

AValiação DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS NA ÁGUA SUBTERRÂNEA CONSUMIDA EM COMUNIDADES AMAZÔNICAS BRASILEIRAS

METALS CONCENTRATION ASSESSMENT IN UNDERGROUND WATER CONSUMED IN BRAZILIAN AMAZON COMMUNITIES

Karina Ferreira Castro Mesquita¹, Maria de Lourdes Souza Santos², José Almir Rodrigues Pereira³, Marcelo Augusto Moreno da Silva⁴

¹Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará, Belém, PA.

E-mail: kfcmesquita@gmail.com

²Doutora em Oceanografia pela Universidade Federal de Pernambuco. Professora na Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA. E-mail: mdlssantos@yahoo.com.br

³Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo. Professor na Universidade Federal do Pará, Belém, PA. E-mail: rpereira@ufpa.br

⁴Mestre em Geologia Marinha pela Universidade Federal do Pará. Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA. E-mail: marcelo.moreno@ufra.edu.br.

RESUMO

Este artigo visa avaliar a concentração de metais na água subterrânea consumida em comunidades amazônicas, considerando os riscos que os altos teores de metais podem ocasionar à saúde dessa população. Foram analisadas 24 amostras de água em dois períodos distintos, menor e maior precipitação pluviométrica, para determinações de: cor aparente, turbidez, cloreto, sólidos totais dissolvidos, N-amoniacal, nitrito, nitrato, bário, chumbo, cobre, alumínio, ferro, manganês, sódio, zinco. Os resultados foram enquadrados nas legislações vigentes para consumo humano e submetidos a uma análise de componentes principais para combinar linearmente as variáveis estudadas.

Palavras-chave: água subterrânea, qualidade da água, legislação.

ABSTRACT

The article aims to evaluate the concentration of metals in groundwater consumed in Amazonian communities, considering the risks that high metals concentration can cause to population health. 24 water samples were analyzed in two different periods, lower and higher rainfall periods, in order to determinate the following parameters: apparent color, turbidity, chloride, total dissolved solids, ammonia-N, nitrite, nitrate, barium, lead, copper, aluminum, iron, manganese, sodium, zinc. The results were classified in the current legislations for human consumption and submitted to the main components analysis in order to combine linearly the studied variables.

Keywords: groundwater, water quality, legislation.

1 – INTRODUÇÃO

A água é essencial para a vida, e a existência de água de boa qualidade é de fundamental importância para a manutenção da saúde humana e ambiental (OLIVEIRA FILHO e PARRON, 2007). Estima-se que, aproximadamente, doze milhões de pessoas morrem anualmente por problemas relacionados com a qualidade da água (MERTEN e MINELLA, 2002).

Entre as principais causas de contaminação, podemos destacar a progressiva e desordenada urbanização das cidades, que resulta na ocupação de áreas inadequadas para moradia, sem infraestrutura mínima e saneamento básico necessário (SÁ *et al.*, 2005).

Para Souza (2007), o déficit de saneamento no Brasil vem constituindo uma preocupação para o setor, considerando a relevância de seu papel na relação que estabelece com a saúde e o ambiente.

Silva e Araújo (2003) relatam que o destino final do esgoto doméstico e industrial em fossas e tanques sépticos, a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e industriais, entre outros, comprometem a qualidade da água subterrânea.

Devido a esses fatores, é importante a obtenção sistemática de informações quanto à qualidade das águas, uma vez que, para Azevedo (2006), a perspectiva de exploração da água subterrânea na Amazônia é crescente, por apresentar vantagens práticas e econômicas quanto à sua captação, por dispensar tratamentos químicos – exceto desinfecção – e ser de excelente qualidade, além de abundante, justificando sua utilização.

Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade da água distribuída para comunidades da Região Amazônica, a fim de caracterizar as possíveis contaminações químicas e físicas ocorrentes na localidade.

