Qualidade da água consumida na Ilha do Mosqueiro, Belém-PA

Quality of water consumed in Mosqueiro island, Belém-PA

- **Data de entrada:**
15/03/2015
- **Data de aprovação:**
14/06/2016

Raynner Menezes Lopes* | Karina Ferreira Castro Mesquita | Maria de Lourdes Souza Santos
José Almir Rodrigues Pereira

DOI: 10.4322/dae.2016.024

Resumo

O estudo avaliou a qualidade da água subterrânea da Ilha do Mosqueiro (Belém – PA). Para tanto, foram aplicados o Índice de Qualidade Natural de Águas Subterrâneas (IQNAS), Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQAS) e Índice Relativo de Qualidade (IRQ). Além disso, foram levantadas as condições do abastecimento de água e esgotamento sanitário, para determinar, juntamente com os índices, a eficácia no atendimento à população. Nos resultados do IQNAS e IQAS, houve variação da qualidade da água, mostrando-se inferior nos bairros mais urbanizados. Na aplicação do IRQ a água foi classificada com excelente qualidade em todos os bairros estudados, reforçando a característica de índice pouco restritivo. Os sistemas de saneamento na ilha necessitam de reforma e manutenção para maior eficácia no atendimento da população. Os resultados sazonais dos índices não são conclusivos, no entanto, são um importante subsídio no planejamento para melhoria de qualidade de vida da população local.

Palavras-chave: água subterrânea; IQA; saneamento.

Abstract

The search assessed the quality of the groundwater of the island of Mosqueiro, in Belém - PA. Thus, we applied the Water Quality Index, in this case, Quality Groundwater Natural Index (IQNAS), Quality Index Groundwater (IQAS) and Quality Relative Index (IRQ). In addition, the conditions of the water supply and sanitation were taken into account in order to determine, together with the contents, the effectiveness in serving the population. In the results of IQNAS and IQAS, water quality variation was observed over the island's neighborhoods, being lower in more urbanized districts. In applying IRQ the water was classified as having excellent quality in all studied neighborhoods, reinforcing the characteristic of a somewhat restrictive index. Sanitation systems on the island need of renovation and maintenance for greater efficiency in serving the population. Seasonal results of the index are inconclusive, however, it is an important aid in the planning to improve the quality of life of the population.

Keywords: groundwater; WQI; sanitation.

Raynner Menezes Lopes – Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS). Professor Assistente da Universidade Federal do Pará (UFPA) - Campus Tucuruí.

Karina Ferreira Castro Mesquita – Doutoranda em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido (UFPA)

Maria de Lourdes Souza Santos – Doutora em Oceanografia (UFPE). Professora Adjunta da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).

José Almir Rodrigues Pereira – Doutor em Hidráulica e Saneamento (EESC-USP). Professor Titular da Universidade Federal do Pará (UFPA).

* **Endereço para correspondência:** Rua Itaipu, 36 – Vila Permanente – Tucuruí/PA. E-mail: raynnerlopes.ufpa@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A intensificação da poluição dos mananciais superficiais nos últimos anos vem tornando a água subterrânea uma opção alternativa para muitos países, não sendo mais restrita a países desprovidos de águas superficiais. Grandes exemplos dessa utilização podem ser vistos na República das Honduras, Mediterrâneo e países asiáticos.

Na República das Honduras, pelo menos 30% do abastecimento vêm de poços, chegando a 100% em determinadas zonas (VARGAS; VARGAS et al., 2012). No mediterrâneo, a água subterrânea é utilizada em larga escala, principalmente na irrigação (LATINOPOULOS; THEODOSSINO et al. 2011). Na Índia, China, Bangladesh, Tailândia, Indonésia e Vietnã, mais de 50% do abastecimento de água potável é fornecido a partir de águas subterrâneas (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006).

Proporcionalmente à utilização, as pesquisas sobre água subterrânea aumentaram significativamente e mostraram que sua característica pode ser modificada por uma série de fatores, nos quais se incluem os antrópicos e a hidrogeologia do aquífero (LOURENCETTI; PEREIRA et al. 2007).

A dinâmica e complexidade dos fatores que influenciam na qualidade da água subterrânea e também superficial remetem ao estudo de elementos que sintetizem de modo eficiente os laudos de caracterização da água potável. O uso dos Índices de Qualidade da Água (IQAs) como instrumentos complementares na avaliação da qualidade tem se mostrado satisfatório, pois facilitam a comunicação entre os profissionais e a compreensão da população interessada no assunto (ALMEIDA; OLIVEIRA, 2010).

Desde o surgimento do primeiro IQA, desenvolvido em 1965 pelo alemão R. Horton, foi observado que na seleção dos parâmetros para o cálculo do índice, devem ser considerados a origem e o tipo de uso para o qual a água será destinada, não se mostrando apropriado o uso de um único índice

para águas de diversas finalidades. Por conta desses usos diversos, novos índices surgiram. Um deles foi o IQA_{NFS} (*National Sanitation Foundation*), de 1970, que no Brasil foi modificado pela CETESB. Nessa década, os mesmos pesquisadores propuseram o Índice de Toxidez (IT), em complemento ao IQA_{NFS} (SANTOS, 2009).

Para águas subterrâneas, também surgiu o Índice de Qualidade da Água Subterrânea Bruta (IQASB) e o Índice de Qualidade de Água Subterrânea para Consumo Humano (IQAS_{CH}), desenvolvido para aplicação em aquíferos de uso agrícola (SANTOS, 2009).

Alguns índices, por exemplo, como o Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQAS), Índice Relativo de Qualidade da Água (IRQ) e Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea (IQNAS), têm sido citados e utilizados nos estudos de Coutinho et al. (2013), Almeida e Oliveira (2010) e Santos (2009).

