

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA E EVOLUÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ÁREA DO POLO INDUSTRIAL DE CAMAÇARI – BAHIA

Sérgio Augusto de Morais NASCIMENTO¹
Jamille Evangelista ALVES²

¹ Geólogo, Professor Associado II do Departamento de Geologia e Geofísica Aplicada e Professor Colaborador do Curso de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências - IGEO da Universidade Federal da Bahia - UFBA. E-mail: sergiomn@ufba.br

² Graduanda do Curso de Geologia, IGEO/UFBA. E-mail: jami_alves@hotmail.com

RESUMO. Estudo hidrogeoquímico foi realizado na região do Pólo Industrial de Camaçari (PIC) situado a 50 km ao norte do Município de Salvador, Estado da Bahia, estando localizada no divisor de águas das bacias hidrográficas do rio Joanes e a do rio Jacuípe. Na área afloram sedimentos das Formações Marizal, São Sebastião e Barreira, além de sedimentos quaternários. Para caracterizar a água subterrânea dessa região utilizaram-se informações do SIAGAS/CPRM. A classificação da água foi feita utilizando-se o Diagrama Triangular de Piper, bem como as suas relações iônicas características em unidades miliequivalentes. Para caracterizar a qualidade da água subterrânea utilizou-se como referência a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. Com o modelo hidrogeoquímico PHREEQC 2.0 calculou-se o índice de saturação e a especiação dos diversos elementos analisados nas águas subterrâneas. A água subterrânea da região é doce e a dureza total é branda. A água apresenta-se saturada em ferro e, em alguns locais, por sílica sob a forma de H_4SiO_4 podendo precipitar-se sob a forma de goetita, hematita e quartzo, respectivamente. O Fe^{2+} encontra-se dissolvido em maior quantidade, enquanto o Fe^{3+} apresenta-se predominantemente sob a forma de $Fe(OH)_3$.

Palavras-chave: classificação da água subterrânea, índice de saturação, especiação

ABSTRACT. *Hydrogeochemistry characterization and development of underground water in the Camaçari Industrial Pole region.* Hydrochemical study was conducted in the region of Camaçari Industrial Complex (CIC) located 50 km north of the city of Salvador, Bahia State, is located on the watershed of the river basins Jacuípe and Joanes. In the area of outcropping sediment formations Marizal, São Sebastião and Barreiras, and Quaternary sediments. To characterize the groundwater in this region we used information from SIAGAS / CPRM. The classification of water was made using the triangular diagram of Piper, and their ionic relations characteristics in milliequivalents units. To characterize the quality of groundwater used as a reference to the Resolutions 518/2004 of the Ministry of Health. With the hydrochemical model PHREEQC 2.0 calculated the saturation index and speciation of the various parameters analyzed in groundwater. The groundwater in the region is sweet and total hardness is soft. The water has to be saturated in iron and in some places, for silica in the form of H_4SiO_4 may precipitate in the form of goethite, hematite and quartz, respectively. The Fe^{2+} is dissolved in greater quantities, while the Fe^{3+} is presented predominantly in the form of $Fe(OH)_3$.

Keywords: Groundwater classification, saturation index, speciation.

INTRODUÇÃO

O Pólo Industrial de Camaçari iniciou seu funcionamento em 1978 e representa uma das principais fontes da economia do Estado da Bahia, quanto a empregos, geração de impostos e renda. São 90 empresas químicas, petroquímicas, automotiva, celulose, metalurgia, cobre, têxtil, bebidas e serviços (COFIC, 2009). A capacidade instalada do Pólo é suficiente para a geração de mais de 11,5 milhões de t/ano de produtos químicos e petroquímicos básicos, intermediários e finais, que atendem a mais da metade das necessidades do país. No segmento da metalurgia o Pólo conta com uma capacidade instalada para 220.000 toneladas/ano de cobre eletrolítico; no segmento automotivo de 250 mil veículos/ano (COFIC, 2008 citado por SANTOS, 2010).

A maior parte da água utilizada para abastecimento das indústrias da região do Pólo Industrial de Camaçari vem dos mananciais subterrâneos do sistema aquífero Marizal-São Sebastião (SANTOS; OLIVEIRA, 2007). Com um potencial hídrico bastante elevado, este aquífero abastece a quase totalidade das indústrias da região. A atividade industrial do Pólo consome cerca de $12.400m^3/h$ de água (SANTOS, 2010). A exploração da água subterrâneas nas últimas três décadas na área do PIC aumentou drasticamente devido principalmente a um aumento do número de Indústrias implantadas. Nos setores densamente explorados, os níveis piezométricos já estão rebaixados por mais de 80m, relativamente ao nível original (BAHIA, 1996), sendo que em determinados locais pode atingir atualmente valores maiores.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para caracterizar os principais fatores controladores da química da água subterrânea, bem como a sua evolução hidrogeoquímica na área do Pólo Industrial de Camaçari, utilizou-se informações oriundas do banco de dados do SIAGAS/CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). Foram pesquisadas informações oriundas da Central de Polímeros, Copene IV, Copene V, Copene VII, Copene VI, Ródia Nordeste, Nitroclor e Nitrocarbono II (Tabela 1).

