



## Estudo Hidroquímico e Isotópico ( $^{18}\text{O}$ ) do Aquífero Aluvial do rio Banabuiú – Trecho Morada Nova – Ceará

Diolande Ferreira Gomes<sup>a</sup>, Idembergue Barroso Macedo Moura<sup>b</sup>, Horst Frischkorn<sup>d</sup>, Denise  
 Maria Santos<sup>c</sup>, George Satander Sá Freire<sup>a</sup>

*Recebido em 26 de novembro de 2009 / Aceito em 08 de setembro de 2010*

### Resumo

A área de estudo é o aluvião do rio Banabuiú, onde se encontra o Perímetro Irrigado de Morada Nova, nordeste do Ceará. Nesta área foram coletadas amostras de águas superficiais e subterrâneas para análises de elementos químicos (elementos maiores e metais pesados) e o isótopo ambiental oxigênio-18, objetivando fornecer uma base de dados para avaliação atual da qualidade da água, a partir do monitoramento de cerca de dois anos, e para futuros estudos de gestão dos recursos hídricos e melhor compreensão dos mecanismos de recarga do aquífero. As águas subterrâneas são predominantemente doces e de boa qualidade, mas alguns pontos apresentam águas salobras e com concentrações preocupantes de nitrato. Os baixos teores em metais tóxicos referem-se a níveis naturais na água. Os valores encontrados de  $\delta^{18}\text{O}$  constituem-se numa característica do aquífero aluvial, que é decorrente da constante interação com a água superficial, apontando mais para uma alimentação do aquífero a partir do rio do que por águas pluviais.

Palavras-Chave: Interação rio/aluvião, Nitrato, Metais Pesados, Oxigênio-18

### Abstract

*The study area is the alluvial plain of Banabuiú river, where the Irrigated Perimeter of Morada Nova is located. Samples of surface and groundwater for analyses of major ions, heavy metals and the environmental isotope oxygen-18 in order to provide a database for an actual evaluation of water quality, based on two years of monitoring, further studies of water management and for better understanding of the recharge to the aquifer. The groundwater is predominantly fresh and of good quality, but some points yield brackish water and nitrate concentrations of concern. Toxic metal concentrations are of natural levels in water. The values of  $\delta^{18}\text{O}$  are characteristic of an alluvial aquifer with constant interaction with surface water, indicating aquifer recharge rather through the river than by local rainfall.*

*Keywords: Interaction river/alluvium, nitrate, heavy metals, oxygen-18*

<sup>a</sup>Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Campus Universitário do Pici, Bloco 912. LGMA. CEP 60.455-760. Fortaleza-Ceará, <sup>b</sup> Programa de Pós Graduação em Geologia UFC, <sup>c</sup> Programa de Pós Graduação UFPE, <sup>d</sup> Depto. de Engenharia Hidráulica da UFC

## 1. Introdução

O trabalho foi desenvolvido na área do Perímetro Irrigado de Morada Nova (PIMN), que está assentado sobre os sedimentos aluvionares do rio Banabuiú, na porção Nordeste do Estado do Ceará. O PIMN é irrigado com águas dos açudes públicos Arrojado Lisboa (Açude do Banabuiú) e Vinicius Barredo (Açude Pedras Brancas). No entanto, no período de estiagem há uma forte demanda de água subterrânea para a irrigação das lavouras (cultivo de arroz, forragem e feijão, basicamente), com 70% do PIMN destinado ao cultivo do arroz.

No estado do Ceará, devido a elevada taxa de evaporação, as águas apresentam-se, de modo geral, levemente salobras, com tendência crescente nos períodos de estiagem prolongada, podendo tornar-se inadequadas para o consumo humano. Na época de cheia, os mananciais superficiais, quanto ao teor de sais, apresentam melhor qualidade de água; no entanto, é nesse período que são encontrados teores preocupantes de contaminantes, principalmente orgânicos, oriundos de diversas atividades como a agropecuária, que são lixiviados da superfície para os rios e, dependendo da geologia e profundidade do nível freático do aquífero aluvial, pode haver contaminação deste, muitas vezes a principal fonte de água potável para a população rural.

Os depósitos aluvionais, devido a boa vazão dos poços, a qualidade de água e solos férteis, podem vir a ser intensamente explorados vindo a causar a degradação das águas. Desta forma, tornam-se necessários estudos que avaliam a qualidade da água durante vários ciclos hidrológicos.

Dada a importância da água, é necessário cuidar da proteção dos mananciais contra os agentes poluidores, conhecer os processos naturais responsáveis pela qualidade da água e identificar os mecanismos de recarga dos aluviões, que podem ter origem nas precipitações e /ou na alimentação pelo rio perenizado.

Quando a extração supera a recarga do aquífero ou quando o bombeamento está

aquífero. O aquífero pode passar a drenar os recursos hídricos superficiais, ocasionando importantes perdas em trânsito de vazão nos rios perenizados. A situação piora em épocas de estiagem, quando o nível de água no aquífero desce mais, devido à falta de recarga e excessiva extração de água subterrânea para uso na irrigação de lavouras

## 2. Área de Estudo

Situado a 172 km da capital cearense, ligado através dos trechos da BR 116 e CE 138, o município de Morada Nova está localizado na microrregião do Baixo Jaguaribe (Fig. 1). O clima tropical quente semi-árido, predominante no Nordeste brasileiro, é marcado pela existência de dois períodos definidos: um seco e longo e outro úmido, curto e irregular (IBGE, 1999 e IPECE, 2006). Esse último ocorre de janeiro a maio, com maiores precipitações no mês de abril, onde, em geral, atingem a faixa dos 200mm.

Os outros meses do ano são secos ou de baixas precipitações. O período de agosto a novembro é o de menor precipitação pluviométrica. Nos anos em que foram realizadas coletas de amostras de água dos poços e rio, a precipitação foi 643mm (2006), 608mm (2007) e 728mm (2008), registrada no posto de Morada Nova (FUNCEME, 2008).

### 2.1 Aspectos Geológicos e Hidrogeológicos

A maior parte da área é formada por uma planície com relevo bastante plano na zona dos aluviões. Partindo das Formações mais antigas, a litoestratigrafia da área em estudo está representada por Complexo Jagaretama (ortognaisse, anfibólio etc), Formação Santarém (micaxisto, quartzito etc), intrusões graníticas, Grupo Barreiras (Formação Faceira) e depósitos aluvionares (Fig. 1).

As rochas ígneas e metamórficas da área correspondem a granitos, granodioritos, micaxistos, quartzitos, ortognaises e anfibólitos. De acordo com