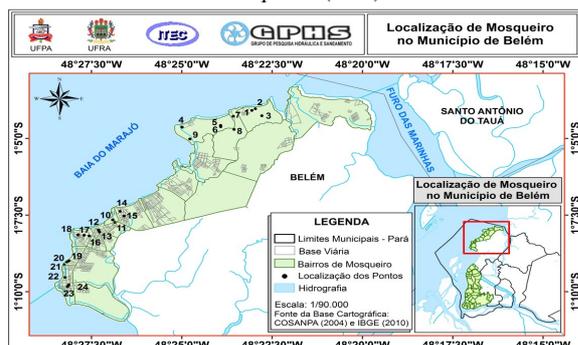
2 – MATERIAIS E MÉTODOS

A ilha de Mosqueiro está situada a 77 km da Cidade de Belém, PA, localizada na costa oriental do rio Pará, em frente à Baía do Guajará e é uma das 25 ilhas identificadas nominalmente que circundam Belém. Possui 21 praias de água doce, numa extensão

de mais de 17 km. A Ilha sempre teve um papel importante no contexto da Região Metropolitana de Belém como espaço de lazer desde o início do século XX (TAVARES *et al.*, 2007). O adensamento populacional desse reduto do veraneio paraense tem provocado impactos ambientais (FIGUEIREDO, 1999).

A coleta de água foi realizada em 24 pontos ao longo da Ilha de Mosqueiro, conforme a Figura 1, em dois períodos: menor precipitação pluviométrica e maior precipitação pluviométrica, totalizando 48 amostras de água submetidas a análises físico-químicas e de metais pesados.

Figura 1 – Localização dos pontos de coleta de água na Ilha de Mosqueiro (Pará)



As amostras de água foram coletadas nas residências no mês de novembro de 2010, mês de menor precipitação pluviométrica, e março de 2011, mês de maior precipitação pluviométrica. É importante ressaltar que a água coletada é proveniente de poços artesianos e poços amazonas que possuem profundidade que variam de 5 a 300 metros.

A água foi acondicionada em frascos de polietileno, que foram pré-lavados com ácido clorídrico (10%) e água deionizada. As garrafas de água foram colocadas em isopor com gelo e transportadas para o Laboratório de Química Ambiental da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).

Os dados de turbidez foram obtidos com a Unidade Nefelométrica de Turbidez- UH. A cor com Unidade Pt Co; e, para obtenção da concentração dos nutrientes (N-amoniaco, nitrito, nitrato), cloreto, sólidos totais dissolvidos (STD), dureza foram realizadas segundo as técnicas recomendadas pela American Public Health Association (APHA, 2012).

Para a análise de metais, as amostras de água foram filtradas através de filtros com membrana de 0,45 micrômetros e acidificou-se para 1% v/v com ácido nítrico para minimizar interferências de oligoelementos. As amostras assim preservadas foram armazenadas a 4° C e transportadas para o laboratório Canadense Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.

Os dados de metais pesados: alumínio, bário, cobre, ferro, manganês, sódio, chumbo, antimônio e zinco, de cloreto, de sólidos totais dissolvidos, de dureza, de nitrogênio, nitrato, nitrito e amônia, obtidos durante o período de maior precipitação pluviométrica e menor precipitação pluviométrica, foram analisados por meio de métodos de estatística descritiva e da análise dos componentes principais.

Os valores estatísticos característicos das variáveis foram descritos em termos de sua mediana, quartil inferior (25%), quartil superior (75%), valores máximos e mínimos.

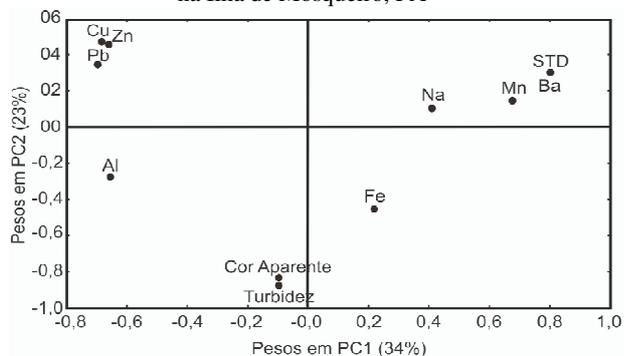
Na análise de componentes principais (ACP), as variáveis originais são linearmente combinadas com o objetivo de projetar o máximo de informação no menor número de dimensões. A informação total contida no conjunto de dados de partida é quantificada pela matriz de covariância. A primeira componente principal (PC1) é a direção de máxima variância e, portanto, de máxima informação no espaço multidimensional original. A segunda componente (PC2) é ortogonal à PC1 e corresponde ao eixo que explica o máximo possível da informação que não pôde ser representada pela primeira componente. Juntas, PC1 e PC2 definem o plano de máxima informação no espaço multidimensional. Se as variáveis apresentarem muitas correlações significativas, é possível que esse plano já contenha informação suficiente para permitir inferir os padrões de associação existentes nos dados de partida (MASSART *et al.*, 1998).