Com os resultados físico-químicos (Tabela 1) foi definida a classificação da água subterrânea utilizando-se o Diagrama Triangular de Piper (1944), seus cátions e ânions predominantes, suas relações iônicas características em unidades miliequivalentes para definir os fácies hidroquímicos, bem com a especiação e o índice de saturação dos elementos. Para definir esses dois últimos itens utilizou-se o modelo hidrogeoquímico PHREEQC 2.0 de Parkhurst (1995) baseado no programa PHREEQE de Parkhurst et al. (1980), com os diversos elementos analisados, tais como, Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄, CO₃ e HCO₃, além da sílica e flúor.

O índice de saturação (IS) é uma relação entre o Produto da Atividade Iônica (IAP) dos diversos cátions e ânions dissociados na água pela constante de equilíbrio da equação química (reagentes → produtos) a uma determinada temperatura (Kc), ou seja:

$$IS = IAP / Kc \quad \text{ou} \quad \log IS = \log IAP - \log Kc$$

Quando o valor do IAP é maior do que Kc, os valores do IS são maiores do que 1 e cujos logaritmos são positivos, indicando que existe condições para a precipitação dos produtos. O movimento da equação química é no sentido produto-reagentes. Em caso contrário, quando o IAP é menor do que o Kc os valores de IS são menores do que 1 e os seus logaritmos são negativos. Nesse caso os produtos dissociados não se precipitam devido à condição de sub-saturação. O sentido da equação é reagente-produto. Quando a relação IAP/Kc é igual a 1 a solução está em equilíbrio e, nesse caso, o logaritmo é 0 (zero).

Deutsch (1997) afirmou que

devido às incertezas inerentes ao cálculo do índice de saturação (IS) em função da exatidão muitas vezes duvidosas das análises químicas e do cálculo do valor da constante de equilíbrio do mineral em processo de dissolução, deve-se considerar por motivo de segurança, os valores dos IS fora da faixa que varia de 0 (zero) a $\pm 0,5$ em valores logarítmicos.

Esses valores em torno de zero, estão dentro da zona de equilíbrio químico de um mineral em

processo de decomposição química. Em função disso consideraram-se nesse trabalho os valores positivos que estão fora da referida faixa de segurança para definir as fases dos minerais que se precipitam a partir da saturação da solução.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E ASPECTOS GEOLÓGICOS

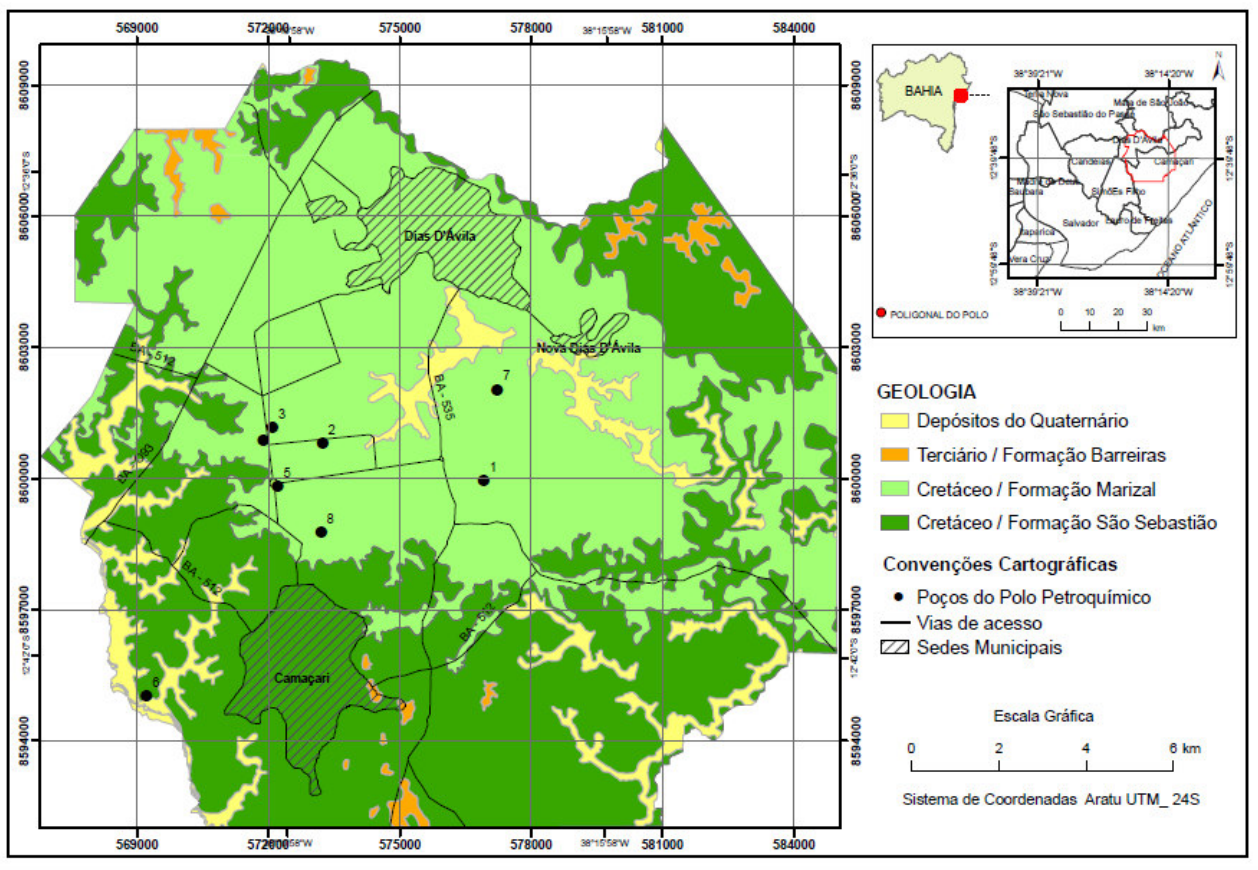
A região de influência do Pólo Industrial de Camaçari (PIC) situa-se a 50 km ao norte do Município de Salvador, Estado da Bahia, estando localizada no divisor de águas das bacias hidrográficas do rio Joanes e a do rio Jacuípe, que apresentam modelos de fluxo variáveis e, complexas relações de carga e descarga com as águas subterrâneas (SANTOS, 2010). A região em estudo também engloba parte das terras do município de Camaçari e parte do município de Dias D'Ávila. A área de influência do Pólo Industrial de Camaçari é de 239,3 km², tendo atualmente 24,8 km² deste total (10,4%) urbanizada. As demais áreas são ocupadas por agricultura, área úmida (brejo), cerrado, floresta secundária, lagos e riachos.