O IQAS, proposto por Melloul e Collin (1998), relaciona a qualidade da água com vulnerabilidade dos aquíferos, quando associado ao método DRASTIC, tendo apresentado resultados satisfatórios em sua aplicação, enquanto que o IRQ, proposto por Fernandes e Loureiro (2006), tem sido questionado e caracterizado como pouco restritivo (COUTINHO et al. 2013). Ambos os índices relacionam as concentrações máximas permitidas por resoluções, portarias e normas com as obtidas em campo, enquanto que o IQNAS adota o critério de distribuição de pesos e utiliza um intervalo de validade para cada parâmetro, a fim de selecionar a formulação matemática mais apropriada para a obtenção do IQA final (OLIVEIRA; NEGRÃO et al., 2007).

O IQNAS, apesar de levar em conta a qualidade natural da água subterrânea, não considera os elementos químicos potencialmente tóxicos já citados, que podem estar presentes naturalmente em função da hidrogeoquímica do aquífero.

Para aquíferos impactados por atividade humana, a validade das informações é finita, pois novas substâncias ou novas informações sobre substâncias prejudiciais surgem a todo o momento, seja por novas pesquisas ou pela colocação de novos produtos no mercado (ALMEIDA; OLIVEIRA, 2010). Aquíferos nessas condições são comumente encontrados em áreas com deficiências de saneamento básico, onde há pouca ou nenhuma preocupação com a integridade dos mananciais superficiais ou subterrâneos.

Nas comunidades rurais da Amazônia, onde se inclui, também, as comunidades de várzea, nota-se que são raríssimos os poços executados dentro dos critérios técnicos adequados, com coletas e ensaios de materiais, onde seja feita a caracterização fiel da sondagem realizada. A falta desses elementos traz como consequência o desconhecimento dos aspectos construtivos do poço e da litologia do local, podendo comprometer a qualidade da água (AZEVEDO, 2006).

Na Ilha do Mosqueiro, Região Metropolitana de Belém, estado do Pará, onde o abastecimento público é feito por água subterrânea, as soluções individuais, intensamente utilizadas em áreas não abastecidas, na maior parte dos casos, são executadas de maneira inadequada pelos próprios moradores (MESQUITA, 2012). Os poços são perfurados ou escavados sem os critérios técnicos adequados e geralmente captam água dos aquíferos freáticos.

A vulnerabilidade desses aquíferos, associada às dificuldades de manutenção dos sistemas de abastecimento público e, especialmente, na coleta do esgoto, compromete a qualidade de vida da população. Com isso, esta pesquisa objetiva inferir sobre a poluição dos aquíferos da Ilha do Mosqueiro por meio da aplicação do IQAS, bem como classificar a qualidade da água subterrânea consumida pelos moradores, por meio do IQNAS,

e avaliar a aplicação do IRQ, uma vez que este índice tem sido discutido em estudos semelhantes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em Mosqueiro, que é a maior dentre as ilhas que integram o Distrito Administrativo do Mosqueiro (DAMOS), pertencente ao município de Belém. A ilha se caracteriza por ser fluvial, estando localizada em frente à baía do Marajó. Tem área de 212 km², com localização a 70 km do centro da capital Belém. Possui 17 km de praias de água doce, associadas ao regime de maré (BELÉM, 2013). Sua localização pode ser observada na Figura 1.

O número de habitantes residentes nas áreas urbana e rural é de 31.394 e 1.838 respectivamente, totalizando 33.232 habitantes (BRASIL, 2010), e equivale a 2% da população total residente no município de Belém.

A ilha apresenta áreas voltadas à moradia da população local, à produção agropecuária e à preservação (FERREIRA, 2010), além de ser ponto turístico do município de Belém, recebendo visitantes de municípios do Pará e de outros estados.

A precipitação pluviométrica média anual é de 2.800 mm, com período chuvoso de dezembro a junho, e um período menos chuvoso de julho a novembro. A umidade relativa média do ar é de 90% no período chuvoso e 80% no período menos chuvoso (MASCARENHAS et al., 2009).

A hidrogeologia dessa área é composta pelos aquíferos Aluviões, Barreiras, Pós-Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior (MATTA, 2002).

2.1 DESCRIÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada em duas etapas, sendo na primeira, levantadas informações sobre Sistema de Abastecimento de Água (SAA) e Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) da área de estudo, por meio de visitas de campo e consultas documentais. O objetivo foi verificar se as atuais condições

Figura 1 – Localização da Ilha do Mosqueiro.

dos sistemas permitem que estes desempenhem sua função com eficácia, abastecendo a população e efetuando a coleta dos esgotos, evitando, dessa forma, que a população busque soluções alternativas que possam vir a contaminar os aquíferos da área.

Na segunda etapa, foram selecionados bairros na área para a realização de coletas e análise dos parâmetros cloreto, nitrato, dureza e sólidos totais dissolvidos. Foram definidos 3 (três) pontos de coleta por bairro, sendo realizada 1 (uma) campanha de amostragem no período menos chuvoso (outubro de 2010) e 1 (uma) campanha do período chuvoso (março de 2011). Posteriormente, esses parâmetros foram utilizados para o cálculo de índices de qualidade da água subterrânea, no caso, Índice de Qualidade Natural da Água Subterrânea (IQNAS), Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQAS) e Índice Relativo de Qualidade (IRQ). Os bairros selecionados foram o Caruará, Chapéu

Virado, Farol, Marahú, Murubira, Paraíso, Porto Arthur, Praia Grande e Vila, totalizado 27 pontos de amostragem. O critério de seleção dos bairros se deu pela intensidade de ocupação da ilha (próximo às praias) e colaboração dos moradores locais.