Cada eixo, numa análise de componentes principais, é caracterizado por três tipos de parâmetros: (i) a percentagem de variância/informação explicada, (ii) os pesos das variáveis originais, que indicam a sua importância relativa na definição da direção daquela componente principal, e (iii) os escores dos vetores de dados, que localizam as projeções desses vetores sobre os eixos PC.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de componentes principais com os parâmetros de metais pesados, de turbidez, de sólidos totais dissolvidos e de cor aparente, obtidos nos diferentes períodos (menor e maior precipitação pluviométrica) de coleta mostra que as duas primeiras componentes (PC1 e PC2) juntas descrevem cerca de 57% da variância original, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise das variáveis com dados obtidos durante os períodos de maior e menor precipitação, na Ilha de Mosqueiro, PA



A PC1 explicou 34% da variância total e pode ser interpretada como um contraste entre, de um lado, os sólidos totais dissolvidos (+0,81), o bário (+0,80), o manganês (+0,68), o sódio (+0,43) e, de outro lado, o alumínio (-0,67), o chumbo (-0,67), o cobre

(-0,66), o zinco (-0,64). Os sinais contrários indicam uma correlação negativa ao longo da PC1 entre os dois grupos, que são a principal fonte de variação no conjunto de amostras.

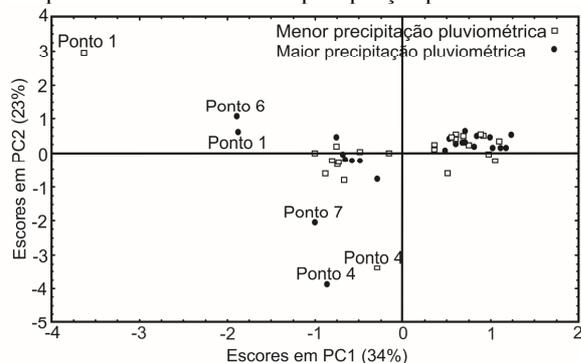
Os sólidos totais dissolvidos é a soma dos teores de todos os constituintes minerais presentes na água. Esse parâmetro com o metal bário e o manganês formou um grupo isolado na PC1; esse agrupamento pode ser explicado por se tratar de uma camada areno-argilosa.

Os metais pesados zinco, cobre e chumbo formaram outro grupo isolado, segundo o gráfico de PC1. Isso pode estar relacionado à associação geoquímica desses elementos nos materiais geológicos por intemperismo. Estudos realizados nas praias identificam o solo como hidromórfico, que apresenta um horizonte B latossólico em perfil profundo, onde o teor de argila cresce geralmente em profundidade (SANTOS, 2004).

A cor aparente, a turbidez e o ferro não apresentaram uma forte influência na primeira componente, mas destacaram-se na segunda (PC2), que explicou 23% da variância total. Isso indica que esses parâmetros são altamente correlacionados, pois concentrações elevadas de ferro acarretam valores elevados de cor e turbidez. Vale ressaltar que a Ilha de Mosqueiro faz parte do aquífero Barreiras, que tem como uma das principais características um alto teor de ferro.

Os escores para os dados de metais e turbidez, cor e STD em PC1 e PC2, estratificados de acordo com o período de menor e de maior precipitação pluviométrica, estão plotados na Figura 3. Pode-se observar que não ocorreu uma separação nítida entre os períodos, com exceção para os pontos destacados no segundo quadrante (Pontos 1 e 6) e terceiro quadrante (Pontos 4 e 7), o que indica que a sazonalidade não influencia de forma direta nos pontos estudados, visto que esse parâmetro tem maior influência em poços com um alto índice de vulnerabilidade. Os pontos 1, 4, 6 e 7 são dados obtidos em poços artesanais e amazonas, fato que explica possível destaque nos escores, pois geralmente são poços construídos sem critérios técnicos adequados, ficando vulneráveis a possíveis contaminações pela lixiviação do solo, disposição inadequada do lixo, esgoto a céu aberto, entre outros.