Segundo Santos (2010),

a Área do Complexo Básico possui 1.293 hectares e nela se localizam a quase totalidade das indústrias químicas e petroquímicas". A Área Industrial Leste (2.614 hectares) reúne indústrias de segunda e terceira gerações petroquímicas, as empresas Ford e a Continental. A Área Industrial Norte (451 hectares) concentra indústrias que não dependem diretamente do fluxo de matérias-primas produzidas no Complexo Básico, a exemplo da Indústria de Celulose. A Área Industrial Oeste (544 hectares) abriga a Caraíba Metais S.A. e a CHESF.

Na área afloram sedimentos das Formações Marizal, São Sebastião e Barreira, além de sedimentos quaternários identificados com mais frequência nos vales da rede de drenagem que ocorrem ao longo da área (SANTOS, 2010). A Formação Marizal ocorre em toda região do Pólo Petroquímico de Camaçari (Figura 1) com espessura de 30 a 50 metros sendo constituída por sedimentos depositados em ambiente de leques aluviais e sistemas fluviais entrelaçados (LIMA, 1991), com grandes variações faciológicas, tanto horizontal quanto vertical de arenitos, argilitos, siltitos. A base da formação geralmente é caracterizada pela ocorrência de conglomerados polimíticos (Foto 1).

Está assentada, em contato discordante, sobre a Formação São Sebastião, aquífero multicamadas, responsável por 50% do abastecimento das empresas do PIC além das sedes municipais de Camaçari e Dias D'Ávila e comunidades circunvizinhas. Segundo Santos (2010), a Formação São Sebastião, aflora em algumas áreas do PIC e constitui um sistema



Fonte: Santos, 2010 (modificado)

Figura 1. Mapa Geológico Simplificado do Pólo Industrial de Camaçari.



Foto: Pedro Pereira Fonseca (maio, 2004).

Foto 1. Contato basal da Formação Marizal sobre a Formação São Sebastião

aquífero multicamadas da maior importância para o Pólo Petroquímico e cidades circunvizinhas. Essa Formação, que ocorre em toda a Bacia Sedimentar do Recôncavo, possui uma espessura máxima em torno de 3.000 metros na região de Camaçari.

Compreende sedimentos depositados em ambiente fluvial de padrão meandrante que tem como características grandes variações faciológicas, resultando em um pacote sedimentar com grandes heterogeneidades e com predominância de corpos lenticulares. Essas características permitiram interconexões hidráulicas entre os diferentes corpos arenosos bem como, confinamentos localizados, devido a presença dos níveis argilosos. São comuns a presença de crostas de arenito ferruginoso na base da Formação Barreiras em toda a região de Camaçari e Dias D'Ávila.