2.1.1 IQNAS

A formulação matemática adotada no cálculo do IQNAS foi utilizada para o IQA da CETESB, ou seja, um produto dos valores de qualidade da água subterrânea para cada parâmetro químico escolhido (Q_i), elevado ao peso atribuído a cada variável (w_i) (OLIVEIRA NEGRÃO; SILVA, 2007), como pode ser observado na Equação

$$IQNAS = \text{produto}(Q_i^{w_i}) = Q_1^{w_1} \times Q_2^{w_2} \times Q_3^{w_3} \times \dots \times Q_n^{w_n}$$

Equação 1

Os valores de Q_i foram obtidos pelas equações mostradas na Tabela 1.

Tabela 1– Equações matemáticas para a obtenção do IQNAS.

Parâmetros e Unidades	Equações Matemáticas	Intervalos de Validade
pH (-)	$Q_{pH} = 1,7354x(pH^2)$ $Q_{pH} = 16405x[(pH)^{-2,5}] - 17$	$[2 \leq pH \leq 7,34]$ $[pH \geq 7,35]$
Cloreto (Cl, mg.L ⁻¹)	$Q_{Cl} = 100$ $Q_{Cl} = 138,9x(Cl)^{-0,19561} - (Cl)^{0,42}$ $Q_{Cl} = 0,0$	$[Cl < 4,86]$ $[4,86 \leq Cl \leq 3000]$ $[Cl > 3000]$
Sólidos Totais (ST, mg. L ⁻¹)	$Q_{ST} = 79 - 0,16728xST + \exp[(ST)^{0,228}]$ $Q_{ST} = 27,7$	$[0 \leq ST \leq 1630]$ $[ST > 1630]$
Dureza (DUR, mg.L ⁻¹)	$Q_{DUR} = 100$ $Q_{DUR} = 101,1x\exp(-0,00212xDUR)$	$[DUR < 5,4]$ $[DUR \geq 5,4]$
Fluoreto (F, mg.L ⁻¹)	$Q_F = 80 + 21xF - (F)^{11,6263}$ $Q_F = 0,0$	$[0 \leq F \leq 1,5]$ $[F > 1,5]$
Nitrato (N-NO ₃ ,mg.L ⁻¹)	$Q_N = 100x\exp(-0,0994xN)$	$[N \geq 0,0]$

Fonte: Oliveira; Negrão; Silva (2007).

Com relação aos pesos dos parâmetros (wi), houve a necessidade de uma redistribuição, já que os dados das variáveis pH e fluoreto não foram analisados. A redistribuição foi determinada com base em um estudo anterior, realizado por Coutinho et. al., (2013). Esses autores redistribuíram os pesos dos parâmetros para aplicar o IQNAS sem as informações de fluoreto e de sólidos totais. De acordo os autores, a redistribuição foi necessária pelo fato não haver informações específicas sobre a determinação do intervalo de classes de qualidade no trabalho original. Para não modificar os pesos das demais variáveis (cloreto, dureza e nitrato), foi remanejado o peso do pH para sólidos totais, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Redistribuição dos pesos dos parâmetros do IQNAS.

Parâmetros (Qn)	Pesos originais	Pesos redistribuídos (Wn)
pH	0,05	-
Cloreto (mg.L ⁻¹)	0,26	0,419
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	0,22	0,081
Dureza (mg.L ⁻¹)	0,16	0,258
Fluoreto (mg.L ⁻¹)	0,16	-
Nitrato (mg.L ⁻¹ de N-NO ₃)	0,15	0,242
Soma dos pesos	1	1

Fonte: Oliveira; Negrão; Silva (2007).

2.1.2 IQAS

Para o cálculo deste índice, foram utilizados os mesmos parâmetros adotados em sua aplicação original, no caso, o cloreto e o nitrato, que são parâmetros indicadores de poluição e salinidade.

Na primeira etapa da determinação do IQAS, foi utilizada a Equação , proposta por Melloul e Collin (1998), onde pode ser determinado o valor de Yi.

$$Y_i = -0,712x(P_{ij}/P_{id})^2 + 5,228x(P_{ij}/P_{id}) + 0,484$$

Equação 2

Onde: Pij é o valor da concentração do parâmetro medido em campo, e Pid é o valor padrão estabelecido por resoluções e portarias que regulam a qualidade da água para determinada finalidade.

Para a aplicação da Equação , foi adotado um valor de P_{id} igual 10 mg.L⁻¹ para o parâmetro nitrato e 250 mg.L⁻¹ para o parâmetro cloreto. Estes são os valores máximos permitidos na água potável pela portaria 2.914 do Ministério da Saúde. Tais valores-padrão foram adotados porque a aplicação das coletas se deu na água consumida pela população local.

A obtenção efetiva do índice foi realizada pela aplicação da Equação .

$$IQAS = (C/n) \times \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{W_i x Y_i}{W_{max} x Y_{max}} \right) \right]$$

Equação 3

Onde: C é uma constante, n é o número de parâmetros químicos utilizados no cálculo, Wi é o peso de cada parâmetro que varia com sua importância na pesquisa; Wmax é o peso máximo fornecido e Ymax, é o máximo atribuído ao parâmetro que é 3,5 vezes maior ou igual ao seu valor padrão de qualidade (AMORIM et al., 2011).

Na aplicação da Equação , foi adotado valor de C igual a 10. Os pesos atribuídos ao cloreto e nitrato (Wi), foram 1 e 2, respectivamente, sendo o valor de Y_{máx} igual a 10. Estes valores foram propostos por Melloul e Collin (1998). Foi utilizado valor de n igual a 2, pois este é o número de parâmetros utilizado neste cálculo.