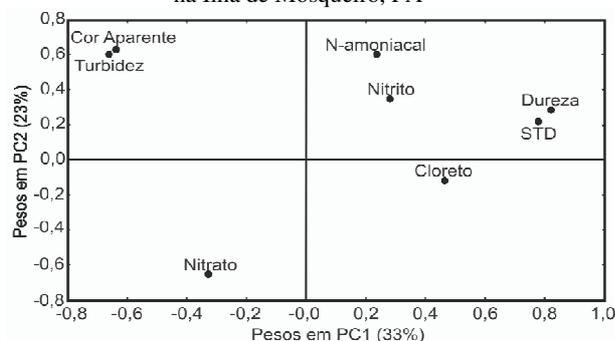
Figura 3 – Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os parâmetros de metais, cor, turbidez e STD durante o período de menor e maior precipitação pluviométrica



Para os parâmetros abióticos obtidos nos diferentes períodos (menor e maior precipitação pluviométrica), a análise de componentes principais mostra que as duas primeiras componentes (PC1 e PC2) juntas descrevem cerca de 56% da variância original, conforme a Figura 4. A PC1 explicou 33% da variância total: de um lado, o cloreto (0,46), o sólido total

dissolvido (+0,78) e a dureza (+0,82) e, de outro, a cor (-0,64), a turbidez (-0,66).

Figura 4 – Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise das variáveis com dados obtidos durante os períodos de maior e menor precipitação, na Ilha de Mosqueiro, PA

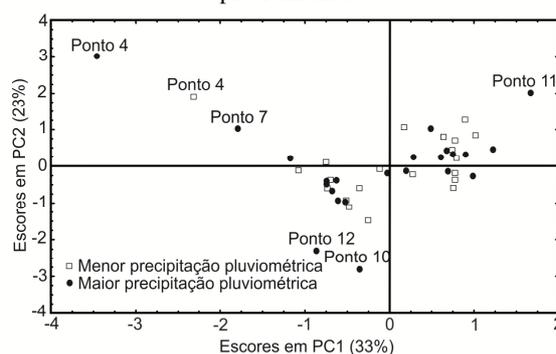


Em condições naturais, a dureza é uma característica química da água proveniente da dissolução de rochas calcíneas ou de outros minerais que contenham cálcio e magnésio (CORDEIRO *et al.*, 2012). Estudos realizados por Behling e Costa (2004) relataram a presença de óxido de magnésio e óxido de cálcio na composição química do solo da ilha de mosqueiro.

O nitrato não apresentou uma forte influência na primeira componente, mas destacou-se na segunda (PC2), que explicou 23% da variância total. A presença de nitrato corresponde à poluição antiga; tais fatos indicam que as águas estudadas estão sofrendo influências de fatores antrópicos, por se tratar de um espaço urbano desprovido de saneamento básico.

Os escores para os dados abióticos em PC1 e PC2, estratificados de acordo com o período de menor e de maior precipitação pluviométrica, estão plotados na Figura 5. Para os parâmetros abióticos, as variações dos índices pluviométricos não influenciaram na qualidade da água, no entanto os pontos 4 e 7, segundo quadrante, se destacaram devido ao alto índice de cor e turbidez durante o período de maior precipitação pluviométrica. Os pontos 10 e 12, terceiro quadrante, se destacaram devido à maior concentração de nitrato que teve durante o período de maior precipitação.

Figura 5 – Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os parâmetros abióticos durante o período de menor e maior precipitação pluviométrica



Os dados de cor, turbidez, cloreto, STD, dureza, nitrato, nitrito, N-amoniaco, alumínio, bário, cobre, ferro, manganês, sódio, chumbo e zinco analisados na água de consumo são mostrados na Tabela 1, que contém os valores mínimos e máximos encontrados bem como as concentrações medianas para os parâmetros analisados. Do mesmo modo, na Tabela 1

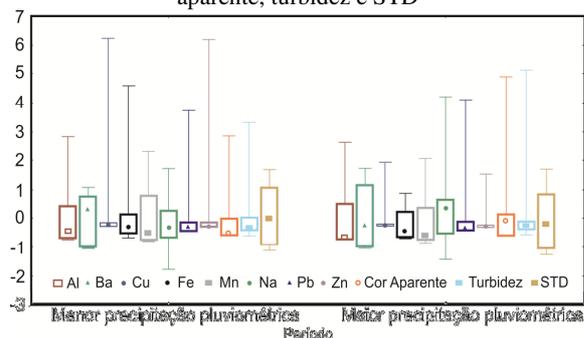
são comparados os resultados com os limites relatados na portaria 2.914 do Ministério da Saúde (Brasil, 2011) e com os valores propostos nas diretrizes para a qualidade da água potável estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 1993).