RESULTADOS

Classificação e evolução da água subterrânea

Com os resultados físico-químicos da Tabela 1, pode-se afirmar que a água subterrânea dos poços estudados é doce com valores de sólidos totais dissolvidos inferiores à $312,0 \text{ mg L}^{-1}$ e condutividade elétrica inferior à $520,0 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$, enquanto a dureza total é branda segundo a classificação de Custódio e Llamas, 1983 (in FEITOSA, 2008). O valor do ferro total está acima do máximo recomendável nos poços da Copene IV, VI, VII e Ródia Nordeste, segundo a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004).

Através do Diagrama Triangular de Piper (1944), estabeleceu-se a classificação das águas subterrâneas e com os resultados das análises físico-químicas obteve-se as suas associações iônicas características e as razões iônicas em unidades de miliequivalentes, conforme estão mostradas na Figura 2 e Tabelas 2 e 3.

Águas cloretadas-sódicas foram encontradas na Central de Polímeros, Copene IV, Copene VII e Ródia Nordeste (Tabela 2). Nesses dois últimos locais já se verificam trocas catiônicas parciais entre o sódio e o cálcio ($r\text{Na}/r\text{Ca} = 0,9$) e o sódio e o magnésio ($r\text{Na}/r\text{Mg} = 0,8$), respectivamente (Tabela 3) devido ao contato água/folhelhos/argilitos muito presentes na Formação São Sebastião em profundidades que variam de 200 metros (Central de Polímeros) a 270 metros (Copene VI). Águas bicarbonatadas sódicas foram encontradas na Copene V e bicarbonatadas cálcicas na Nitroclor, onde a relação $r\text{Cl}/r\text{HCO}_3$ (Tabela 3) é menor do que 1 sendo que nessa última unidade industrial já se verificam fortes trocas catiônicas entre o sódio e o cálcio

($r\text{Na}/r\text{Ca} = 0,2$) devido também à relação água/folhelhos. Águas bicarbonatadas cálcicas magnesianas foram encontradas na Copene VI e Nitroclor II com trocas catiônicas entre o sódio e o cálcio ($r\text{Na}/r\text{Ca} = 0,6$ e $0,7$) e entre o sódio e o magnésio ($r\text{Na}/r\text{Mg} = 0,7$ e $0,7$) respectivamente (Tabela 3) devido ao contato água/folhelhos/argilitos, formando as denominadas águas mistas. Nas águas bicarbonatadas a relação $r\text{Cl}/r\text{HCO}_3$ é sempre inferior a 1 e, segundo a literatura hidroquímica, está relacionada à distância percorrida pela água subterrânea a partir da zona de recarga, ou seja, quanto mais distante for o seu percurso mais bicarbonatos e carbonatos são incorporados à mesma. Outra explicação para essas águas bicarbonatadas seria a presença de níveis de carbonato de cálcio nas formações Marizal e São Sebastião.

As águas subterrâneas evoluem na região de cloretada para bicarbonatadas e de sódicas para cálcicas-magnesianas. Portanto o sódio e o cloreto são os íons predominantes devido a sua proximidade com a zona costeira que se encontra sob o domínio da ação reguladora do Oceano Atlântico e da Baía de Todos os Santos que interferem não apenas nas características térmicas, mas também no regime e na intensidade das recargas do aquífero através das chuvas, sendo marítimos os ventos que trazem as chuvas para a região e conseqüentemente os aerossóis marinhos.

Índice de Saturação do ferro e da sílica

Os índices de saturação calculados mostraram que as únicas fases minerais passíveis de precipitação a partir da água subterrânea nos oito poços estudados na região do Polo são a Goetita (FeOOH) e Hematita (Fe_2O_3), além de haver precipitações de $\text{Fe}(\text{OH})^3$ e quartzo (SiO_2) sendo que esse último foi verificado apenas na área da Nitroclor (Tabela 4).

Tabela 1. Resultados analíticos das águas subterrâneas (mg L⁻¹). Fonte: Siagas (BRASIL, 2010).

Dur = dureza; STD = sólidos totais dissolvidos; turb. = turbidez (em UNT); CE = Condutividade elétrica (μS/cm); IS = Índice de Saturação.

	HCO ₃	Ca	Cl	Dur	F	Fe	K	Mg	Na	SiO ₂	STD	SO ₄	CE	Turb	pH	Fe(OH) ₃	Goetita I.S	Hematita IS	Quartzo IS	Calcedônia IS
Central de Polímeros	9	3	7	12	0,6	0,2	4,5	2,2	6	20,8	68		48	4,4	7,1	2,05	7,94	17,9	0,19	-0,24
Copene IV	13	5	8	7		1		0,49	6	14,3	100	0,9	73	30		2,17	8,03	18,06	0,03	-0,4
Copene V	16,5	3	7	12	0,1	0,1	5,1	2,2	5,5	9,5	102	1	57	3	6,8	0,62	6,51	15,03	-0,16	-0,58
Copene VII	23,5	8	18	23	0,1	0,4	9,5	3,7	8,5	12,6	82	2,8	126	7,6	7,7	2,47	8,36	18,73	-0,03	-0,46
Copene VI	81,6	42	18	76	0,2	1,3	7	24	30		312	4,1	520	32	6,8	1,68	7,71	17,45	0,12	-0,31
Ródia Nordeste	21,4	2	17	15	0	0,4	4	13	20	19,5	132	1	150	9,3	6	-2,67	3,36	8,75	0,1	-0,31
Nitroclor	48,1	50	11	69	0,2	0	1,4	4,7	10	50	164	6,4	200	1	7	0,36	6,39	14,81	0,51	0,1
Nitrocarbono II	5,9	7,4	13	25	0,1	0,1	2	4,3	6	25	42	0,4	70	0,5	6,8	0,6	6,63	15,29	0,21	-0,21