2.1.3 IRQ

Na determinação deste índice, foi primeiramente calculado o IRQ_{médio} de cada parâmetro, obtido pela Equação , proposta por Fernandes e Loureiro (2006).

$$IRQ_{médio} = V_i / VMP_i$$

Equação 4

Onde: Vi é o valor médio resultante das análises do parâmetro i; VMPi é o valor máximo permitido pela portaria ou norma que se está usando para o parâmetro i.

O IRQ_{médio} foi obtido para os parâmetros nitrogênio, cloreto e sólidos totais dissolvidos, sendo utilizados os valores-padrão da portaria 2.914 do Ministério da Saúde como referência.

Com os valores de IRQ_{médio} , foi calculado o IRQ final pela Equação.

$$IRQ = IRQ_{médio} / n$$

Equação 5

Onde n é o número de parâmetros utilizados no cálculo.

Na Equação foi adotado o valor 3 para a variável n, já que foram utilizados três parâmetros de qualidade da água no cálculo deste índice.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No levantamento realizado, foi observada a carência de informações sobre a área de estudo. O isolamento geográfico do Distrito Administrativo do Mosqueiro (DAMOS) em relação ao município de Belém é um dos fatores que tem dificultado a manutenção e o avanço do saneamento básico e das condições socioeconômicas nessa área.

3.1 ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Realizado por manancial subterrâneo, a água é utilizada pelo sistema público de abastecimento e pelos sistemas individuais, executados por escolas, indústrias, comércio em geral e por muitos moradores não atendidos com sistemas públicos de abastecimento de água.

3.1.1 Abastecimento individual

De acordo com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2015), no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), na ilha estão atualmente cadastrados 393 poços, sendo que a maior parte é constituída por poços tubulares rasos, de propriedade particular. Desses poços, quase sua totalidade foi perfurada antes do ano 2000. Alguns poços rasos registrados foram perfurados na década de 70, inclusive de propriedade das concessionárias de abastecimento público atuantes na ilha. Esses poços estão na situação de equipados ou abandonados.

As profundidades desses poços geralmente variam de 10 a 25 metros, captando água de aquíferos livres (Aluviões), recarregados por rios, lagos, precipitações pluviométricas e poços de bombeamento próximos à água superficial (DEMÉTRIO et al., 2013). Esses aquíferos sofrem influência de vários fatores, podendo estar vulneráveis à poluição/contaminação. Como exemplo, cita-se o estudo de Rocha et al. (2011), que detectaram a presença de coliformes termotolerantes em poços rasos nos bairros do Cajueiro, município de Santa Viçosa, Bahia. Os fatores que mais influenciaram para contaminação da água foram a falta do distanciamento mínimo entre o córrego e os poços, a não vedação da tampa dos poços e sua pequena profundidade.

Outro tipo de obra de captação de água muito observada na Ilha do Mosqueiro é o poço tipo amazonas, construído por meio de escavação realizada sem critérios técnicos pelos próprios moradores das comunidades. Esses poços não estão registra-

dos e são vulneráveis à contaminação tanto pela infiltração de poluentes no solo como pela exposição a céu aberto. Sua profundidade pode variar de 2 a 10 metros, com diâmetro de aproximadamente 1,50 metros. De acordo com Matta (2002), valores entre 2,5 e 7,8 metros foram medidos nos outros distritos administrativos de Belém. A captação de água nesses poços geralmente é realizada por bombas hidráulicas, no entanto, o baixo poder aquisitivo de alguns moradores faz com que realizem captação de forma rudimentar, com a utilização de recipientes (baldes) presos a cordas.

Na Figura 2 pode ser observada a captação de água de poço tipo amazonas por meio do uso de bombas hidráulicas no bairro Porto Arthur.

Os poços perfurados na Ilha do Mosqueiro, depois do ano 2000 e registrados pelo SIAGAS, foram poucos e, em sua maioria, profundos e de propriedade das concessionárias de abastecimento público de água, indústrias e comércios em geral.

Figura 2 – Captação individual de água em poço tipo amazonas.

Os poços com finalidade para o abastecimento público e industrial obedecem a critérios estabelecidos por normas técnicas, já que o poder aquisitivo lhes permite a escavação de poços tubulares profundos por serviço especializado, constituindo obras de engenharia hidrogeológica. Essas obras, no caso da Ilha do Mosqueiro, podem alcançar as formações Barreiras e Pirabas, que são aquíferos confinados de melhor qualidade da água e maior capacidade hidráulica.

3.1.2 Abastecimento Público

Atualmente, o abastecimento de água na Ilha do Mosqueiro é realizado por dois órgãos: Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA), responsável pelo gerenciamento e operação dos sistemas de abastecimento de água que atendem

a maior parte da RMB e outros municípios do estado; e o Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (SAEEB)¹.

Na Ilha do Mosqueiro existem atualmente cinco sistemas de abastecimento, sendo um operado pela COSANPA e outros quatro (SAA Praia do Bispo, SAA 5ª Rua, SAA Carananduba e SAA Baía do Sol) gerenciados pelo SAAEB. As localizações dos sistemas de abastecimento são observadas na Figura 3.

Nota-se a localização bem distribuída dos sistemas de abastecimento em relação à ocupação da ilha. No entanto, as visitas realizadas aos sistemas possibilitaram a identificação de diversos problemas na infraestrutura dos SAAs, muitos dos quais estão relacionados à gestão do abastecimento de água.

Figura 3 – Localização dos SAAs na Ilha do Mosqueiro.

¹ De acordo com a Resolução Ad Referendum Nº 001/2015 do Presidente do Conselho Superior de Administração da AMAE/ Belém, de 04 de Novembro de 2015, foi realizada a transferência da prestação dos serviços públicos de abastecimento de água potável e esgotamento sanitário da área urbana do Município de Belém para a Companhia de Saneamento do Pará - COSANPA pelo prazo de 30 anos

A ausência de unidade de tratamento, a falta de conservação das instalações e o volume perdido de água estão entre os principais problemas constatados nas unidades de abastecimento.