Tabela 1 – Mínimo (Min.), máximo (Máx.), mediana (Med.), dos dados abióticos e metais pesados presentes nos poços de água analisados no período de maior e menor precipitação na Ilha de Mosqueiro, PA e comparação com os limites de detecção da portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde e os níveis permitidos pela Organização Mundial da Saúde

Parâmetros	Menor Precipitação					Maior Precipitação					Portaria MS 2914/11	WHO
	Mín.	Máx.	Med.	Q. Sup.	Q. Inf.	Mín.	Máx.	Med.	Q. Sup.	Q. Inf.		
Al ($\mu\text{g L}^{-1}$)	2,00	404,00	34,50	116,50	6,80	2,00	383,00	8,50	132,80	3,00	200	200
Ba ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1,36	85,47	54,45	73,10	3,10	1,59	110,8,	33,00	89,00	4,00	700	700
Cu ($\mu\text{g L}^{-1}$)	0,20	638,90	2,65	8,40	0,60	0,20	215,5,	1,9,	4,90	0,40	2.000	2.000
Fe ($\mu\text{g L}^{-1}$)	0,00	1.281,00	91,50	186,00	46,30	0,00	379,00	57,00	207,00	9,00	300	2.000
Mn ($\mu\text{g L}^{-1}$)	4,46	123,59	14,85	62,70	6,10	1,86	114,09	11,37	47,33	6,06	100	500
Na (mg L^{-1})	1,19	8,83	4,38	5,60	3,70	1,90	14,29	5,82	6,41	3,94	200	200
Pb ($\mu\text{g L}^{-1}$)	0,00	16,60	0,45	1,10	0,00	0,00	18,10	0,30	1,30	0,00	10,0	10
Zn ($\mu\text{g L}^{-1}$)	0,00	758,80	2,80	14,10	1,30	0,00	211,40	3,40	6,88	1,68	5.000	3.000
Cor (uH)	0,00	84,00	1,00	13,50	0,00	0,00	133,00	12,00	17,00	0,00	15,0	-
Turbidez (UT)	0,44	13,40	1,33	2,50	1,10	0,57	19,30	1,56	1,92	1,21	5,0	-
Cloreto (mg L^{-1})	35,00	110,00	60,00	70,00	53,70	45,00	120,00	65,00	75,00	54,00	250	-
STD (mg L^{-1})	13,00	203,00	87,50	158,30	28,50	3,00	204,00	75,00	146,00	18,00	1.000	-
Dureza (mg L^{-1})	8,00	276,00	136,00	221,00	27,00	12,00	224,00	132,00	192,00	26,00	500	-
Nitrato (mg L^{-1})	0,00	0,70	0,01	0,20	0,00	0,00	1,75	0,02	0,27	0,00	10,0	-
Nitrito (mg L^{-1})	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,01	0,00	1,0	-
N-amon. (mg L^{-1})	0,21	0,40	0,27	0,30	0,20	0,00	0,41	0,27	0,30	0,25	1,5	-

O gráfico de caixa da Figura 6 permite fazer uma comparação visual das distribuições de metais, turbidez, cor e STD nos períodos de menor e maior precipitação pluviométrica. Nesse gráfico, a altura das caixas representa a distância interquartil; o ponto central, a mediana e as extremidades das duas linhas, os valores máximo e mínimo. Para permitir comparar, numa única figura, variáveis com unidades ou distribuições diferentes, realizou-se um autoescalonamento prévio da matriz de dados, isto é, uma transformação linear que torna todas as variáveis adimensionais com média zero e variância unitária.

Figura 6 – Distribuição dos valores autoescalados para metais, cor aparente, turbidez e STD



A dispersão do alumínio no período de menor precipitação pluviométrica foi relativamente assimétrica, com a mediana próxima aos valores mínimos. No período de maior precipitação pluviométrica, o valor da mediana ficou próximo aos valores mínimos, indicando uma assimetria orientada no sentido do quartil inferior (Figura 6). O valor da mediana nesse período foi de $8,5 \mu\text{g L}^{-1}$, enquanto que, no período de menor precipitação pluviométrica, foi de $34,50 \mu\text{g L}^{-1}$ (Figura 6). Ao comparar com os limites estabelecidos pela portaria 2.914 do Ministério

da Saúde e pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 1993), a mediana dos valores está dentro do limite de aceitação para consumo humano. Segundo Ribeiro; Sandri; Boêno (2013), o alumínio pode ocorrer de diferentes formas e é influenciado pelo pH, temperatura e presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes. Para a Organização Mundial da Saúde (WHO, 1993), existe uma relação entre a ingestão de elevados teores de alumínio em água potável associada a doenças de Alzheimer.