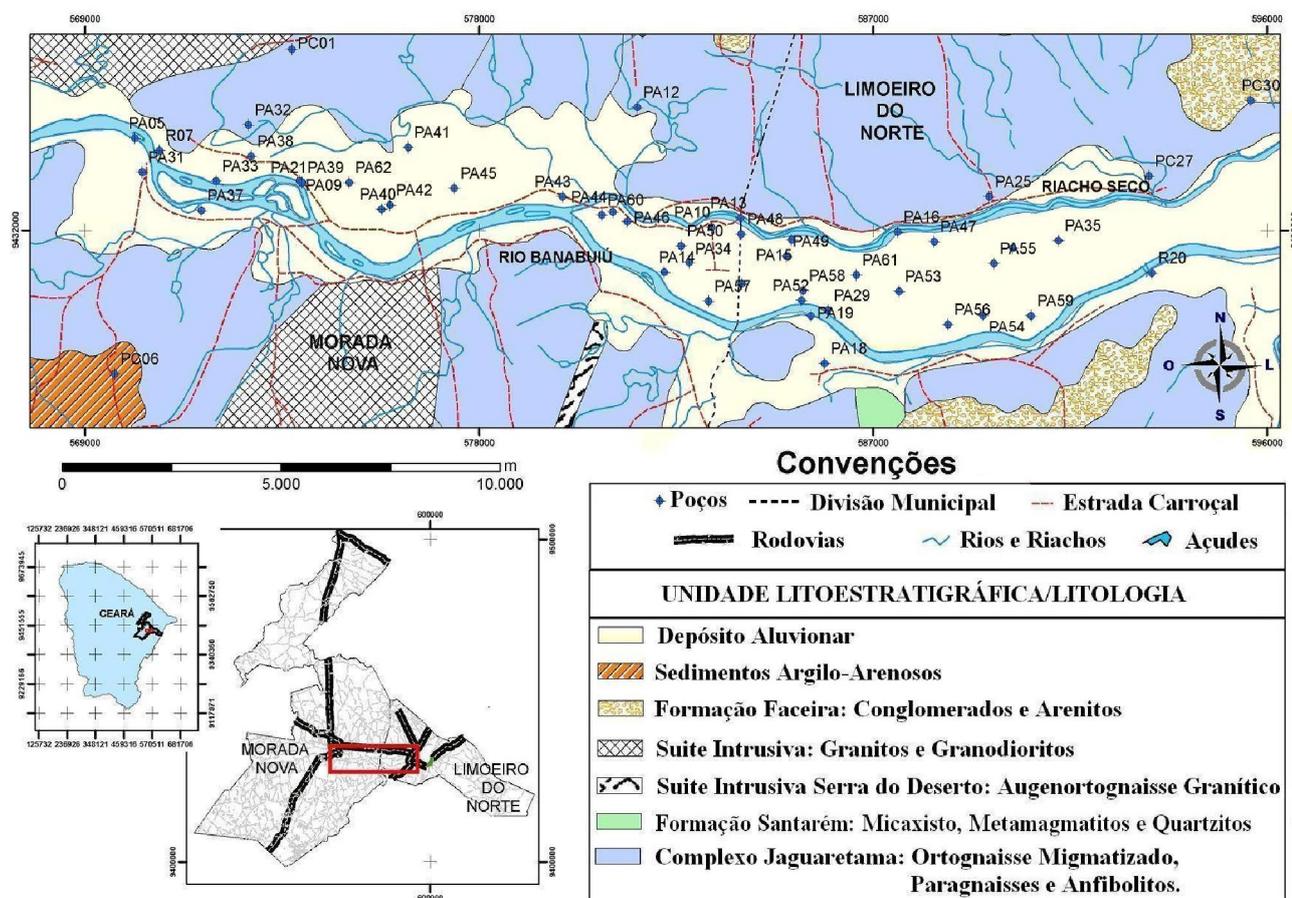


Fig 1. Mapa de localização da área estudada com os pontos de amostragem, em base geológica (CPRM, 2003).

Gaspary *et al.* (1967), o substrato metamórfico apresenta uma massa migmatítica com algumas ocorrências de migmatito granítico concordante, sobre a qual aparecem faixas de micaxistos, a oeste de Limoeiro do Norte. O termo Formação Faceira, de acordo com Gaspary *et al.* (1967), refere-se a formações do tipo aluvionar, bem desenvolvida.

Ocorre em forma de fragmentos na parte leste da área. Os depósitos aluvionares constituem a maior parte do Perímetro Irrigado de Morada Nova. Eles se estendem a partir de Morada Nova, porção Oeste da área, e vão até Limoeiro do Norte, porção Leste, formando uma planície de cerca 83 km<sup>2</sup>. Em geral, os depósitos aluvionares são representados por sedimentos areno-argilosos recentes (Holoceno), que ocorrem margeando as calhas dos rios e riachos que drenam a área.

Os recursos hídricos existentes em Morada Nova compõem-se de águas superficiais (açudes, barragens, lagoas e rios perenizados) e de águas subterrâneas (poços tubulares e cacimbas), sendo o principal rio da área o Banabuiú que é regularizado pelo açude Arrojado Lisboa (Banabuiú), construído no Boqueirão do Meio, no Município de Banabuiú, a uma distância de 70 km de Morada Nova. Dada a insuficiência de recursos hídricos superficiais, verificadas sobretudo nas épocas de estiagem, em algumas áreas do PIMN adotam-se como alternativas para irrigação e abastecimento os mananciais hídricos subterrâneos, através de captação por poços amazonas, tubulares rasos e profundos. A Fig. 2 ilustra o tipo mais comum de poço construído no aluvião. Escava-se uma cacimba de 2 a 10m de profundidade para colocar o motor (de baixa potência) dentro, e no centro da cacimba é instalado o poço tubular.

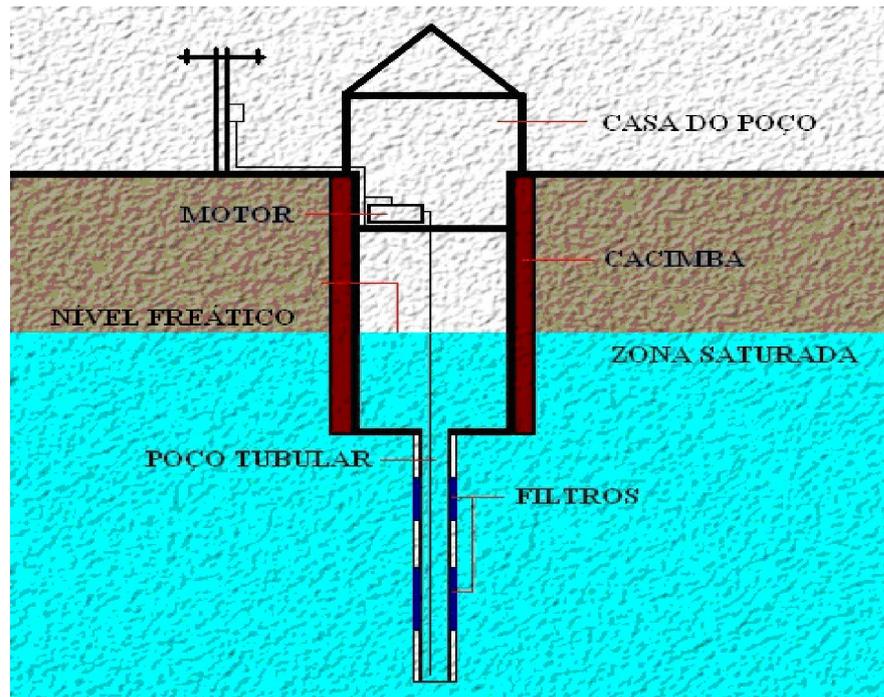


Fig 2. Esquema de construção de poços no aluvião do rio Banabuiú.

### 3. Metodologia

Foram coletadas amostras do rio Banabuiú em dois pontos e no aluvião, de 50 poços, no período de mar/06 a mar/08, conforme Quadro 1. A preservação das amostras para determinação de metais pesados consistiu na acidificação com HCl (50  $\mu\text{L}$  do ácido em 50 mL da amostra) e filtração; para amostras de oxigênio-18 usaram-se frascos com perfeita vedação, para evitar qualquer evaporação, e para as demais análises químicas as amostras foram armazenadas sob refrigeração até a chegada no Laboratório Geoquímica Ambiental do Departamento de Geologia da UFC, onde foram realizadas as análises conforme metodologia descrita em APHA (1998).

Os parâmetros investigados foram: potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), alcalinidade, dureza, cálcio, magnésio, cloreto, sódio, potássio, sulfato, sílica, ferro, fluoreto, nitrato e nitrogênio amoniacal total. Neste último, empregou-se o método fenol de Koroleff (Aminot e Chaussepied, 1983) e os reagentes foram adicionados imediatamente após a coleta das amostras, que foram mantidas ao abrigo da luz até a chegada no laboratório. Os teores dos elementos Pb, Cd, Cr, Zn, Al, Mn, Ba, Co e Se, foram Ótica),

modelo Optima 4300, Perkin Elmer com curva de calibração.

As medidas de  $^{18}\text{O}$  são feitas em relação ao padrão VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water), que corresponde aproximadamente à água média dos oceanos, e usam como parâmetro de quantificação o valor de  $\delta^{18}\text{O}$  (‰)

$$\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = \left( \frac{R_a - R_p}{R_p} \right) \times 10^3$$

onde:

Ra – razão isotópica ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) entre o isótopo pesado e raro,  $^{18}\text{O}$ , e o mais abundante,  $^{16}\text{O}$ , da amostra;

Rp – razão isotópica ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) no padrão.

As análises foram realizadas no Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), Piracicaba – SP, utilizando espectrometria de massa, com um erro de aproximadamente  $\pm 0,15$  ‰.

De acordo com a IAEA (1981), o valor médio ponderado de  $\delta^{18}\text{O}$  (‰) para chuva de Fortaleza é  $-2,92$ , baseado em 10 anos de estudo