No sistema COSANPA, apesar de conter unidade de tratamento, a água tratada (aerada para reduzir as concentrações de ferro) é misturada à água bruta nos reservatórios apoiados. Além desse fator, não há controle laboratorial com dosagem adequada do produto químico utilizado na desinfecção.

Foi observada também a falta de cadastro técnico atualizado, Centro de Controle Operacional e das informações operacionais e comerciais. A consequência desse fator é o número elevado ligações domiciliares não hidrometradas e a grande quantidade de ligações clandestinas.

Apesar dos SAAs existentes, as deficiências estruturais e operacionais identificadas têm contribuído para o intenso uso de soluções individuais alternativas de abastecimento, no caso, poços tubulares rasos ou do tipo amazonas. Esse tipo de abastecimento foi muito observado nos bairros menos urbanizados e sem cobertura com SAA, como Baía do Sol, Paraíso, Sucurijuquara, Marahú, Bonfin, São Francisco e Caruará.

3.2 SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO (SES)

O SES existente na Ilha do Mosqueiro é composto de duas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) no caso, ETE Vila e ETE Aeroporto (ambas localizadas nos bairros com seus respectivos nomes), e mais sete Estações Elevatórias de Esgoto (EEE), das quais duas estão localizadas nas ETEs. Na Figura 4 podem ser observadas as localizações das ETEs.

Figura 4 – Localização das unidades do SES existentes.

É possível observar pela Figura 4 que o SES existente contempla uma parcela da população urbanizada da Ilha e, apesar da estrutura implantada, somente a ETE Vila tem operado, e com capacidade de tratamento em torno de 55%.

A ausência de contribuição de esgoto nas ETEs tem sido um problema, já que em alguns bairros, mesmo contemplados com sistema de tratamento de esgoto, não estão completamente atendidos com rede, sendo que muitos moradores atendidos com esse serviço não ligam seus ramais de esgoto à rede. Em outros casos, nos quais a rede está rompida, ocorre a entrada de grande quantidade de água pluvial, inviabilizando a operação do sistema de tratamento.

Para o ano de 2015, é estimada produção média de 115 L/s de esgoto na Ilha do Mosqueiro, chegando a 146 L/s no final de plano (2030). Tendo em vista a incapacidade do atual SES, foi previsto no estudo de Concepção do Plano Diretor do Sistema de Esgotamento Sanitário (PDSES) da RMB, ano de 2010, a ampliação do SES para 54,4 km de rede coletora e 18,74 km de Interceptores, para transportar o esgoto coletado até a ETE Vila com capacidade ampliada para 143,34 L/s. Este sistema atenderia o bairro Maracajá, Vila, Mangueira, Praia Grande, Farol, Aeroporto, Chapéu Virado, Natal do Murubira, Porto Arthur, Murubira, Ariramba, São Francisco, Bonfim, São Francisco, Carananduba, Marahú, Caruará e Paraíso. (PARÁ, 2010).

Além dessa alternativa, a construção de outra unidade de tratamento, no caso, a ETE Paraíso, foi proposta, para coletar os esgotos do bairro Baía do Sol e Sucurijuquara.

3.3 IQNAS

As faixas de valores de IQNAS calculados mostraram redução significativa de qualidade da água subterrânea nos bairros do Murubira, Porto Arthur, Chapéu Virado, Farol, Praia Grande e Vila, onde a urbanização é mais intensa, especialmente

no mês de julho, período de férias escolares onde há significativo aumento de pessoas nessa área.

Nesses bairros, além dos sistemas de esgotamento sanitário inoperantes, distribuídos em vários pontos, e que podem eventualmente estar acumulando esgotos não bombeados nos poços de sucção e nas lagoas de estabilização não operadas, há também um cemitério ativo, localizado mais especificamente entre os bairros da Vila e Maracajá, a uma esquina da unidade EEE-B1A, operada pelo SAAEB. Em análises físico-químicas realizadas por Neira et al. (2008), no cemitério de Santa Inês, município de Vila Velha, estado do Espírito Santo, foi constatada a presença de compostos nitrogenados em índices elevados, inclusive nos valores encontrados para amônia, que indica poluição recente e refere-se ao primeiro estágio de decomposição da matéria orgânica. Este estudo evidencia que a presença de cemitérios caracteriza a área como tendo risco em potencial para a integridade dos aquíferos.

Apesar da existência de SAA e SES na área de estudo, fica evidente que os impactos ocasionados pela urbanização e falta de operação e manutenção desses sistemas vêm contribuindo para a degradação da qualidade da água de abastecimento da ilha. A falta de manutenção adequada da rede de distribuição de água, associada às grandes quantidades de ligações clandestinas, é um dos fatores de comprometimento da qualidade da água de abastecimento, já que as pressões negativas na rede danificada podem importar as contaminações para o interior da rede, levando-as aos consumidores. De acordo com Mesquita (2012), em 100% dos valores positivos para coliformes totais detectados na água de abastecimento na Ilha do Mosqueiro, 36,36% foram na água abastecida pelas concessionárias.

Na Figura 5 pode ser observada a distribuição dos bairros na Ilha do Mosqueiro e seus respectivos conceitos de qualidade da água pelo IQNAS, nos períodos menos chuvoso e chuvoso.

Figura 5 – IQNAS das águas subterrâneas dos bairros estudados.

Os bairros do Paraíso, Caruará e Marahú, onde a ocupação urbana é reduzida, apresentaram aumento de qualidade. Essa diferença também pode ser observada na sazonalidade, já que o bairro Porto Arthur apresentou qualidade imprópria para consumo no período menos chuvoso, e qualidade boa, no período chuvoso. Esse fator sugere um processo de diluição pontual, ocasionado pelas intensas precipitações pluviométricas nessa região. Vale ressaltar que no bairro Porto Arthur, um dos pontos de coleta foi de água proveniente de poço tubular raso, muito propenso à influência da chuva.