Para o metal bário, as amplitudes interquartílicas foram semelhantes em ambos os períodos, com maiores valores da mediana encontrados no período de menor precipitação pluviométrica (mediana para BA = $54,45 \mu\text{g L}^{-1}$, Tabela 1 e Figura 6). Os valores obtidos para esse metal estão dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pelas duas legislações estudadas.

A distribuição do metal cobre apresentou-se assimétrica nos dois períodos, com a cauda superior bastante longa no período de menor precipitação, mostrando que o valor máximo foi detectado nesse período. Os valores medianos apresentaram-se próximos nos dois períodos de coleta (Figura 6). De acordo com a legislação para consumo humano, os valores do metal cobre estão dentro dos padrões de potabilidade.

Com relação ao teor de ferro, a distribuição dos dados foi relativamente assimétrica para os dois períodos. A amplitude interquartil dos dados foi mais acentuada no período de maior precipitação pluviométrica com uma mediana de $57 \mu\text{g L}^{-1}$ (Tabela 1); já no período de menor precipitação pluviométrica, a amplitude interquartil mostrou-se

mais suave e com uma cauda superior longa e uma mediana de $91,5 \mu\text{g L}^{-1}$. Para o metal manganês, a distribuição dos valores no período de menor precipitação pluviométrica foi assimétrica, com a mediana próxima aos valores mínimos. No período de maior precipitação pluviométrica, a mediana ficou próxima aos valores mínimos, indicando uma assimetria orientada no sentido do quartil inferior (Figura 6). Os valores oscilaram entre o mínimo de $1,86 \mu\text{g L}^{-1}$ (maior precipitação pluviométrica) e máximo de $123,59 \mu\text{g L}^{-1}$ (menor precipitação pluviométrica). Comparando esses dois metais com a legislação de potabilidade e a Organização Mundial da Saúde (WHO, 1993), a mediana dos valores ficou dentro dos padrões estabelecidos pelas portarias.

O metal sódio teve uma variação assimétrica em ambos os períodos com valores de medianas menores no período de menor precipitação pluviométrica (mediana de $4,38 \text{mg L}^{-1}$). O limite máximo foi detectado no período de maior precipitação pluviométrica ($14,29 \text{mg L}^{-1}$). Os valores analisados estão dentro dos limites de aceitação para consumo humano.

Os valores mínimos do chumbo em ambos os períodos ficaram próximos ao quartil inferior, e com caudas longas nos dois períodos com valores máximos de $16,60 \mu\text{g L}^{-1}$ na menor precipitação e $18,20 \mu\text{g L}^{-1}$ na maior precipitação pluviométrica. Ao compararmos com as legislações vigentes para consumo humano, a mediana dos valores estão dentro dos padrões estabelecidos pelas mesmas.

Para o metal zinco, foi observado que este não obteve uma amplitude interquartil, no período de maior precipitação pluviométrica, com a mediana de $3,4 \mu\text{g L}^{-1}$. Para o período de menor precipitação, a amplitude interquartil teve uma pequena variação, com a mediana de $2,8 \mu\text{g L}^{-1}$. O limite superior nesse período indica a concentração máxima de $758,80 \mu\text{g L}^{-1}$. Os valores mais elevados encontram-se nesse período, como indicam a posição relativa das respectivas caixas (Tabela 1 e Figura 6). Os valores do metal zinco estão dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela portaria 2914/11 do Ministério da Saúde e pela Organização Mundial de Saúde.

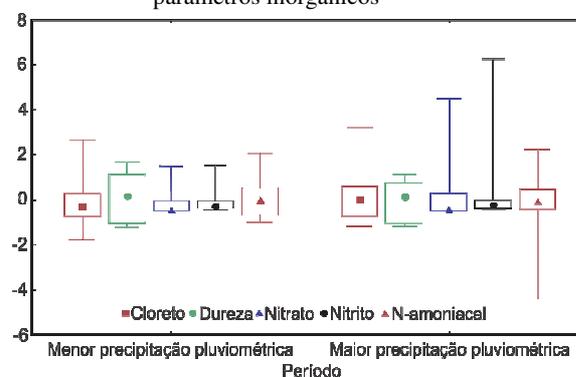
Para o parâmetro Cor, a distribuição foi assimétrica, em ambos os períodos, com valores de medianas menores no período de menor precipitação (mediana de 1 uH). O valor mínimo nesse período foi igual ao 1º quartil de 0 uH (Tabela 1 e Figura 6). No período de maior precipitação pluviométrica, a mediana foi de 12 uH e os maiores valores foram encontrados nesse período (máximo de 133 uH). A distribuição dos dados de turbidez apresentou uma distribuição menos assimétrica, com valores medianos nos períodos de menor precipitação (1,33 UT) e de maior precipitação (1,56 UT) bastante próximos. Os altos valores de cor e turbidez detectados em várias amostras resultam provavelmente de origem natural, os quais foram relacionados com os teores de ferro segundo a ACP. A mediana das amostras teve resultados recomendados pelo Ministério da Saúde para os dois parâmetros.