## QUADRO 1 – Cadastramento dos pontos de água (poços P e rio R) estudados

AMOSTRA	Coord N	Coord E	Profundidade (m)	GEOLOGIA
PA05	9434045	570137	15	ALUVIÃO
PC06	9428800	569672	25	CRISTALINO
R07	9433774	570697	RIO	RIO
PA09	9433106	573897	14	ALUVIÃO
PA10	9432072	583305	9	ALUVIÃO
PA12	9434729	581611	SEM DADOS	ALUVIÃO
PA13	9432273	583974	SEM DADOS	ALUVIÃO
PA14	9431072	582230	SEM DADOS	ALUVIÃO
PA15	9431793	585139	9	ALUVIÃO
PA16	9431968	587558	9	ALUVIÃO
PA17	9431604	590196	SEM DADOS	ALUVIÃO
PA18	9429034	585892	7	ALUVIÃO
PA19	9430106	585580	9	ALUVIÃO
R20	9431055	593372	RIO	RIO
PA21	9433066	573966	14	ALUVIÃO
PA22	9432156	598977	SEM DADOS	ALUVIÃO
PA23	9432324	600024	10	ALUVIÃO
PA24	9430380	598088	SEM DADOS	ALUVIÃO
PA25	9432748	589651	9	ALUVIÃO
PC26	9437918	594408	SEM DADOS	CRISTALINO
PA28	9430372	599161	SEM DADOS	ALUVIÃO
PA29	9430230	585967	18	ALUVIÃO
PC30	9434881	595618	60	CRISTALINO
PA31	9433288	570307	9	ALUVIÃO
PA32	9434338	572732	15	ALUVIÃO
PA33	9433100	571994	10	ALUVIÃO
PA34	9431290	582800	SEM DADOS	ALUVIÃO
PA35	9431780	591237	SEM DADOS	ALUVIÃO
PA36	9434034	572724	15	ALUVIÃO
PA37	9432449	571651	12	ALUVIÃO
PA38	9433648	572793	15	ALUVIÃO
PA39	9433066	573940	14	ALUVIÃO
PA40	9432470	575767	9,5	ALUVIÃO
PA41	9433840	576378	12	ALUVIÃO
PA42	9432565	575965	9,5	ALUVIÃO
PA43	9432751	579900	12	ALUVIÃO
PA44	9432413	581055	15	ALUVIÃO
PA45	9432940	577434	12	ALUVIÃO
PA46	9432197	581389	15	ALUVIÃO
PA47	9431751	588397	10	ALUVIÃO
PA48	9431920	583984	8	ALUVIÃO
PA49	9431427	585020	12	ALUVIÃO
PA50	9431655	582614	12	ALUVIÃO
PA51	9430819	584000	15	ALUVIÃO
PA52	9430446	585368	15	ALUVIÃO
PA53	9430652	587592	7	ALUVIÃO
PA54	9430119	589506	9	ALUVIÃO
PA55	9431266	589757	8	ALUVIÃO
PA56	9429915	588715	18	ALUVIÃO
PA57	9430431	583239	12	ALUVIÃO
PA58	9430665	585399	12	ALUVIÃO
PA59	9430104	590609	18	ALUVIÃO
PA60	9432346	580800	13	ALUVIÃO
PA61	9431011	586617	12	ALUVIÃO
PA62	9433061	575032	14	ALUVIÃO

(entre 1965 e 1976). A dependência da concentração de oxigênio-18 com a distância à costa (efeito continental) foi avaliada por SANTIAGO (1984), a partir de dados de oxigênio-18 das chuvas de Fortaleza (10 km da costa), Pentecoste (50 km), Inhuporanga (65 km) e Paramoti (75 km), obtendo a correlação:  $\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = -0,019 (x/\text{km}) - 1,43$ . Extrapolando para as chuvas de Limoeiro do Norte e Morada Nova, que distam aproximadamente 95 e 120 km do mar, encontra-se  $\delta^{18}\text{O} \cong -3,2\text{‰}$  e  $\delta^{18}\text{O} \cong -3,7\text{‰}$ , respectivamente.

#### 4. Resultados e Discussão

##### 4.1. pH

As águas do rio Banabuiú apresentaram valores de pH alcalino, com média de  $7,90 \pm 0,35$ . No período chuvoso (Mar/06, Fev/07, Mai/07 e Mar/08), o pH foi menor que 8,2 e nos meses de estiagem chegou a 8,5.

No rio Jaguaribe, trecho Limoeiro do Norte, os elevados valores de pH (máximo de 9,0) também foram detectados nos meses mais secos (GOMES, 2005). Este aumento no período seco está relacionado à falta de renovação da água, causando o enriquecimento na concentração de nutrientes, oriundos da mineralização da matéria orgânica retida no corpo hídrico, o que leva a um aumento de microalgas (fitoplânctons), que durante o dia utilizam o  $\text{CO}_2$  no processo de fotossíntese. Como o  $\text{CO}_2$  é o principal fator de controle do pH (ESTEVES, 1988), o consumo deste gás contribui no aumento do pH da água.

No aquífero, o pH da água foi geralmente abaixo do pH médio mensal das águas do rio, ficou entre 7,07 e 8,29, e tendeu a acompanhar as mesmas variações do rio, exceto ao final da época de estiagem quando o pH do rio aumentou (Fig. 3). O aumento no aluvião acontece com um atraso de três meses em relação ao rio que o alimenta.

##### 4.2. Condutividade Elétrica

A CE média do rio Banabuiú foi  $450 \mu\text{S}/\text{cm}$  (R07) a montante, e  $618 \mu\text{S}/\text{cm}$  (R20) a jusante do PIMN, com uma média de  $534 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

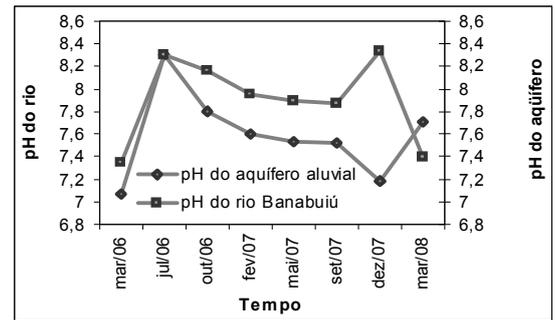


Fig 3. Comparação de valores de pH entre as águas do aquífero aluvial e do rio Banabuiú

Em comparação com o rio Jaguaribe, o Banabuiú apresenta águas sempre com mais sais, possivelmente pela contribuição de águas salobras provenientes de fraturas de terrenos cristalinos. No rio Jaguaribe a média foi  $337 \mu\text{S}/\text{cm}$  para o período de 04/00 a 07/02 (GOMES, 2005).

No rio Banabuiú, as diferenças de montante para jusante do fluxo, são fracas; mas foi observado um leve aumento durante quase todo o período de estudo. Este aumento da condutividade elétrica a jusante deve-se à evaporação, pois, há uma razoável distância (23 km) entre os locais (R07 e R20), favorecendo a evaporação, que também aumentou os valores de oxigênio-18 da água nas épocas mais secas (Tab. 1).

A CE média das águas do aquífero aluvionar foi  $828 \mu\text{S}/\text{cm}$  (Tabela 2), superior à CE média do rio Banabuiú. Os poços (PA09, PA21, PA22, PA24, PA28, PA31, PA32, PA33, PA34, PA36, PA39, PA42, PA43, PA44, PA45, PA53, PA54, PA57 e PA61) captam águas com CE sempre superior à média do aquífero, podendo chegar à CE máxima de  $2770 \mu\text{S}/\text{cm}$  no poço PA31.

Neste poço foram observadas as maiores variações temporais nos parâmetros químicos, refletidas sobretudo nos valores da CE, que variaram de  $446 \mu\text{S}/\text{cm}$  (água doce) a  $2770 \mu\text{S}/\text{cm}$  (água salobra), evidenciando o quão dinâmica pode ser a qualidade da água subterrânea em meio poroso, visto que depende da recarga direta, através de chuvas atuais e da infiltração a partir do rio, podendo haver contribuição de águas salobras de aquíferos fissurais.

Os demais poços (num total de 31) captam águas (média dos poços) menos salobras em toda época do ano, podendo chegar a condutividade mínima no aluvião de 331  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (PA23); estes poços, apresentam águas com salinidade semelhante à do rio, e em alguns meses é igual ou menor que a do rio.

Três poços (PA38, PA39 e PA44) deste

estudo coincidem com poços estudados por Quesado *et al.* (2004), e verificou-se uma diminuição na média da CE nestes poços, que está relacionada a época de amostragem, a qual foi de maior precipitação pluviométrica, evidenciando influência de recarga local. Os valores médios de CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) dos poços amostrados por Quesado (2004) foram 1514 (PA38), 1009 (PA39) e 885 (PA44).

Tab. 1 Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e medidas de  $\delta^{18}\text{O}$  do rio Banabuiú, referente ao período de mar/06 a mar/08

COLETAS	Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )		$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	
	R07	R20	R07	R20
mar/06	409	436	-1,40	-0,83
jul/06	439	597	0,24	0,17
out/06	405	722	0,57	0,88
fev/07	509	762	-1,47	-1,42
mai/07	550	686	0,78	0,67
set/07	462	736	1,72	1,75
dez/07	494	796	1,16	1,72
mar/08	331	209	-1,93	-4,58
Valor médio	534		+0,12	

Tab. 2 Condutividade elétrica média ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de poços localizados no aquífero aluvião, referente ao período de mar/06 a mar/08.

PA05	PA09	PA10	PA12	PA13	PA14	PA15	PA16	PA17	PA18	PA19	PA21	PA22	PA23	PA24	PA25	PA28
671	966	717	580	701	572	584	566	513	628	793	852	1930	383	1460	535	890
PA29	PA31	PA32	PA33	PA34	PA35	PA36	PA37	PA38	PA39	PA40	PA41	PA42	PA43	PA44	PA45	PA46
803	1893	1620	1040	863	769	891	816	797	877	774	538	881	869	856	880	590
PA47	PA48	PA49	PA50	PA51	PA52	PA53	PA54	PA55	PA56	PA57	PA58	PA59	PA60	PA61	PA62	Média
589	779	827	448	713	727	1012	1346	705	512	1250	640	534	705	836	638	828

#### 4.3. Classificação da água pelos íons dominantes

Os tipos de água encontrados para o rio Banabuiú (R07 e R20) foram cloretada cálcica, e, predominantemente, cloretada sódica (62,5%). Durante todo o período, a distribuição dos cátions, por abundância de maior a menor, segue, salvo raras exceções, a relação:  $r\text{Na}^+ > r\text{Ca}^{2+} > r\text{Mg}^{2+} > r\text{K}^+$ .

