3^-$),
- RMB - 008: Cálcica Bicarbonatada ($\text{Ca}^{2+}-\text{HCO}_3^-$).

Os quatro pontos de água amostrados apresentam como ânion majoritário o carbonato e três classificações distintas de cátions, devido à evolução química do fluxo da água subterrânea.

Para comparação dos resultados obtidos foi consultado o relatório anual de 2013 a 2015 da CETESB (2016), onde as águas do Aquífero Tubarão são classificadas como bicarbonatadas sódicas e secundariamente bicarbonatadas cálcicas ou mistas, demonstrando a confiabilidade dos resultados.

5. CONCLUSÃO

Todos os íons analisados na água subterrânea estão de acordo com os limites estabelecidos pela resolução CONAMA 396/08 em todos os pontos amostrais, logo, a qualidade da água subterrânea nos parâmetros analisados, encontra-se em bom estado de conservação, dando subsídios para o licenciamento ambiental do RMB.

A classificação da água subterrânea por meio do Diagrama de Piper permitiu concluir que a dissolução de carbonato é o processo dominante que controla os íons majoritários das águas amostradas. O RMB está localizado em uma área pouco povoada, mas que será exposta a diferentes fontes de poluição ou infiltração, logo esta ferramenta será utilizada de forma contínua, a fim de identificar qualquer possível contribuição para a mudança da composição das águas subterrâneas.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pela concessão de auxílio através de bolsas de estudo e ao IPEN pelo uso de toda infraestrutura.

REFERÊNCIAS

APHA AWWA WPCF // *American Public Health Association, the American Water Works Association & Water Pollution Control Federation*. Standard Methods for the examination of water and wastewater. - Washington : [s.n.], 2005.

BRASIL. Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Congresso Nacional. **Diário Oficial da União** - Seção 1 - 02/09/1981. Página 16509.

BRASIL. Decreto nº 88.351 de 1º de junho de 1983. Dispõem sobre a Política Nacional do Meio Ambiente e sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental, e dá outras providências. **Diário Oficial da União** - Seção 1 - 3/6/1983, Página 9417.

BRASIL. Resolução CONAMA 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. **Diário Oficial da República** nº 247, de 22 de dezembro de 1997, Seção 1, páginas 30841-30843.

BRASIL. Resolução CONAMA 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. *Ministério do Meio Ambiente*. Brasília, DF, 7 abr. 2008. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>> Acesso em: 25 fev.2015.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. DIRETORIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO. IPEN. *Programa de Monitoração Radiológica Ambiental*. .2012. (RMB-000-00-LD-06100-RD-001).

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO / AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. Carlos Jesus Brandão (Organizadores). São Paulo. Brasília, DF. CETESB /ANA, 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO / AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2013-2015*. São Paulo. Brasília, DF. CETESB , 2016. Disponível em: < http://aguassubterraneas.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/42/2013/11/Cetesb_QualidadeAguasSubterraneas2015_Web_20-07.pdf>. Acesso em: 05 jul 2017.

EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). *Microwave Assisted Acid Digestion of Aqueous Samples and Extracts – Method 3015A. Revisão 01*. Fevereiro de 2007a. Disponível em: <<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3015a.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2015.

EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). *Method 6010C – inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry*. 2007b. Disponível em < <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/6010c.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2015.

FEITOSA, Fernando A. C., et al., et al. *Hidrogeologia*. Rio de Janeiro : CPRM, 2008.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ: Secretaria dos recursos hídricos. *Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME)*. 23 de Fevereiro de 2011. Disponível em: <<http://www.funceme.br/produtos/manual/projetos/qualigraf/>>. Acesso em: 12 ago.2016.

MRS ESTUDOS AMBIENTAIS LTDA. *Relatório de Impacto Ambiental do Reator Multipropósito Brasileiro*. Setembro de 2013. Disponível em: <[http://licenciamento.ibama.gov.br/Nuclear/Reator%20Multiproposito%20Brasileiro%20\(RMB\)/RIMA/RIMA_FINAL.pdf](http://licenciamento.ibama.gov.br/Nuclear/Reator%20Multiproposito%20Brasileiro%20(RMB)/RIMA/RIMA_FINAL.pdf)> Acesso em: 21 mai. 2015.