Mesmo com os resultados contundentes e condizentes com a realidade da área de estudo, é importante salientar que no cálculo do IQNAS, não foram utilizados os parâmetros fluoreto e pH, além disso, o próprio índice, embora útil, apresenta limitações, já que não considera parâmetros de importância acentuada, como os biológicos, que indicam poluição fecal da água subterrânea. No

caso da região em estudo, Mesquita (2012) constatou que 54,17% dos dados das análises bacteriológicas da água de abastecimento (individual e pública) foram positivos para coliformes totais.

Outros parâmetros não considerados por este índice são os organolépticos e, especialmente, os químicos potencialmente tóxicos, que são resultantes das características hidrogeoquímicas locais, atividades industriais e de serviços, a exemplo dos compostos BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) e do mercúrio, que cada vez mais vêm alterando a qualidade natural das águas subterrâneas (ALMEIDA; OLIVEIRA, 2010). Assim, no âmbito nacional, as lacunas quanto ao estabelecimento de índices de qualidade dos mananciais subterrâneos os tornam ferramentas complementares de avaliação da qualidade da água, sobretudo, para os mananciais localizados em áreas com atividades humanas poluidoras, como é o caso da Ilha do Mosqueiro.

3.4 IQAS

Na determinação do IQAS, foi observado que os maiores valores se concentraram nos bairros já citados, como os mais urbanizados da ilha, no caso, Porto Arthur, Chapéu Virado, Murubira, Farol, Praia Grande e Vila. De acordo com Melloul e Collin (1998), os valores do IQAS aumentam com o potencial de poluição do aquífero, sendo que neste estudo, todos os valores de IQAS estiveram acima de 1, confirmando, para este índice, a potencialidade de poluição para finalidade de consumo humano.

É importante ressaltar que os valores de cloreto e nitrato utilizados no cálculo do IQAS estão dentro dos padrões estabelecidos pela portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde.

Em análise dos parâmetros utilizados no cálculo do IQAS, foi observada maior influência do cloreto em relação aos valores de nitrato. A presença de cloretos em águas subterrâneas poderia estar relacionada com intrusão marinha (COUTINHO et al., 2013), outros fatores naturais (CONCEIÇÃO et al., 2009 apud CAPP, 2012), ou fatores antrópicos. Para Viana et al. (2009), o cloreto indica ocorrência

de contaminação por resíduos domiciliares ou industriais, que pode ser ocasionada pela ausência de proteção dos poços, pequena distância entre o poço e fossa ou a deposição de águas servidas a céu aberto, que podem infiltrar. Nascimento e Barbosa (2005) detectaram elevadas concentrações de cloretos no aquífero freático de uma área da bacia do rio Lucaia na Bahia, onde havia grande quantidade de lixo. A maior fonte de contaminação do aquífero identificada foram os efluentes domésticos oriundos dos esgotos sanitários e fossas sépticas.

No caso da área de estudo, a maior parte das residências estudadas é composta de fossa rudimentar para armazenar os esgotos domésticos. Muitas dessas fossas foram construídas há vários anos e, de acordo com os moradores, não passam por qualquer processo de manutenção. Alguns moradores citaram também casos de transbordamento da fossa em momentos de chuva, o que aumenta os volumes de esgoto infiltrados no solo, e podem eventualmente contaminar os aquíferos. Esse fator pode explicar a breve diferença entre os valores de IQAS no período menos chuvoso e chuvoso, que podem ser observados na Figura 6.

Figura 6 – IQAS das águas subterrâneas dos bairros.

Desse modo, apesar de a Baía do Marajó, na qual se localiza a área de estudo ser área estuarina (CORRÊA, 2005) e, consequentemente, sofrer influências oceânicas (salinidade), a forma pela qual se distribuem as concentrações de cloreto nos bairros estudados da ilha, e a própria situação do saneamento básico na área, sugerem que no período chuvoso, o processo de diluição e eventual aumento do volume do esgoto doméstico, que infiltra no solo por vazamentos ou transbordamento nas fossas, pode estar comprometendo a qualidade da água em alguns bairros nesse período sazonal.

3.5 IRQ

Considerando que os valores do IRQ crescem com a diminuição da qualidade da água, na aplicação desse índice, foi observado, assim como no IQ-NAS e IQAS, que os três bairros menos populosos da ilha, no caso Paraíso, Marahú e Caruará, apre-

sentaram valores de IRQ inferiores em relação aos bairros mais populosos, sendo que a variabilidade dos dados foi menos acentuada nesse índice se comparado aos outros.

Apesar da variabilidade existente nos valores do IRQ, seus intervalos de classificação podem ser considerados relativamente extensos, já que nesse índice, todos os bairros da área de estudo apresentaram excelente qualidade, como pode ser observado na Figura 7.

No estudo de aplicação do IRQ no aquífero livre da bacia hidrográfica do rio Gramame, no litoral Sul do estado da Paraíba, revelou que mais de 85% das amostras de água do aquífero foram classificadas como de qualidade excelente, sendo os outros poços, que no monitoramento qualitativo apresentaram problemas com relação ao nitrato, tiveram sua água classificada como de qualidade

Figura 7 - IRQ das águas subterrâneas dos bairros estudados.

boa. Essa discordância entre classificações caracterizou o IRQ como pouco restritivo, já que qualificou como boas as amostras d'água com concentrações altas de nitrato (COUTINHO et al., 2013).