O ânion dominante nas águas do rio Banabuiú foi o cloreto, o que é característico também das águas de aquífero cristalino do estado do Ceará (GOMES, 2005; MOURA, 2008; LOPES *et al.*, 2008).

O cloreto presente no solo é lixiviado pelas águas pluviais, que associado ao processo evaporativo, torna o rio mais enriquecido em STD, sobretudo em cloreto, do ponto R07 para o R20. A concentração média dos ânions para estas águas segue a relação:  $r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^- > r\text{CO}_3^{2-} > r\text{SO}_4^{2-}$ .

Quanto ao tipo de água do aluvião, não se observou predominância de um tipo, visto que a distribuição foi: 29% cloretada calco-magnésiana, 27% cloretada sódica, 25% bicarbonatada magnésiana e 19% bicarbonatada sódica. Esta diversidade é tanto pontual quanto temporal e é devida a variações geoquímicas dos sedimentos,

interações entre sedimento e água mais favorecidas no aquífero e ao próprio transporte convectivo das substâncias dissolvidas, que resultam numa água quimicamente diferente da água de recarga.

Além disso, pode-se supor que o rio exerce,

em termos químicos, pouca influência sobre o aquífero aluvial, visto que o tipo de água do rio está pouco presente nele, e que a contribuição de sais seja principalmente devida aos solos aluviais em relação à água do rio

Tab. 3 – Concentração média (mg/L) dos íons maiores, dureza total e alcalinidade das águas do rio (R07 E R20) e do aquífero aluvial, referente ao período entre mar/06 a mar/08.

Amostra	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	F <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NH <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Fe	STD	ALCALINI DADE	DUREZA TOTAL
R07	18	15	41	8	83	4	113	7	0,4	0,1	0,1	0,5	15	0,6	289	105	107
R20	28	17	73	7	124	5	143	11	0,4	0,11	nd	0,4	19	0,5	408	135	141
PA05	37	24	55	10	122	4	177	18	0,4	nd	0,4	0,8	20	1,4	438	164	190
PA09	23	17	144	6	138	7	308	29	0,6	0,2	0,3	0,3	25	1,2	664	296	129
PA10	33	17	85	10	147	2	158	22	0,4	nd	0	0,2	21	0,1	452	148	154
PA12	30	20	51	9	99	6	166	17	0,3	0,6	0,4	1,1	23	1,5	387	147	159
PA13	34	21	73	7	127	5	194	16	0,7	0,3	0,1	0,6	33	2,2	471	180	173
PA14	32	13	67	5	102	6	163	15	0,6	0,1	0,1	0,5	23	0,9	392	158	132
PA15	32	17	63	7	95	6	167	22	0,4	0,3	0,4	2,4	25	1,5	399	158	154
PA16	38	21	51	3	93	3	160	21	0,6	0,3	0,1	0,2	42	0,3	382	158	182
PA17	32	13	49	5	90	1	173	nd	0,2	0,1	0,1	0,1	15	nd	363	141	136
PA18	40	14	71	14	111	10	136	26	0,3	0,2	0,1	2,9	18	0,9	414	143	155
PA19	25	19	112	3	174	10	139	19	0,6	0,1	0,1	0,7	33	1,3	490	133	142
PA21	26	19	129	12	151	26	217	39	0,7	0,9	0,7	1,1	31	2,1	599	210	140
PA22	94	51	214	12	507	72	171	18	0,4	0,2	nd	9,0	34	0,7	1133	170	449
PA23	25	14	22,5	5,5	51,5	2	116	10	0,25	0,07	0,7	0,4	17	1,7	246	111	118
PA24	52	44	137	29	283	46	222	25	0,4	0,2	0,3	1,8	36	0,2	837	222	312
PA25	26	23	34	5	95	3	143	5	0,3	0,03	0,2	0,1	20	0,1	333	125	160
PA28	42	19	117	5	201	18	114	24	0,3	0,03	0,1	1,0	34	2,3	532	120	185
PA29	32	21	41	3	186	13	104	10	0,2	0,02	1,3	1,3	35	3,4	409	101	168
PA31	62	111	173	5	341	60	326	49	0,4	0,7	0,4	50	46	0,7	1141	342	617
PA32	40	34	237	9	391	20	279	17	0,9	0,4	0,2	4,2	35	0,4	1029	270	243
PA36	31	26	104	8	162	26	171	20	0,7	0,14	nd	1,6	24	1,7	547	172	186
PA37	37	21	81	12	119	3	223	25	0,4	0,53	20,1	29	24	1,55	524	228	179
PA38	36	41	84	4	139	16	197	18	0,7	0,26	0	1,5	29	0,2	535	202	259
PA39	23	14	155	3	131	7	302	10	0,6	0,4	0,1	0,1	30	0,1	646	286	119
PA40	29	32	92	6	125	11	203	21	0,7	0,4	0,3	1,4	29	0,8	520	215	207
PA41	31	19	57	5	88	5	140	10	0,5	0,1	0,1	0,3	21	0	355	142	159
PA42	41	26	120	4	163	10	222	10	0,5	0,5	0,6	0,7	35	1,1	595	222	209
PA43	26	24	132	5	153	9	232	10	0,5	0,2	0,6	0,7	27	1,2	592	218	163
PA44	11	44	108	3	156	9	242	15	0,8	0,1	0,5	1,3	33	0,1	588	222	212
PA45	27	36	107	6	173	11	222	10	0,8	0,1	0,1	1,6	24	0,1	592	198	216
PA46	40	16	56	5	114	4	143	7,5	0,9	0,3	nd	0,9	31	0,4	387	141	166
PA47	27	17	73	6	94	6	174	10	1,1	0,5	0,1	0,6	22	0,9	408	174	137
PA48	42	25	78	6	144	13	165	15	0,5	0,4	nd	0,8	23	0,0	487	164	211
PA49	51	29	79	5	140	9	219	30	0,6	0,5	0,1	0,2	33	0,2	555	231	249
PA50	27	17	37	12	80	6	214	4	0,2	0,6	0,1	1,0	18	1,4	396	182	140
PA51	41	20	74	6	131	4	177	19	0,5	0,2	0,1	0,1	22	1,6	474	141	186
PA52	40	29	78	3	113	2	209	36	0,4	0,6	0,3	1,2	40	0,1	502	174	221
PA53	31	23	170	9	181	9	253	29	1,1	0,57	0,1	0,2	26	1,5	706	222	174
PA54	21	19	245	1	160	6	394	73	0,3	0,48	nd	0,1	45	nd	919	81	132
PA55	34	25	75	4	124	4	191	13	0,9	0,2	nd	0,3	29	0,4	470	160	188
PA56	22	18	56	8	106	3	148	nd	6	0,25	nd	0,2	18	1,9	367	137	132
PA57	34	39	188,3	8	230	27	296	27	0,7	0,3	0,1	4,0	26	0,3	851	268	247
PA58	22	18	66	3	97	5,6	148	36	0,9	0,34	nd	0,2	44	nd	397	190	132
PA59	29	17	60	5	97	2	152	7	0,5	nd	nd	nd	16	0,9	369	116	142
PA60	34	17	82	11	123	25	154	14	0,4	0,4	0,1	0,9	18	1,2	462	125	157
PA61	40	31	81	14	139	4	220	16	0,4	0,3	0,0	0,1	13	1,5	546	179	231
PA62	40	31	81	14	139	4	220	16	0,4	0,3	0,0	0,1	13	1,5	546	179	231

#### 4.4. Oxigênio – 18

Como forma complementar às diversas técnicas de prospecção hidrogeológica, principalmente a hidroquímica, utilizam-se as determinações dos isótopos ambientais, pois, oferecem um caminho mais fácil para interpretação dos resultados por serem pouco influenciados pelas reações no terreno.

Na região do estudo, sem grandes variações na temperatura, a influência maior sobre a razão  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  nas chuvas provém da quantidade da água precipitada durante um evento. Precipitações mais intensas implicam em quantidade maior de água removida da atmosfera, que é uma água mais leve em relação ao padrão. Assim, chuvas mais intensas e de maior duração terão  $\delta^{18}\text{O}$  menor do que as chuvas rápidas e menos intensas, ocorrendo assim o efeito quantidade (Clark e Fritz, 1997).