Tabela 2. Associações iônicas características.

Poços	Local	Cátions	Anions	Classificação
1	Central de Polímeros	rNa > rMg > rCa	rCl > rHCO ₃ > rSO ₄	Cloretada Sódica
2	Copene IV	rNa > rCa > rMg	rCl > rHCO ₃ > rSO ₄	Cloretada Sódica
3	Copene V	rNa > rMg > rCa	rHCO ₃ > rCl > SO ₄	Bicarbonatada Sódica
4	Copene VII	rNa > rCa > rMg	rCl > rHCO ₃ > rSO ₄	Cloretada Sódica
5	Copene VI	rCa > rMg > rNa	rHCO ₃ > rCl > SO ₄	Bicarbonatada Cálcica Magnésiana
6	Ródia Nordeste	rNa > rMg > rCa	rCl > rHCO ₃ > rSO ₄	Cloretada Sódica
7	Nitroclor	rCa > rMg > rNa	rHCO ₃ > rCl > SO ₄	Bicarbonatada Cálcica
8	Nitrocarbono II	rCa > rMg > rNa	rCl > rHCO ₃ > rSO ₄	Cloretada Cálcica Magnésiana

r = valores em miliequivalente/litro

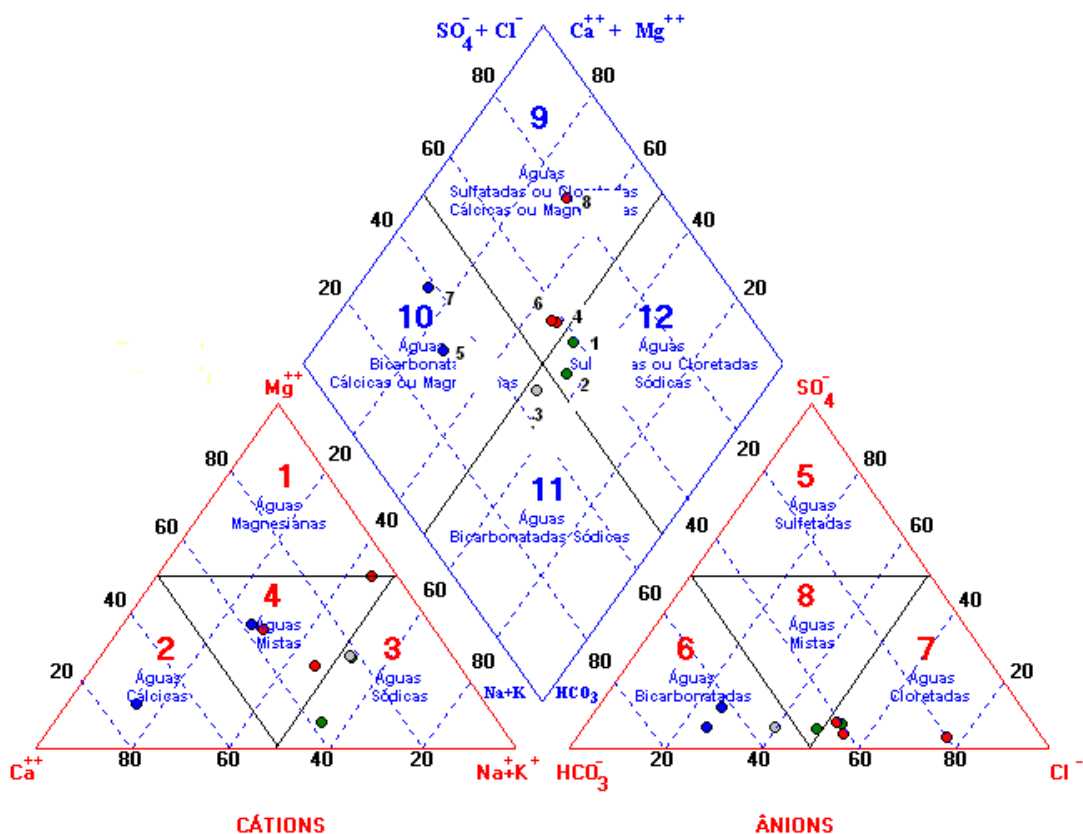


Figura 2. Classificação das águas subterrâneas - Diagrama Triangular de Piper.