Na análise também pode ser observado que a variabilidade nos resultados do IRQ se aproximou do IQAS, em virtude da maior influência do cloreto, que juntamente com o nitrato, foram parâmetros comuns nos cálculos desses índices, que adotaram igualmente nesta pesquisa os valores de referência da portaria nº 2914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). Como o IQNAS se baseia exclusivamente nos critérios de peso, várias formulações matemáticas específicas e maior quantidade de parâmetros em seu cálculo, mostrando-se um índice mais segregativo, a variabilidade de seus resultados nesta pesquisa foi mais acentuada.

É importante ressaltar que os parâmetros utilizados no cálculo do IQNAS, IQAS e IRQ atendem os padrões da portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde (MESQUITA, 2012). No entanto, sua utilização no IQAS gerou resultados de água de baixa qualidade para tal finalidade. Esse fator evidencia a importância dos índices como ferramentas complementares de análise, já que torna os laudos de qualidade da água mais consistentes.

3.6 ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Com a utilização dos parâmetros de qualidade da água subterrânea, obtiveram-se os resultados gerais dos IQAs observados na Tabela 3.

4 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, foi observado que o SAA público e o SES da Ilha do Mosqueiro não estão em condições adequadas para o atendimento da população em sua totalidade. Os problemas de gestão, nos quais estão inclusos a falta de informações técnicas e de controle operacional, têm desencadeado impactos que se iniciam na estrutura física dos sistemas, e resultam por atingir os moradores locais que, recorrendo a soluções alternativas individuais de saneamento, utilizam água de poços a céu aberto, cujo aquífero pode estar sendo poluído pelos próprios dejetos. Tal fator é reforçado pela aplicação do IQNAS e IQAS, onde a classificação da água subterrânea observada na maior parte dos bairros da área de estudo se mostrou compatível com a urbanização e condições de saneamento básico.

Para o IQNAS, os bairros do Paraíso, Marahú e Caruará, menos urbanizado, cujas amostras de água analisadas são provenientes de poços tubulares

Tabela 3 – Valores dos IQAs obtidos nas águas subterrâneas.

Bairros	IQAS		IRQ		IQNAS	
	Menos chuvoso	Chuvoso	Menos chuvoso	Chuvoso	Menos chuvoso	Chuvoso
Paraíso	2,42	2,65	0,062	0,078	79,84	77,28
Marahú	2,57	2,33	0,079	0,062	77,05	78,55
Caruará	2,60	2,96	0,083	0,092	76,75	75,57
Porto Arthur	3,93	4,07	0,188	0,202	23,93	46,12
Chapéu Virado	3,63	4,09	0,185	0,185	2,30	23,99
Murubira	2,63	3,55	0,191	0,194	0,00	24,05
Farol	3,71	4,00	0,214	0,184	22,19	24,65
Praia Grande	3,75	3,84	0,199	0,213	0,00	0,00
Vila	2,79	3,82	0,204	0,210	0,00	0,00

rasos e tipo Amazonas, a água foi classificada como boa no período menos chuvoso e chuvoso, estando, no IQAS, acima de 1 nos dois períodos sazonais, confirmando, para este índice, a potencialidade de poluição para finalidade de consumo humano. No IRQ, a água desses bairros foi classificada como de excelente qualidade.

Nos bairros do Chapéu Virado, Murubira, Farol, Praia Grande e Vila, a classificação da água subterrânea para o IQNAS foi de imprópria no período menos chuvoso e chuvoso, sendo que no Bairro de Porto Arthur, a qualidade da água manteve-se aceitável no período chuvoso, e imprópria no período menos chuvoso. Para o IQAS, os valores se mantiveram superiores a 2,50, evidenciando maior potencial de poluição em relação às áreas menos urbanizadas, enquanto que no IQR a água desses bairros se manteve com excelente qualidade, evidenciando a característica de índice pouco restritivo, já comentada por outros autores.

Como já citado, mesmo com os parâmetros de qualidade utilizados no cálculo dos índices estando de acordo com os padrões da portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde, grande parte dos resultados foram desfavoráveis à qualidade da água da Ilha do Mosqueiro, mostrando que os resultados sazonais obtidos nessa pesquisa não são conclusivos, mas são bastante relevantes para subsidiar as autoridades no planejamento estratégico para melhoria de qualidade de vida local.