Em águas superficiais, devido à diferença nas massas das moléculas  $\text{H}_2^{16}\text{O}$ ,  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  e  $\text{H}^{216}\text{O}$ , a evaporação leva a mudanças na composição isotópica da água remanescente, ficando mais enriquecida nas espécies pesadas, sendo, portanto, sazonalmente marcada por um aumento na razão isotópica  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ . Poços que captam nas imediações de corpos d'água superficiais e mostram as mesmas modificações sazonais na composição isotópica de suas águas podem, assim, revelar a conexão entre águas superficiais e subterrâneas.

O rio Banabuiú apresentou, na maioria das coletas, águas mais enriquecidas em  $^{18}\text{O}$  do que as águas do aquífero aluvionar. Os menores valores de  $\delta^{18}\text{O}$ , para o rio Banabuiú, foram observados sempre nos meses de maior pluviosidade, sendo os menores valores verificados em março de 2008: -1,93‰ (R07) e -4,58‰ (R20). As águas do rio tornaram-se enriquecidas em  $^{18}\text{O}$  nos meses secos, de elevada evaporação, atingindo os maiores valores em setembro de 2007 com +1,72 (R07) e +1,75 (R20) (Fig. 4).

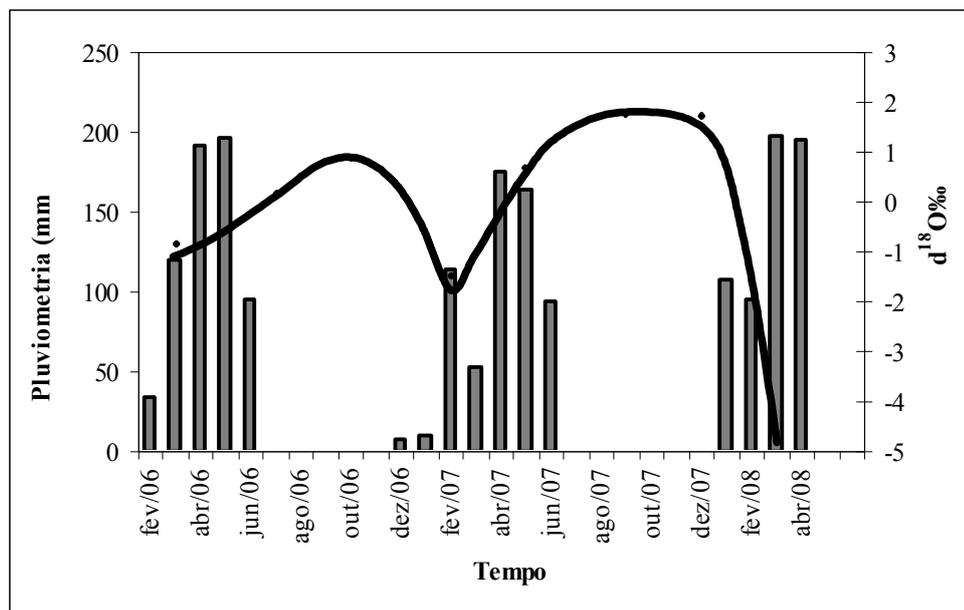
Desta forma, pode-se dizer que a distribuição dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  ao longo do tempo é condicionada pelas condições climáticas, e consequentemente pela volumetria do açude, o que indica que este rio não recebe contribuição

significativa de águas subterrâneas, as quais são, na sua maioria, isotopicamente mais leves e mais constantes.

Também, pode-se observar um leve aumento, seguindo a direção do fluxo, do ponto R07 para R20, nas épocas mais secas (out/06, set/07 e dez/07), o que corrobora a hipótese de que este rio não é alimentado pelas águas subterrâneas, as quais tornariam o enriquecimento isotópico menos evidente. E, nos meses chuvosos, a inversão de valores de  $\delta^{18}\text{O}$  ao longo do rio, certamente é resultado de um maior aporte de água pluvial ao longo do rio, como verificado para os meses chuvosos de fev/07, mai/07 e mar/08. O valor encontrado no local de amostragem R20 foi provavelmente devido a uma forte e prolongada chuva (marcada pelo efeito de quantidade) que caiu entre os dois locais de amostragens (R07 e R20) e não pela alimentação do rio pelo aquífero.

GOMES (2005), estudando a interação rio Jaguaribe/aquífero na área da ilha de Limoeiro utilizou medidas de  $^{18}\text{O}$  do rio e aquífero de dois ciclos hidrológicos e mostrou que há uma ampla variação de  $^{18}\text{O}$  nas águas do aquífero, de -3,58 a +4,20‰, o que foi atribuído a uma constante alimentação do aquífero pelo rio, sobretudo nos períodos de estiagem, quando as águas do rio tornam-se mais enriquecidas em  $^{18}\text{O}$ .

No aquífero aluvionar do rio Banabuiú verificou-se também que os valores de oxigênio podem variar muito, tanto de um poço para o outro como num mesmo poço e, em curtos intervalos de tempo (meses), visto que os valores ficaram entre -5,78 e +2,96‰ (Tab. 4); sendo os menores valores registrados apenas no período de maior pluviosidade e os maiores no de estiagem, o que indica que o rio perenizado perde água para o aquífero na maior parte do ano. Também o valor médio de poços no aluvião (excluindo PC06 e PC30, do cristalino) de  $-0,22 \pm 1,1$  é característico de águas que sofreram evaporação, já que as águas pluviais de recarga se situam entre -3 e -4‰. Os poços PA05, PA09, PA13, PA16, PA19 e P37 mostram variação significativa do  $\delta^{18}\text{O}$  (‰) ao longo do ano; em época de chuva a concentração é sempre menor devido à recarga com águas pluviais, depois tende a aumentar devido recarga pelo rio.

Fig. 4 - Distribuição temporal dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  para o rio Banabuiú, a partir da média dos pontos R7 e R20.Tab. 4 – Medidas de  $\delta^{18}\text{O}$  do aquífero aluvionar.

Coletas	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)														
	PA05	PA09	PA13	PA15	PA16	PA19	PA37	PA52	PA55	PA59	PA61	PA12	PA32	PC06	PC30
mar/06	-3,62	-1,39	-1,74	-1,14	-3,16	-3,79	NC	NC	NC	NC	NC	-1,4	NC	NC	NC
jul/06	-2,86	-1,32	-1,17	-0,04	-1,69	NC	NC	NC	NC	NC	NC	-1,01	NC	NC	NC
out/06	-1,45	-1,62	-0,92	-0,08	-1,76	-1,07	NC	NC	NC	NC	NC	-0,71	NC	NC	NC
fev/07	-2,64	-1,70	-0,48	-1,89	0,98	-0,11	NC	NC	NC	NC	NC	0,83	NC	NC	NC
mai/07	-0,10	-2,34	-0,17	-0,18	-0,84	NC	-0,37	-0,99	-1,60	0,66	0,10	NC	-1,03	NC	-3,66
set/07	-0,17	-1,6	-0,19	-1,44	-0,16	NC	-0,17	-1,18	0,83	2,96	0,80	2,39	3,21	NC	-3,79
dez/07	-0,15	-2,33	0,21	-1,43	-0,48	-0,93	0,57	2,58	2,29	2,74	6,50	0,2	-0,17	-3,90	-3,20
mar/08	1,07	-1,45	0,74	-0,21	0,16	1,05	0,26	1,41	1,81	-3,21	NC	-4,96	-5,78	-3,95	-3,05
MÉDIA	-1,24	-1,72	-0,47	-0,80	-0,87	-0,97	0,07	0,45	0,83	0,79	2,47	-0,67	-0,94	-3,92	-3,42
DESV.PADRÃO	1,66	0,40	0,79	0,75	1,30	1,79	0,42	1,84	1,73	2,86	3,51	2,29	3,71		0,35

Estas variações na concentração de  $^{18}\text{O}$  mostram que o aquífero responde rapidamente às mudanças sazonais, indicando uma recarga rápida e fácil, seja pelas chuvas, seja pelo rio. Os poços PA52, PA55, PA59 e PA61 são os que recebem maior alimentação pelo rio na estação seca, visto que seus valores de  $\delta^{18}\text{O}$  (‰) são sempre de águas evaporadas, estando, na maioria das vezes, acima do valor médio do rio (-0,12‰).

O poço PA61 para o mês de dezembro/07 apresentou um valor anômalo alto ( $\delta^{18}\text{O}$  = +6,50‰), fora dos padrões até mesmo para as águas do rio, o que evidencia provavelmente uma

penetração de águas conectadas a algum reservatório superficial de águas estagnadas, como por exemplo, cacimbas abertas. Em dezembro/07, mês seco, a água estava com seu nível acima da boca do poço, ou seja, na parte da cacimba, diferentemente dos outros poços com este esquema de construção, o local PA61 não estava protegido externamente por uma estrutura (casa do poço); então, estas águas foram fortemente evaporadas durante todo o período de estiagem, resultando no valor alto encontrado.