Tabela 3. Razões iônicas e os Fácies Hidrogeoquímicos.

Poços	Local	rCl/rHCO3	rNa/rCa	rNa/rMg
1	Central de Polímeros	1,3	1,7	1,4
2	Copene IV	1,1	1,0	6,5
3	Copene V	0,7	1,6	1,3
4	Copene VII	1,3	0,9	1,2
5	Copene VI	0,4	0,6	0,7
6	Ródia Nordeste	1,3	8,7	0,8
7	Nitroclor	0,4	0,2	1,1
8	Nitrocarbono II	3,9	0,7	0,7

r = valores em miliequivalente/litro

Tabela 4. Valores do Índice de Saturação (IS) do ferro.

Índices de saturação na Central de Polímeros				
FASE	IS	Log IAP	Log KT	Fórmula
Fe(OH) ₃ (a)	2,05	6,94	4,89	Fe(OH) ₃
Goethita	7,94	6,94	-1,00	FeOOH
Hematita	17,90	13,89	-4,01	Fe ₂ O ₃
Índices de saturação na Copene IV				
FASE	IS	Log IAP	Log KT	Fórmula
Fe(OH) ₃ (a)	2,14	7,03	4,89	Fe(OH) ₃
Goethita	8,03	7,03	-1,00	FeOOH
Índices de saturação na Copene V				
FASE	IS	Log IAP	Log KT	Fórmula
Fe(OH) ₃ (a)	0,62	5,51	4,89	Fe(OH) ₃
Goethita	6,51	5,51	-1,00	FeOOH
Hematita	15,03	11,02	-4,01	Fe ₂ O ₃
Índices de saturação na Copene VII				
FASE	IS	Log IAP	Log KT	Fórmula
Fe(OH) ₃ (a)	2,47	7,36	4,89	Fe(OH) ₃
Goethita	8,36	7,36	-1,00	FeOOH
Hematita	18,73	14,72	-4,01	Fe ₂ O ₃
Índices de saturação na Copene VI				
FASE	IS	Log IAP	Log KT	Fórmula
Goethita	7,71	6,57	-1,14	FeOOH
Hematita	17,45	13,15	-4,31	Fe ₂ O ₃
Índices de saturação na Ródia Nordeste				
FASE	IS	Log IAP	Log KT	Fórmula
Goethita	3,36	2,22	-1,14	FeOOH
Hematita	8,75	4,45	-4,31	Fe ₂ O ₃
Índices de saturação na Nitroclor				
FASE	IS	Log IAP	Log KT	Fórmula
Calcedônia	0,10	-3,41	-3,51	SiO ₂
Fe(OH) ₃ (a)	0,36	5,25	4,89	Fe(OH) ₃
Goethita	6,39	5,25	-1,14	FeOOH
Hematita	14,81	10,50	-4,31	Fe ₂ O ₃
Quartzo	0,51	-3,41	-3,92	SiO ₂
Índices de saturação na Nitrocarbono II				
FASE	IS	Log IAP	Log KT	Fórmula
Fe(OH) ₃ (a)	0,60	5,49	4,89	Fe(OH) ₃
Goethita	6,63	5,49	-1,14	FeOOH
Hematita	15,29	10,99	-4,31	Fe ₂ O ₃

Especiação Química do ferro e da sílica

O ferro foi o único elemento estudado nesse trabalho (Tabela 1) que se apresenta em alguns pontos com teores acima do valor máximo recomendado pela Portaria 518/2004 para consumo humano. É o único juntamente com a sílica capaz de precipitarem-se quando atingem determinados índices de saturação. A sílica encontra-se essencialmente sob a forma de ácido silícico (H₄SiO₄) e precipita-se sob a forma de quartzo na Nitroclor (Tabela 4).

O ferro apresenta-se na Central de Polímeros dissolvido sob a forma solúvel de Fe²⁺ (55,9%) (Tabela 5). Sob a forma de Fe³⁺ ocorre como Fe(OH)₃ (26,0%) e Fe(OH)²⁺ (16,6%), enquanto a

representatividade do restante das espécies químicas do ferro é inferior a 2%.

Na Copene IV a distribuição das espécies químicas mostrou que o ferro solúvel - Fe²⁺ representa 68,9%. Sob a forma de Fe³⁺ apresenta-se sob como hidróxidos Fe(OH)₃ (16,1%) e Fe(OH)²⁺ (12,9%). A representatividade das espécies químicas restantes do ferro entra com 2,1%.

Na Copene V a distribuição das espécies químicas de ferro na água subterrânea está sob a forma solúvel de Fe²⁺ (85,7%). Sob a forma de hidróxidos Fe(OH)₃ representa 5,0% e Fe(OH)²⁺ entra com 6,3%. A representatividade das espécies químicas restantes do ferro representam 3,0%.