Os sólidos totais dissolvidos no trabalho teve uma amplitude interquartilica semelhante em ambos os períodos (Figura 6), com maiores valores da mediana encontrados no período de menor precipitação pluviométrica (mediana de $87,50 \text{mg L}^{-1}$). Estudos realizados por Cabral e Lima (2006) na Região Metropolitana de Belém apresentaram valores com média de $164,98 \text{mg L}^{-1}$. Ao comprar com a portaria 2.914 do Ministério

da Saúde, os valores encontrados estão dentro dos padrões de potabilidade.

Para os parâmetros inorgânicos, os gráficos de caixas mostraram que o cloreto teve uma distribuição suavemente assimétrica. A mediana na época de maior precipitação pluviométrica (mediana de 60mg L^{-1}) foi menor do que na época de menor precipitação pluviométrica (mediana de 65mg L^{-1}), valores estes inferiores a 250mg L^{-1} , que corresponde ao padrão de qualidade da faixa de aceitação da legislação vigente (Tabela 1 e Figura 7). De acordo com Bahia *et al.* (2011), o cloreto é um dos principais constituintes iônicos das águas subterrâneas e a sua presença está diretamente relacionada com fontes pontuais e difusas de contaminação antrópica e pelas características geológicas e geoquímicas dos aquíferos da área.

Figura 7 – Distribuição dos valores autoescalonados para os parâmetros inorgânicos



A dureza não ultrapassou o valor de $300 \text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$, tendo uma amplitude interquartilica semelhante em ambos os períodos (Figura 7), com maiores valores da mediana encontrados no período de menor precipitação pluviométrica (mediana de 136mg L^{-1}). Os valores máximos foram detectados no período de menor precipitação pluviométrica, que registrou o valor de 276mg L^{-1} (Tabela 1). Os valores obtidos estão abaixo do máximo permitido (500mg L^{-1}) pela portaria 2.914/11 que considera água potável.

Para as formas nitrogenadas, a amplitude interquartilica indica haver uma variação na distribuição das concentrações desses nutrientes em ambos os períodos. O nitrato e o nitrito apresentaram, no período de menor precipitação pluviométrica, valores de mediana próximos aos valores mínimos, indicando uma assimetria orientada no sentido do quartil inferior. Isso pode estar relacionado a um lento processo de nitrificação, visto que os valores medianos de amônia, deslocados no sentido oposto, estiveram próximos ao quartil superior (Figura 7). No período de maior precipitação pluviométrica, a distribuição dessas formas nitrogenadas foi diferenciada pelo valor da mediana da amônia, que ficou mais próximo ao valor do quartil inferior, indicando que o processo de nitrificação desse período ficou favorecido (valores de medianas para nitrato = 0,02, nitrito = 0,0 e amônia = 0,27) (Tabela 1).

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados estudados, é possível concluir que as medianas dos valores de metais das amostras coletadas estão dentro do padrão estabelecido pela portaria 2914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), e para a Organização Mundial de Saúde (WHO, 1993).

A sazonalidade não influenciou na distribuição dos elementos estudados de acordo com a análise de componentes principais.

Para os metais alumínio e chumbo, foi observado que 29% e 8% das amostras estiveram fora dos limites estabelecidos pelas duas portarias estudadas. Os metais ferro e manganês apresentaram 21% e 17% das amostras fora dos padrões estabelecidos pela portaria 2914/11 do Ministério da Saúde, no entanto essas mesmas amostras ficaram dentro dos limites de aceitação para consumo humano de acordo com a Organização Mundial de Saúde (WHO, 1993).

Para os parâmetros cloreto, STD, dureza, nitrato, nitrito e n-amoniaco, os resultados das análises estão dentro do estabelecido pela legislação do Ministério da Saúde.