Os poços PA12 e PA32 estão localizados na fronteira da divisão Aquífero cristalino/Aquífero

aluvionar, são catalogados como pertencentes ao aquífero cristalino, mas as suas águas apresentaram um padrão isotópico de aquífero aluvionar, pois, seus valores positivos só podem ser explicados pela mistura das águas do rio (águas evaporadas) com as do aluvião. Nos meses chuvosos, os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  (‰) tornaram-se ainda menores (Fig. 4), chegando a  $-4,96\text{‰}$  e  $-5,78\text{‰}$  nos poços PA12 e PA32, respectivamente, indicando uma alimentação pelas chuvas fortes com efeito de quantidade principalmente no mês de março de 2008, que teve a maior precipitação pluviométrica.

Os poços PC06 e PC30 se destacam por valores de pouca variação e com média de  $-3,69\text{‰}$ , o que é típico para águas subterrâneas sem ligação com águas superficiais. Estes poços se situam em ambiente cristalino e tem profundidade de 25 e 60 m, respectivamente.

FRISCHKORN *et al.* (1989), estudando a composição isotópica de poços do aquífero cristalino no Ceará, verificaram que nos mais próximos da costa o valor médio foi  $-2,72 \pm 0,26\text{‰}$  e nos poços mais para o interior o valor médio foi menor,  $-3,29 \pm 0,19\text{‰}$ , o que foi atribuído ao efeito continental, que, por conseguinte, indica não haver evaporação significativa antes da infiltração para as fraturas, ou seja, o aquífero cristalino é rapidamente alimentado pelas águas da chuva.

Os poços PC06 e PC30, no domínio das rochas cristalinas, segundo mapa geológico CPRM (2003), apresentaram valores em torno do valor da chuva da região ( $-3,7\text{‰}$ ), o que ratifica a hipótese que no aquífero cristalino a recarga direta é rápida, sem evaporação significativa em superfície, e no caso dos dois poços, não há influência das águas do rio Banabuiú.

#### 4.5. Metais Pesados

Os metais pesados, por serem absolutamente não-degradáveis, podem acumular-se nos componentes do ambiente (água, plantas, solo etc.) onde manifestam sua toxicidade (BAIRD, 2002). O termo metal pesado é muitas vezes empregado para designar tanto os elementos com densidade maior que  $5 \text{ g/cm}^3$  como também aqueles que são tóxicos em baixíssimas concentrações, como

o arsênio (metalóide), antimônio (metalóide), selênio (não metal) etc. Os locais de fixação final dos metais pesados são os solos, entretanto, dependendo das condições químicas do solo podem ser lixiviados e atingirem o lençol freático.

Metais pesados como Cd, Cr, Pb e Hg podem ser introduzidos na cadeia alimentar pela adição de fertilizantes, principalmente os fosfatados (Sharpley e Menzel, 1987), derivados de rochas fosfáticas, que naturalmente contém metais pesados e na manufatura não eliminados.

Através da Tab. 5, observa-se que esses metais e outros podem estar ausentes ou em concentrações muito baixas, geralmente inferiores ao limite de detecção do equipamento utilizado (Tab. 6). Os elementos cádmio, cromo, cobalto, selênio, antimônio e níquel estiveram abaixo do limite de detecção em todas as 72 amostras, por isso, não foram incluídos na tabela. O lítio esteve presente em apenas uma amostra, o chumbo, em quatro, o zinco, em seis, o alumínio, em treze e o manganês, em 24 amostras. A baixa incidência e concentração de metais foram confirmadas nas duas amostragens, em julho e novembro de 2008. No entanto, para melhor avaliar o uso da água para consumo humano é necessário um equipamento com maior sensibilidade, visto que o limite de detecção daquele utilizado, para alguns elementos (Tabs. 6 e 7), está acima do valor estabelecido para a potabilidade.

O metal tóxico mais abundante foi o bário, sendo detectado em 92% das amostras (69), mas em concentrações baixas, ou seja, inferior ao estabelecido para águas potáveis ( $0,7 \text{ mg/L}$ ). As concentrações em bário variaram de um mínimo de  $0,07$  a um máximo de  $0,96 \text{ mg/L}$  (PC30), com teor médio de  $0,24 \pm 0,17 \text{ mg/L}$ . A presença de bário nas águas do estado do Ceará é comum, como aponta o trabalho realizado por Frizzo (2005) em 234 amostras de águas superficiais e subterrâneas, estando o bário presente em todas as amostras, geralmente com valores inferiores ao estabelecido pela legislação brasileira para águas potáveis. Porém, constitui um problema no processo de dessalinização de águas, visto que, como relatam Frischkorn e Rocha Neto (2009), o  $\text{BaSO}_4$  forma incrustações que entopem as membranas de osmose reversa no Ceará.

Tab. 5 Concentração dos metais tóxicos presentes nas águas do rio Banabuiú e aquífero aluvionar.

Coleta	Amostra	Elemento (mg/L)					
		Pb	Zn	Al	Mn	Ba	Li
jul/07	R07	<LD	<LD	0,02	0,078	0,08	<LD
nov/07		<LD	<LD	<LD	0,032	0,021	<LD
jul/07	R20	0,002	<LD	0,101	<LD	0,133	<LD
nov/07		<LD	<LD	0,151	0,011	0,322	<LD
jul/07	PA05	<LD	<LD	0,074	0,136	0,16	<LD
nov/07		<LD	<LD	<LD	1,216	0,165	<LD
jul/07	PC06	<LD	<LD	<LD	0,034	0,509	<LD
nov/07		<LD	0,041	0,31	0,233	0,36	<LD
jul/07	PA09	<LD	<LD	<LD	<LD	0,012	<LD
nov/07		<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
nov/07	PA12	<LD	<LD	<LD	<LD	0,328	<LD
jul/07	PA13	<LD	<LD	<LD	<LD	0,216	<LD
nov/07		<LD	0,197	<LD	<LD	<LD	<LD
jul/07	PA15	<LD	<LD	<LD	<LD	0,162	<LD
nov/07		0,268	<LD	0,081	0,052	0,367	<LD
jul/07	PA16	<LD	<LD	<LD	0,045	0,151	<LD
nov/07		<LD	<LD	<LD	<LD	0,16	<LD
nov/07	PA19	<LD	<LD	<LD	0,011	0,242	<LD
jul/07	PC30	<LD	<LD	<LD	<LD	0,95	0,059
nov/07		<LD	0,033	0,104	<LD	0,96	0,062
jul/07	PA31	0,001	<LD	0,125	0,109	0,365	<LD
nov/08		<LD	<LD	<LD	0,089	0,805	<LD
nov/07	PA32	<LD	<LD	<LD	0,353	0,365	<LD
nov/07	PA33	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
jul/07	PA34	<LD	<LD	<LD	<LD	0,158	<LD
nov/08		<LD	<LD	<LD	0,007	0,181	<LD
jul/07	PA35	<LD	<LD	<LD	<LD	0,066	<LD
nov/07		<LD	<LD	<LD	<LD	0,126	<LD
jul/07	PA37	<LD	<LD	<LD	0,039	0,099	<LD
nov/07		<LD	<LD	<LD	0,045	0,141	<LD
jul/07	PA38	<LD	<LD	<LD	<LD	0,238	<LD
nov/07		<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
jul/07	PA39	<LD	<LD	<LD	<LD	0,082	<LD
nov/07		<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
jul/07	PA40	<LD	<LD	0,124	0,185	0,357	<LD
nov/07		<LD	<LD	0,125	0,180	0,189	<LD
jul/07	PA41	<LD	<LD	<LD	<LD	0,149	<LD
nov/07		<LD	<LD	<LD	<LD	0,134	<LD
jul/07	PA42	<LD	<LD	<LD	<LD	0,196	<LD
nov/07		<LD	<LD	<LD	<LD	0,154	<LD
jul/07	PA43	<LD	<LD	<LD	<LD	0,188	<LD
nov/07		<LD	<LD	<LD	<LD	0,237	<LD
nov/07	PA44	<LD	<LD	<LD	<LD	0,29	<LD