Recomenda-se para a Ilha do Mosqueiro, estudos mensais de qualidade da água, durante pelo menos um ano, para que a sazonalidade possa ser novamente avaliada. É recomendada para o estudo futuro, a utilização de maior número de pontos de coleta de água por bairro e em toda a região urbanizada na Ilha do Mosqueiro.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. A. S.; OLIVEIRA, I. B. Índice de qualidade da água subterrânea bruta (IQASB) utilizada na produção de água potável. **Revista Águas Subterrâneas**. v. 24, p. 31-45, 2010.
- AMORIM, H. J. C. A. L.; LOPES, M. B. L.; OLIVEIRA, R. K. S.; NOBRE, R. C. M. N. Mapeamento da qualidade das águas subterrâneas em Maceió – AL. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió, 2011.
- AZEVEDO, R. P. Uso de água subterrânea em sistema de abastecimento público de comunidades na várzea da Amazônia central. **Acta Amazônica**. v. 36, n.3, p. 313 – 320, 2006.
- BELÉM. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/politica/4027128/duciomar-costa-inaugura-novosreservatorios-de-agua-em-mosqueiro-pa>>. Acesso em 04 Dez. 2013.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de Recuperação Automática**. 2010. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1378&z=-t&o=25&i=P>>. Data do acesso: 7 nov. 2013.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília. 14 de dezembro. 2011.
- CAPP, N.; AYACH, L. R.; SANTOS, T. M. B. S.; GUIMARÃES, S. T. L. Qualidade da água e fatores de contaminação de poços rasos na área urbana de Anastácio (MS). **Geografia Ensino & Pesquisa**. v. 16, n. 3, 2012.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINEIRAIS. **Sistema Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS)**. 2015. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php>. Acesso em 19 jan. 2015.
- PARÁ. Companhia de Saneamento do Pará. **Plano Diretor do Sistema de Esgotamento Sanitário da Região Metropolitana de Belém**: Concepção do Sistema de Esgotamento Sanitário da RMB: Detalhamento da Alternativa Escolhida - Relatório Técnico 6. José Almir Rodrigues Pereira, Coordenador. Belém, Universidade Federal do Pará. Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento, Companhia de Saneamento do Pará. 324 p., 2010.
- CORRÊA, I. C. S. Aplicação do Diagrama de Pjrup na Interpretação da Sedimentação e da Dinâmica do Estuário da Baía de Marajó – PA. **Pesquisa em Geociências**. p.109 – 118, Junho. 2005.
- COUTINHO, J. V.; ALMEIDA, C. N.; GADELHA, C. L. M.; TARGINO, D. F.; LINHARES, F. M.; COELHO, V. H. R.. Avaliação Integrada da Qualidade da Água Subterrânea em uma Bacia Hidrográfica Representativa do Litoral da Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 18, n.4, p. 197-212, outubro/dezembro. 2013.
- DEMÉTRIO, J. G. A.; PAIVA, A. L. R.; FREITAS, D. A.; BATISTA, A. G. S.; CABRAL, J. J. S. P. Características hidrogeológicas dos Aluviões do Rio Beberibe na área da bateria de poços no bairro de caixa d'água, Olinda-PE. **Revista Brasileira de Águas Subterrâneas**. v. 27, p. 111-126, dezembro, 2013.

FERNANDES, R. A.; LOUREIRO, C. O. Índice relativo de qualidade (IRQ): um método para caracterização e hierarquização do potencial qualitativo das águas subterrâneas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14, 2006, Curitiba: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2006, 14p.

FERREIRA, H. L. D. **Expansão urbana e periferação em áreas de interesse turístico: o caso da Ilha do Mosqueiro (Belém – Pará)**. 2010. 154 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano da Universidade da Amazônia, Belém, 2010.

LATINOPOULOS, D.; THEODOSSINO, N.; LATINOPOULOS, P. Combined use of groundwater simulation and multi-criteria analysis within a spatial decision-making framework for optimal allocation of irrigation water. **Spanish Journal of Agricultural Research**. v. 9, p. 1105-1119, 2011.

LOURENCETTI, M. L. R. C.; PEREIRA, S. Y.; MARCHI, M. R. R. Contaminação de Águas Subterrâneas por Pesticidas: Avaliação Preliminar. **Química Nova**. v. 27, p. 688-694, janeiro. 2007.

MASCARENHAS, B. M.; GUIMARÃES, M. S.; PINTO, C. S.; GOMES NETO, H. A.; PEREIRA, J. D. B. **Estudo de anofelinos antropofílicos peridomiciliares da Praia da Saudade na Ilha de Cotijuba: uma área endêmica de malária em Belém, Pará**. **Acta Amazonica**. v. 39(2), p. 453 – 458, 2009.

MATTA, M. A. S. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil**. 2002. 292 p. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

MELLOUL, A. J.; COLLIN, M. A proposed index for aquifer water-quality assessment: the case of Israel's Sharon region. **Journal of Environmental Management**. v. 54, p. 131–142, March, 1998.

MESQUITA, K. F. **Qualidade da água de consumo da Ilha do Mosqueiro/PA**. 2012. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.

NASCIMENTO, S.; BARBOSA, J. Qualidade da água do aquífero freático no alto cristalino de Salvador, Bacia do rio Lucaia, Salvador, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 35, n. 4, p. 543-550, Dezembro, 2005.

NEIRA, D. F.; TERRA, V. R.; SANTOS, R. P.; BARBIÉRI, R. S. Impactos do necrochorume nas águas subterrâneas do cemitério de Santa Inês, Espírito Santo, Brasil. **Natureza Online**. v. 6, p. 36-41, 2008.

OLIVEIRA, I. B.; NEGRÃO, F. N.; SILVA, A. G. L. S. Mapeamento dos aquíferos do estado da Bahia utilizando o Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas – IQNAS. **Revista Águas Subterrâneas**. v. 21, n. 1, p. 123-137, 2007.

ROCHA, A. G. L.; ROCHA, A. L. R.; SOUZA, R. S.; FORTUNA, J. L. Avaliação microbiológica da água de poços rasos próximos a um córrego. **Revista Ciências do Ambiente**. v. 7, p. 28-54, julho, 2011.

SANTOS, J. M. M. **Índice de qualidade de água subterrânea aplicado em área de aquíferos cristalinos com uso agrícola: bacia do rio são domingos – RJ**. 2009. 140 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SANTOS, Y. Q. C. **Educação Ambiental: uma forma de olhar a comunidade tradicional sucirijuba na Ilha de Mosqueiro**. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Educação Ambiental) – Núcleo de Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.

VIANA, E. P. T. GALDINO, P. O.; FERREIRA, R. C.; DANTAS, R. T.; ARAUJO, K. D. Poluição do riacho Acon em Catolé do Rocha – PB. **Revista Verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**. v. 4, n. 3, p. 77 – 84, Julho/Setembro, 2009.

VARGAS, T. C.; VARGAS, I.; BADILA, E. Propriedades hidrogeoquímicas e isotópicas del agua subterrânea em la parte media de la cuenca del río Tulián, Puerto Cortés, Honduras. **Revista Geológica de América Central**. v. 46, p. 179-188, Junho, 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Protecting groundwater for health – Managing the quality of drinking water sources**. p. 1-155, 2006.