Tabela 5. Especificação do ferro total.

	Espécie química	Molaridade	
		Concentração (mmol/L)	Proporção (%)
Central de polímeros		$9,311 \times 10^{-6}$	100
	Fe ²⁺	$5,205 \times 10^{-6}$	55,9
	Fe (OH) ₃	$2,423 \times 10^{-6}$	26,00
	Fe (OH) ²⁺	$1,541 \times 10^{-6}$	16,6
	Outros		1,5
Copene IV		$1,8267 \times 10^{-5}$	100
	Fe ²⁺	$1,258 \times 10^{-5}$	68,9
	Fe (OH) ₃	$2,938 \times 10^{-6}$	16,1
	Fe (OH) ²⁺	$2,351 \times 10^{-6}$	12,9
	Outros		2,1
Copene V		$1,7905 \times 10^{-6}$	100
	Fe ²⁺	$1,534 \times 10^{-6}$	85,7
	Fe (OH) ²⁺	$1,135 \times 10^{-7}$	6,3
	Fe (OH) ₃	$8,935 \times 10^{-8}$	5,0
	Outros		3,0
Copene VI		$2,328 \times 10^{-5}$	100
	Fe ²⁺	$1,721 \times 10^{-5}$	73,9
	FeHCO ₃	$2,005 \times 10^{-6}$	8,6
	Fe (OH) ²⁺	$2,016 \times 10^{-6}$	8,7
	Fe (OH) ₃	$1,790 \times 10^{-6}$	7,7
Copene VII	outros		1,1
		$78,8 \times 10^{-7}$	100
	Fe ²⁺	$2,262 \times 10^{-7}$	2,9
	FeHCO ₃ ⁺	$8,710 \times 10^{-9}$	0,1
	FeCO ₃	$4,699 \times 10^{-9}$	0,0
	Fe (OH) ₃	$6,312 \times 10^{-6}$	80,1
Fe (OH) ²⁺	$1,022 \times 10^{-6}$	13,0	
Nitrocarbono II	Outros		3,9
		$8,954 \times 10^{-7}$	100
	Fe (2+)	$6,082 \times 10^{-7}$	67,9
	Fe(OH) ₃	$1,492 \times 10^{-7}$	16,7
	Fe (OH) ²⁺	$1,275 \times 10^{-7}$	14,2
Nitroclor	Outros		1,2
		$3,582 \times 10^{-7}$	100
	Fe (2+)	$1,946 \times 10^{-7}$	54,3
	FeHCO ₃ ⁺	$1,418 \times 10^{-8}$	4,0
	Fe (OH) ₃	$8,518 \times 10^{-8}$	23,8
	Fe (OH) ²⁺	$5,960 \times 10^{-8}$	16,6
Rodia Nordeste	Outros		1,3
		$1,7903 \times 10^{-7}$	100
	Fe (2+)	$1,720 \times 10^{-7}$	96,1
	Fe (OH) ²⁺	$5,509 \times 10^{-10}$	0,3
			0,04
			3,6

Na Copene VI a distribuição das espécies químicas sob a forma solúvel de Fe²⁺ representam 73,9% e FeHCO₃⁺ 8,6%. O Fe³⁺ está sob a forma de Fe(OH)²⁺ (8,7%) e Fe(OH)₃ (7,7%). A representatividade das espécies químicas restantes do ferro entra com 1,1%.

Na Copene VII a distribuição das espécies químicas estão sob a forma solúvel de Fe²⁺ (2,9%), FeHCO₃⁺ (0,1%) e FeCO₃ (0,01%). Sob a forma de Fe³⁺ tem-se os hidróxidos Fe(OH)₃ (80,1%) e Fe(OH)²⁺ (13,0%). A representatividade das outras espécies químicas restantes do ferro representa entra com 3,9%.

Na Nitrocarbono II o Fe²⁺ predomina entre os íons ferrosos (67,9%). Sob a forma de Fe³⁺ apresenta-se como Fe(OH)₃ (16,7 %) e Fe(OH)²⁺

(14,2%). A representatividade das espécies químicas restantes do ferro é de 1,2%.

Na Nitroclor, o Fe²⁺ solúvel é majoritário (54,3%), enquanto sob a forma de FeHCO₃⁺ representa 4,0%. Sob a forma de Fe³⁺ apresenta-se como Fe(OH)₃ (23,8%) e Fe(OH)²⁺ (16,6%). A representatividade das espécies químicas restantes do ferro representa 1,3%.

Na Rodia Nordeste as espécies associadas ao ferro solúvel são Fe²⁺ (96,1%). Sob a forma de Fe³⁺ apresenta-se como Fe(OH)²⁺ (0,3%) e Fe(OH)₃ (0,04%). A representatividade das espécies químicas restantes do ferro representa 3,6%.