Coleta	Amostra	Elemento (mg/L)					
		Pb	Zn	Al	Mn	Ba	Li
jul/07	PA45	<LD	<LD	<LD	<LD	0,274	<LD
nov/07	PA46	<LD	<LD	<LD	0,008	0,265	<LD
jul/07	PA47	<LD	<LD	0,068	<LD	0,133	<LD
nov/07		<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
jul/07	PA48	<LD	<LD	<LD	<LD	0,196	<LD
nov/08		<LD	<LD	<LD	<LD	0,207	<LD
jul/07	PA49	<LD	<LD	<LD	<LD	0,297	<LD
nov/07		<LD	<LD	<LD	<LD	0,272	<LD
jul/07	PA50	<LD	<LD	1,394	0,029	0,105	<LD
jul/07	PA51	<LD	<LD	<LD	<LD	0,201	<LD
nov/07		<LD	<LD	<LD	<LD	0,392	<LD
jul/07	PA52	<LD	<LD	<LD	0,177	0,149	<LD
nov/07		0,098	<LD	0,144	0,016	0,166	<LD
jul/07	PA53	<LD	<LD	<LD	<LD	0,15	<LD
nov/07		<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
jul/07	PA54	<LD	<LD	<LD	<LD	0,056	<LD
jul/07	PA55	<LD	<LD	<LD	<LD	0,144	<LD
nov/08		<LD	<LD	<LD	<LD	0,346	<LD
jul/07	PA56	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
nov/07		<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
jul/07	PA57	<LD	<LD	<LD	<LD	0,318	<LD
nov/07		<LD	0,241	<LD	<LD	<LD	<LD
jul/07	PA58	<LD	<LD	<LD	<LD	0,183	<LD
jul/07	PA59	<LD	<LD	<LD	<LD	0,163	<LD
nov/08		<LD	0,241	<LD	<LD	0,162	<LD
jul/07	PA60	<LD	<LD	<LD	<LD	0,195	<LD
nov/07		<LD	0,028	<LD	0,019	0,349	<LD
jul/07	PA61	<LD	<LD	<LD	<LD	0,243	<LD
nov/08		<LD	<LD	<LD	<LD	0,19	<LD
nov/07	PA62	<LD	<LD	<LD	0,006	0,184	<LD

Tab. 6 Limite de detecção (LD) do aparelho para metais pesados.

Elementos	Pb	Cd	Cr	Zn	Al	Mn	Ba	Co	Se	Ni	Sb	Li
LD (mg/L)	0,05	0,05	0,02	0,025	0,05	0,004	0,05	0,05	0,05	0,05	0,045	0,002

Tab. 7 Valores de referência, de metais pesados, para a potabilidade da água.

Elementos	Pb*	Cd*	Cr*	Zn*	Al*	Mn*	Ba*	Co**	Se*	Ni**	Sb*	Li**
VMP (mg/L)	0,01	0,005	0,05	5	0,2	0,1	0,7	0,05	0,01	0,025	0,005	0,1

\*Portaria N° 518/2008 do Ministério da Saúde. \*\*Resolução CONAMA N° 357/2005

#### 4.6. Adequação da água para consumo

O estudo da qualidade das águas visa, principalmente, fornecer algumas informações para eventuais e futuros planos de aproveitamento desses recursos para consumos básicos gerais e também para avaliar a qualidade da água atualmente consumida.

Analisando as Tabs. 3 e 8, observa-se que as concentrações dos elementos cálcio, magnésio, sódio, cloreto, sulfato, fluoreto e os parâmetros dureza e STD das águas do rio Banabuiú estão todas, em 100% das amostras, dentro do limite recomendado. Também não foram observadas concentrações preocupantes de nitrato e amônia. O pH não variou significativamente com o tempo, visto

que tanto na época seca quanto na época chuvosa ficou dentro do limite recomendado (6,5 a 9,5).

Dos elementos investigados, para as águas do rio, o ferro tem concentrações muitas vezes superiores ao valor estabelecido pela legislação, principalmente no período de maior pluviometria (mar/08). Em concentrações superiores a 1 mg/L pode produzir sabor desagradável, turbidez e manchas em tecidos e porcelanas (APHA, 1998; FEEMA, 1979). Nas águas superficiais, o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens dos rios, que contribuem no aumento do teor de material em suspensão na água.

Conforme o resultado das análises químicas (Tab. 3) observa-se, através das médias, que nem todos os poços captam águas doces, visto que cerca de 42% captam águas salobras, ou seja, com teor em STD > 500 mg/L, e entre as salobras existem 03 poços com STD > 1000mg/L (PA22, PA31, PA32), inadequadas para o consumo humano. Apenas nesses três poços, considerando a média, os teores de sódio e cloreto excedem o valor máximo permitido pela legislação (Tab. 8). Em relação ao sódio, fluoreto, cloreto, nitrato, dureza e sulfato, mais que 90% das amostras apresentam concentrações dentro do limite de potabilidade, podendo a água do aquífero aluvionar, ser usada para indústria, irrigação e consumo humano e animal. As águas com valores de dureza acima do padrão de potabilidade (poço P31, Tabs. 3 e 8) são águas incrustantes, que causam grande consumo de sabão, além de dificultar o cozimento de alimentos.

Parte das amostras (37%) do aquífero aluvionar apresentou concentrações de ferro total acima do valor aceitável; portanto, no aluvião existem zonas onde a água não é adequada para consumo humano. O ferro contido nas águas geralmente não constitui um perigo à saúde humana, mas causa problemas de natureza estética e organoléptica; o ferro produz cor na água, causando mancha nas roupas, cerâmicas e louças sanitárias, forma incrustações na tubulação e colmatação dos filtros e pré-filtros, causando uma diminuição da vida útil do poço e, além disso, dá gosto metálico à água, tornando-a desagradável para o consumo (FERRO, 2005).

Tab. 8 Potabilidade das águas do rio Banabuiú e do aquífero aluvial, coletadas no período entre mar/06 a mar/08

PARÂMETRO	RIO		ALUVIÃO	
	Quantidade de amostras	%	Quantidade de amostras	%
<b>Na</b>				
< 200*	16	100	163	95
> 200			9	5
<b>Ca</b>				
< 200**	16	100	172	100
> 200				
<b>F</b>				
< 1,5*	16	100	167	97
> 1,5			5	3
<b>Fe</b>				
< 0,3*	9	56	109	63
> 0,3	7	44	63	37
<b>Cl</b>				
< 250*	16	100	156	91
> 250			16	9
<b>SO<sub>4</sub></b>				
< 250*	16	100	172	100
> 250				
<b>NO<sub>3</sub></b>				
< 10*	16	100	161	94
> 10			11	6
<b>NH<sub>3</sub></b>				
< 1,5*	16	100	168	98
> 1,5			4	2
<b>DUREZA</b>				
< 500*	16	100	166	97
> 500			6	3
<b>STD</b>				
< 1000*	16	100	161	94
> 1000			11	6
<b>pH</b>				
6,0 - 9,5*	16	100	172	100
< 6,0 e > 9,5				

\*Valor Máximo Permitido para potabilidade (Portaria nº 518/2004 – Ministério da Saúde.) em mg/L. \*\* Valor aceitável (OMS, 1984), em mg/L.

Os dados das análises químicas, contidos na Tab. 8, mostram que a maioria (cerca de 90%) das amostras do aluvião não oferecem riscos à saúde, quanto à sua qualidade para consumo humano, visto que apenas pequenas zonas localizadas do aquífero apresentam concentrações elevadas em alguns parâmetros que excedem os padrões estabelecidos para a potabilidade.

Os aluviões, por possuírem boa permeabilidade, porosidade e nível estático raso, constituem uma fonte alternativa fácil para exploração de água subterrânea. Por outro lado, são exatamente estas características que favorecem a migração de poluentes dissolvidos na água, tornando estas áreas de alto risco de poluição. Apenas 6% das amostras apresentaram valores excessivos em nitrato; mas essas amostras são dos poços P31 e P37, que se localizam a oeste do PIMN e, como ocorre um fluxo das águas subterrâneas em direção a leste da área (Moura, 2008), pode ocorrer a propagação de contaminantes para o restante do aquífero. Provavelmente a poluição verificada no poço P31 é oriunda da criação de gado (currais) próxima ao poço, visto que os resíduos dos animais podem ser lixiviados no período chuvoso para o lençol freático, aumentando o teor de nitrato localmente. O poço P37 também apresentou concentrações de amônia extremamente altas, chegando a 29 e 49 mg/L. Estes valores elevados indicam uma fonte de contaminação próxima ao poço; de fato, esse poço está desativado e sua casinha funciona como depósito de lixo e galinheiro.

Os nitratos,  $\text{NO}_3^-$ , são íons minerais nutritivos solúveis na água, que são diretamente assimilados pelas plantas. São adicionados ao solo pelo uso de fertilizantes, estrume e pelo processo de decomposição de plantas e animais, que libera nitrogênio para o meio. Segundo Blifert e Perraud (2001), devido a boa solubilidade do nitrato na água, estes são facilmente eliminados do solo em direção ao lençol freático, particularmente quando o solo está em pousio como, por exemplo, no inverno. De acordo com Baird (2002), o excesso de nitrato na água potável constitui um risco para a saúde, visto que pode resultar em metemoglobinemia tanto em bebês recém nascidos, como em adultos com uma determinada deficiência enzimática; além de haver uma potencial relação com o câncer de estômago. Assim, torna-se indispensável o controle da qualidade das águas tanto superficiais como subterrâneas, através do monitoramento sistemático, como ferramenta que indica tanto os níveis de contaminação como as prováveis fontes poluidoras, a fim de que se possa tomar medidas preventivas e corretivas. Além desses parâmetros químicos devem

ser investigados os microbiológicos devido os freqüentes surtos de ratos que ocorrem no PIMN, e parâmetros agroquímicos, devido ao uso de agrotóxicos no cultivo do arroz (FUNCEME, 2009; Rolim, 2006).