O índice de cor e turbidez não esteve em conformidade com a portaria 2914 (BRASIL, 2011) em 42% e 8% dos pontos de coleta, comprovando, assim, uma concentração elevada de ferro devido às características do solo e possíveis contaminações pela lixiviação do solo.

Ressalta-se a necessidade de uma pesquisa na área da ecotoxicologia para demonstrar quais são as reais fontes de poluição existentes na Ilha de Mosqueiro e como estas afetam a qualidade da água consumida pela população local.

REFERÊNCIAS

- APHA; AWWA; WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed. Washington: American Public Health Association. 2012, 1360 p.
- AZEVEDO, R. P. Uso de água subterrânea em sistema de abastecimento público de comunidades na várzea da Amazônia central. **Acta Amazônica**, v. 36, p. 313-320, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672006000300004>.
- BAHIA, V. E.; FENZL, N.; LEAL, L. R. B.; MORALES, G. P.; LUIZ, J. G. Caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas na área de abrangência do reservatório de abastecimento público do Utinga – Belém, PA. **Águas subterrâneas**, v. 25, p. 43-56, 2011.
- BEHLING, H.; COSTA, M. L. 2004. Mineralogy, geochemistry, and palynology of modern and late Tertiary mangrove deposits in the Barreiras Formation of Mosqueiro Island, northeastern Para's state, eastern Amazonia. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 17, p. 285-295, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2004.08.002>.
- BRASIL. **Portaria 2.914 do Ministério da Saúde**. Diário Oficial da União, 14 dez. 2011, 32 p.
- CABRAL, N. M. T.; LIMA, L. M. Comportamento hidrogeoquímico das águas do aquífero Barreiras nos bairros centrais de Belém, Pará. **Ciências Naturais**, v. 1, p. 149-166, 2006. <http://dx.doi.org/10.5123/s1981-81142006000100011>.
- CORDEIRO, M. M.; GADELHA, C. L. M.; BONFIM, E. O.; SILVA, T.C. Variações da dureza da água captada de poços do aquífero Beberibe na cidade de João Pessoa – PB. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.17, p. 239-247, 2012. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v17n4.p239-247>.
- FIGUEIREDO, S. L. **Ecoturismo, festas e rituais na Amazônia**. Belém: NAEA/UFP, 1999. 207 p.
- MASSART, D. L.; VANDEGINSTE, B. G. M.; BUYDENS, L. M. C.; DE JONG, S.; LEWI, P. J.; SMEYERS-VERBEKE, J. **Handbook of chemometrics and qualimetrics**. Amsterdam: Elsevier. part A, cap. 17, 1998, 876 p.
- MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v. 3, p. 33-38, 2002.
- OLIVEIRA FILHO, E. C.; PARRON, L. M. Avaliação de qualidade das águas no Brasil: O rio Preto examinado. **Espaço e Geografia**, v. 10, p. 279-294, 2007.
- RIBEIRO, E. A.; SANDRI, D.; BOÊNO, J. A. Qualidade da água de córrego em função do lançamento de efluente de abate de bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 425-433, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000400011>.
- SÁ, L. L. C.; JESUS, I. M.; SANTOS, E. C. O.; VALE, E. R.; LOUREIRO, E. C. B.; SÁ, E. V. Qualidade microbiológica da água para consumo humano em duas áreas contempladas com intervenções de saneamento – Belém do Pará, Brasil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 14, p. 171-180, 2005. <http://dx.doi.org/10.5123/s1679-49742005000300005>.
- SANTOS, Y. Q. C. Educação Ambiental: uma forma de olhar a comunidade tradicional Sucurijuba na Ilha de Mosqueiro. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Educação Ambiental), Núcleo de Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará, Belém, 2004, 120 p.
- SILVA, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciências e Saúde Coletiva**, v. 8, p. 1019-1028, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-81232003000400023>.
- SOUZA, C. M. N. Relação saneamento-saúde-ambiente: os discursos preventivista e da promoção da saúde. **Saúde e Sociedade**, v. 16, p. 125-137, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-12902007000300012>.
- TAVARES, M. G. C.; GOMES, K. S.; COSTA, M. A. F.; RIBEIRO, W. O. Turismo e desenvolvimento local em uma ilha fluvial na Região Metropolitana de Belém: o caso da Ilha de Mosqueiro na Amazônia brasileira. **Revista Universitária de Geografia**, v. 16, p. 125-145, 2007.
- WHO – World Health Organization. **Guidelines for drinking water quality: recommendations**. Geneva: WHO, 1993, 128 p.