CONCLUSÕES

A água subterrânea na região do Pólo Industrial de Camaçari pode ser considerada doce, com baixa salinidade conforme mostram os valores da Condutividade elétrica e dos sólidos totais dissolvidos. De um modo geral, a qualidade dessa água para consumo humano atende as especificações da Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde do Brasil considerando os elementos estudados nesse trabalho, com exceção do ferro que em alguns locais apresentam valores acima do máximo recomendado pela citada Portaria.

São águas cloretadas sódicas, cloretadas cálcicas magnesianas, bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas cálcicas-magnesianas. Possivelmente as bicarbonatadas representam águas que fizeram percursos maiores a partir da zona de recarga ou percolaram níveis ou lentes de carbonato de cálcio muito comuns nas Formações Marizal e São Sebastião. As águas cálcicas magnesianas representam um indicio de trocas catiônicas entre o sódio/cálcio e sódio/magnésio, devido ao contato da água com as lentes de folhelhos e/ou argilitos também muito comuns no Sistema Aquífero Marizal-São Sebastião.

A água apresenta-se saturada em ferro e, em alguns locais, por sílica (SiO₂) podendo precipitar-se sob a forma de goetita, hematita e quartzo respectivamente, quando as condições de pH são propícias e o ambiente é oxidante. O Fe²⁺ encontra-se dissolvido ionicamente na água subterrânea, enquanto o Fe³⁺ apresenta-se predominantemente sob a forma de Fe(OH)₃. A sílica está sob a forma de H⁴SiO₄ precipitando-se sob a forma de quartzo na área da unidade industrial Nitroclor. Assim, o elemento ferro está majoritariamente presente sob a forma solúvel de Fe²⁺. Uma parte desse ferro solúvel sofre hidratação para formar Fe(OH)²⁺ e em seguida se oxida formando o Fe(OH)₃. Quando a sua concentração atinge valores de índice de saturação (IS) acima de zero (positivo) e as condições físico-químicas são favoráveis precipita-se sob a forma de óxido (hematita) ou

hidróxido (Goetita). Os demais elementos analisados na água subterrânea estão solubilizados sem condições de precipitação.

A concentração do ferro na água subterrânea oriunda do sistema aquífero Marizal/São Sebastião, pode conferir cor e sabor, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários. Também pode provocar incrustações em canalizações e tubulações de máquinas e equipamentos principalmente de refrigeração. Se desenvolver ferrobactérias provoca contaminação biológica da água na própria rede de distribuição.

REFERÊNCIAS

- BAHIA Superintendência de Recursos Hídricos. **Plano Diretor de Recursos Hídricos- Bacias Hidrográficas do Recôncavo Norte/Inhambupe**. Documento Síntese, Relatório Final, II. Salvador, 1996.
- BRASIL Ministério da Saúde. **Portaria nº 518**, de 25 de março de 2004. Disponível em: <http://dtr2004.saude.gov.br/dab//saudebucal/legislacao/portaria518_25_03_04.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2010.
- BRASIL Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Sistema de Informações de Água Subterrânea (Siagas). <http://www.cprm.gov.br> acessado em dezembro de 2010.
- COFIC. **Comitê de fomento industrial de Camaçari**. Disponível em: <<http://www.coficpolo.com.br>>. Acesso em: 15 maio 2009.
- DEUTSCH, W. J. **Groundwater geochemistry: fundamentals and applications to contamination**. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers, 1997. 220 p.
- FEITOSA, FERNANDO A.C. Hidrogeologia: Conceito e Aplicações / organização e coordenação científica. 3ª Ed. Rio de Janeiro R.J.; CPRM: LABHID, 2008. 812p.
- FONSECA, P.P. **Mapeamento geológico e zoneamento geoambiental da região do Pólo Industrial de Camaçari, através do uso de ortofotos digitais**. 2004. 81 f. Trabalho Final de Graduação (Curso de Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2004.
- LIMA, C.C.U. **Reconstrução arquitetural da Formação Marizal (Cretáceo Inferior) na Bacia do Recôncavo, Bahia, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 1991.
- PARKHURST, D.L. **User's guide to PHREEQC** - a computer program for speciation, reaction path, advective transport, and inverse geochemical calculation. U.S. Geological Survey Water Resource Investigations, 1996, p. 95-4227. Disponível em: <<http://gwrp.cciw.ca/gwrp/software/software.html>>. Acesso em: 14 jun. 2009.
- PIPER, A.M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. **Transactions American Geophysical Union**, Washington, v. 25, p. 911-923, 1944.
- SANTOS, P.R.P.; OLIVEIRA, I.B. Avaliação do gerenciamento das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Recôncavo Norte, estado da Bahia, utilizando a concessão da outorga de uso como indicador do nível gestão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17; SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 8. **Anais...** São Paulo, SP, 2007.
- SANTOS, P. R. P. dos. **Estudo da vulnerabilidade à poluição do aquífero Marizal na região de influência do pólo industrial de Camaçari (PIC)-BA**. 2010, 101 f. Monografia (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2010.