Dos metais pesados, chama a atenção o poço PA50, o qual apresentou teor em alumínio (1,4 mg/L) muito superior ao máximo permitido (0,2 mg/L), necessitando que, sobretudo neste poço, seja avaliada periodicamente a qualidade da água para que se tomem medidas que visem a proteção daqueles que a usam.

O teor de sílica na água do aquífero, com média de 27 mg/L, está dentro da faixa que normalmente ocorre nas águas naturais (APHA, 1998; ). Sílica na água não prejudica seu uso para fins de abastecimento e não constitui um padrão de potabilidade. Pesquisas recentes de Rondeau *et al.* (2008) indicam que o efeito nocivo das águas ricas em alumínio, em causar mal de Alzheimer, é substancialmente reduzido pelo consumo de águas ricas em sílica. Mas sua concentração deve ser determinada antes de seu uso em atividades industriais devido à formação de incrustações.

## 5. Conclusões

As águas do aquífero aluvial necessitam serem monitoradas quanto à sua qualidade visto que estas se constituem em ponto estratégico para o desenvolvimento econômico da região. Apenas a partir do conhecimento de suas características físicas, químicas e biológicas poder-se-á definir os múltiplos usos da água e orientar os usuários quanto à poluição do aquífero gerada pelas atividades sobre o aluvião, o que poderá conduzir ao melhor uso do solo, além de gerar informações para o futuro enquadramento dos recursos hídricos subterrâneos integrado com os superficiais. A água do rio Banabuiú é predominantemente cloretada sódica, e a concentração dos elementos maiores, pH, compostos nitrogenados e metais pesados Zn, Al, Mn, Ba e Li estão dentro do recomendado pela legislação para águas potáveis; os demais metais também parecem não constituir perigo, visto que suas concentrações ficaram abaixo do limite de detecção do equipamento utilizado.

Desta forma, quanto aos parâmetros analisados, as águas do rio Banabuiú estão em acordo com a Classe 2 (Resolução No 357/2005 do CONAMA); porém, nos períodos de chuva o ferro excede o valor aceitável.

A água do aquífero aluvionar apresenta boa qualidade, visto que mais de 90% das amostras analisadas estão dentro do limite de potabilidade, podendo a água ser usada para diversos fins. A contaminação por nitrato é pontual, mas deve ser controlada para evitar a disseminação.

A variação temporal nos valores  $\delta^{18}\text{O}$  foi marcante no aquífero aluvial do rio Banabuiú, com tendência a valores positivos ao final dos períodos de estiagens, caracterizando drenagem de águas superficiais. Esta forte sazonalidade de  $\delta^{18}\text{O}$  nas águas do aluvião denuncia a forte interação entre o rio e o aluvião. A perenização do rio Banabuiú promove a “perenização do aluvião”. É evidente que o bombeamento do aluvião drena o rio. Assim, o aluvião constitui um sistema eficiente de distribuição de água do rio Banabuiú.

### Agradecimentos

Ao CNPq pela ajuda financeira na realização da pesquisa.

ÁCOGERH pelo fornecimento de dados.

### Referências Bibliográficas

- Aminot, A.; Chaussepied, M., 1983, Manuel des Analyses Chimiques en Milieu Marin, CNEXO, Brest, 395p.
- APHA/AWWA/WEF, 1998, Standard methods of water and wastewater, 20<sup>a</sup> ed., Washington.
- Baird, C. 2002, Química Ambiental. 2a ed. Bookman. Tradução de Maria Angeles Recio e Luiz Carlos Carrera, Porto Alegre. 622p.
- Bliefert, C.; Perraud, R., 2001, Chimie de L'environnement air, eau, sols, déchets. Bruxelles, De Boeck Université, 477p.
- Clark, L.; Fritz, P., 1997, Environmental isotopes in hydrogeology. New York. CRC Press, 328p.
- CPRM, COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/ Serviço Geológico do Brasil, 2003, Atlas de geologia e recursos minerais do Ceará: sistema de informações geográficas-SIGE. Mapas na escala 1:500.000, 1CD-Rom.
- Esteves, F. A., 1988, Fundamentos de Limonologia, Rio de Janeiro, Interciências/FINEP, 575p.
- FEEMA, Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, 1979, Método de Análise Físico-Química da Água, v.1, Série didática 14/79. Rio de Janeiro, 140p.
- Ferro, 2005, Rimozone fisico-quimica del ferro. Disponível em: <[http://www.lenntech.it/periodica/elementi/fe.htm#Effetti\\_del\\_ferro\\_sulla\\_salute](http://www.lenntech.it/periodica/elementi/fe.htm#Effetti_del_ferro_sulla_salute)> Acesso em: 04 abr.
- Frischkorn, H.; Rocha, Neto, J. L., 2005, Osmose reserva: limpeza química em membranas de dessalinizadores do Ceará, Rev. Tecnologia, UNIFOR, v. 30, n. 1, p.61-76.
- Frischkron, H.; Santiago, M.M.F.; Sereio, A.N.C., 1989, Isotope Study of Wells in Crystalline Rock of the Semi-Aride Northeast of Brazil. In: Agência Internacional de Energia Atômica. (Org.), Isotope Hydrology Investigations in Latin America. Viena: IAEA, p. 73-90.
- Frizzo, S. J., 2005, Elementos Químicos em Águas de Abastecimento Público no Estado do Ceará. In: SILVA, C. R.; FIGUEIREDO, B. R.; CAPITANI, E. M. et al. (editores). Geologia Médica no Brasil: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana e meio ambiente. 2005 Workshop Internacional de Geologia Médica, Rio de Janeiro, p.183 a 191.
- FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2008, Boletim Pluviométrico. Fortaleza.
- FUNCEME avalia risco de agrotóxicos em água, Diário do Nordeste Online, 25 set 2009, Disponível em <<http://diariodonordeste.globo.com/materia.asp?codigo=616536>>, Acesso em: 09 set. 2009.
- Gaspary, J.; Anjos, F. R. A; Rebouças, A C.; Manuel Filho, J.; Leal, O.; Garaú, J.P.; Guillot, P., 1967, Estudo geral das águas subterrâneas do Baixo Jaguaribe. In: Estudo Geral de Base do vale do Jaguaribe. Hidrogeologia. SUDENE/ASMIC. Recife, p170-202.
- Gomes, D. F., 2005, Estudo hidroquímico, isotópico e da dinâmica do nível estático das águas subterrâneas e superficiais da região de Limoeiro do Norte – Baixo Jaguaribe, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Ceará – UFC, 218p.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1999, Diagnóstico ambiental da Bacia do rio Jaguaribe: diretrizes gerais para a ordenação territorial, Salvador: IBGE, Diretoria de Geociências e 1<sup>a</sup> Divisão de Geociências do Nordeste - DIGEO 1/NE.1, 77p.
- IPECE, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, 2006. Anuário Estatístico. Fortaleza. CE. 2006.
- IAEA (International Atomic Energy Agency), 1981, Statistical treatment of environmental isotope data in precipitation. Vienna: IAEA, (Technical Reports Series, 206), 253p.

- Lopes, M.F. de O; Vasconcelos, S.M.S.; Gomes, D.F., 2008, Avaliação da qualidade das águas subterrâneas no município de Ocara – Ceará - Revista de Geologia, Vol. 21, nº 1, p35-48.
- Moura, I.B.M., 2008, Aspectos Hidrogeológicos do aluvião do rio Banabuiú no trecho entre Morada Nova e Limoeiro do Norte, Ceará, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, UFC, 154p.
- Quesado Jr., N.; Cordeiro, F.W; Teixeira, Z. A., 2004, Relatório Interno, COGERH, Companhia de Recursos Hídricos do Estado do Ceará.
- Rolim, J. B., 2006, S. Sistemas Técnicos e Sustentabilidade: Desafios no Perímetro Irrigado de Morada Nova (PIMN), Ceará, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Ceará, UECE, 131p.
- Rondeau, V.; Jacquemin-Gadda, H.; Commenges, D. ; Helmer, C. ; Dartigues, J.F., 2008, Aluminum and Silica in Drinking Water and the Risk of Alzheimer's Disease or Cognitive Decline: Findings From 15-Year Follow-up of the PAQUID Cohort. American Journal of Epidemiology, v. 169, n 4. p 489-496.
- Santiago, M.M.F., 1984, Mecanismo de salinização em regiões semi-áridas, Estudo dos Açudes Pereira de Miranda e Caxitoré no Ceará, Tese de Doutorado, IG-USP–São Paulo, 176 p.
- Sharpley, A.N., Menzel, R.G. 1987, The impact of soil and fertilizer phosphorus on the environment. Adv. Agron., San Diego, v.41, p.297-324.