



Revista Ambiente & Água
ISSN: 1980-993X
Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias
Hidrográficas

Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do Lixão de Salinópolis, PA

Silva, Régia Simony Braz Da; Sousa, Adriano Marlisom Leão de; Sodré, Silvana do Socorro Veloso; Vitorino, Maria Isabel

Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do Lixão de Salinópolis, PA

Revista Ambiente & Água, vol. 13, núm. 2, 2018

Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92860561004>

DOI: 10.4136/ambi-agua.2072

ARTICLES

Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do Lixão de Salinópolis, PA

Seasonal evaluation of surface and groundwater quality in the area of influence of the Lixão de Salinópolis, PA

Régia Simony Braz Da Silva ^{1 *} regia.silva@ifma.edu.br
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão, Brazil

Adriano Marlisom Leão de Sousa ²
adriano.souza@ufra.edu.br

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brazil

Silvana do Socorro Veloso Sodré ²
silvana.veloso@ufra.edu.br

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brazil

Maria Isabel Vitorino ³ vitorino@ufpa.br
Universidade Federal do Pará, Brazil

Revista Ambiente & Água, vol. 13, núm. 2, 2018

Instituto de Pesquisas Ambientais em
Bacias Hidrográficas

Recepção: 23 Dezembro 2016
Aprovação: 06 Fevereiro 2018

DOI: 10.4136/ambi-agua.2072

Financiamento
Fonte: CNPq
Número do contrato: 14/2012
Financiamento
Fonte: FAPESPA
Número do contrato: 2014

CC BY

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar a sazonalidade da qualidade da água superficial e subterrânea nas proximidades do lixão de Salinópolis, situado na Vila de Cuiarana, por meio da caracterização da precipitação da região e da sua influência na composição físico-química e microbiológica das águas locais. Para isso, foram observados os dados dos acumulados mensais da precipitação local, medição da velocidade de infiltração no solo e medição da vazão dos rios Cachoeira e Teixeira. Foram selecionados os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos: pH, oxigênio dissolvido (OD), temperatura da água, sólidos totais dissolvidos (TDS), turbidez, condutividade elétrica (CE), salinidade, amônia, nitrato, coliformes totais e *Escherichia coli*; e os metais: alumínio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, mercúrio, níquel e zinco. Tanto as águas superficiais quanto as subterrâneas se apresentaram inadequadas para uso e consumo humano. Parâmetros como OD, ferro, alumínio, chumbo, mercúrio, coliformes totais e *E. coli* estão em desconformidade com as legislações vigentes. O período chuvoso influenciou negativamente a qualidade em águas superficiais. Em águas subterrâneas, parâmetros como amônia, nitrato, ferro, mercúrio e chumbo estiveram em maiores concentrações no período menos chuvoso; enquanto, CE, *E. coli*, coliformes totais e alumínio aumentaram suas concentrações no período chuvoso.

Palavras-chave: Cuiarana, precipitação, qualidade da água.

Abstract: This work evaluated the seasonality of surface and groundwater quality in the vicinity of the Salinópolis dump, located in the Cuiarana village, by characterizing precipitation in the region and its influence on the physicochemical and microbiological composition of local waters. To accomplish this, data regarding monthly local precipitation were reviewed, and measurements were taken of the rate of soil infiltration and the rate of flow of the Cachoeira and Teixeira Rivers. The physico-chemical and bacteriological parameters selected were pH, dissolved oxygen (OD), water temperature, total dissolved solids (TDS), turbidity, electrical conductivity (EC), salinity, ammonia, nitrate, total coliforms and *Escherichia coli*; and the metals aluminum, cadmium, lead, copper, chromium, iron, manganese, mercury, nickel and zinc. Both surface and groundwater were inadequate for human consumption and use. Parameters such as OD, iron, aluminum, lead, mercury, total coliforms and *E. coli* are not in compliance with

current legislation in both surface and underground waters. The rainy season had a negative impact on surface water quality. In groundwater, parameters such as ammonia, nitrate, iron, mercury and lead were higher in the less rainy period, whereas EC, *E. coli*, total coliforms and aluminum increased their concentrations in the rainy period.

Keywords: Cuiarana, rainfall, water quality.

1. INTRODUÇÃO

A precipitação é um elemento climático importante na indução do comportamento e das características de outras variáveis meteorológicas, como temperatura do ar, umidade relativa e ventos (Nobre et al., 2009). Além disso, é fundamental na manutenção do equilíbrio hídrico em uma região e influi na composição físico-química e microbiológica dos corpos hídricos, por meio de processos complexos de interação superfície-atmosfera (Machado e Pacheco, 2010).

Entretanto, a qualidade da água não depende apenas de condições naturais. A ação antrópica interfere qualitativa e quantitativamente à medida que afeta as características químicas, físicas e biológicas dos sistemas hídricos (Pinto et al., 2009). A urbanização engendrada de forma acelerada e sem o devido planejamento aumentou a pressão antrópica sobre os recursos hídricos, sobretudo no que se refere àqueles usados para o abastecimento urbano. Isso gerou numerosos impactos sobre esse recurso natural, principalmente por meio do lançamento de esgotos e de resíduos urbanos e industriais nas águas (Tucci, 2008).

A constante e crescente produção de resíduos sólidos e sua posterior destinação inadequada, sobretudo nos centros urbanos, como ocorre nos lixões, geram inúmeros impactos ambientais e sociais, dentre os quais, destacam-se: a contaminação do solo, das águas superficiais e do lençol freático, a transmissão de doenças às pessoas pelo contato direto com os resíduos ou animais vetores, ou pelo uso de recursos contaminados indiretamente pelos poluentes provenientes dos lixões (Oliveira e Pasqual, 2004; Pereira et al., 2013).

A contaminação de águas superficiais e subterrâneas por compostos orgânicos e inorgânicos provenientes do chorume de lixões e aterros mal planejados é verificada comumente por meio de elevadas concentrações de metais pesados, compostos nitrogenados e/ou coliformes (Medeiros et al., 2008; Galarpe e Parilla, 2012; Pereira et al., 2013).

Desse modo, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas nas proximidades do lixão de Salinópolis, situado na Vila de Cuiarana, e investigar a influência da precipitação sazonal na composição físico-química e microbiológica das águas locais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O município de Salinópolis (Figura 1) pertence à mesorregião nordeste paraense e à microrregião Salgado. Possui as seguintes coordenadas geográficas: 0°63'13.4" S e 47°34'61.3" W, distante 227 km de Belém, com elevação de 19 metros acima do nível do mar. Segundo dados do IBGE (2010), tem uma população estimada em 37.421 habitantes, com área territorial de 237,738 km². O lixão de Salinópolis está localizado na Vila de Cuiarana, situada a cerca de 7 km do centro urbano do município, no ramal conhecido como São Sebastião.

O município apresenta precipitação anual que varia entre 1.800 e 2.300 mm, sendo que cerca de 90% da precipitação se distribui nos seis primeiros meses do ano (Figuerola e Nobre, 1990; Moraes et al., 2005). Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante na região é Aw, com temperatura média anual de 27,7°C, com oscilações que variam entre 25° e 31°C. (Mengawaco, 1995; Rodrigues et al., 2013).

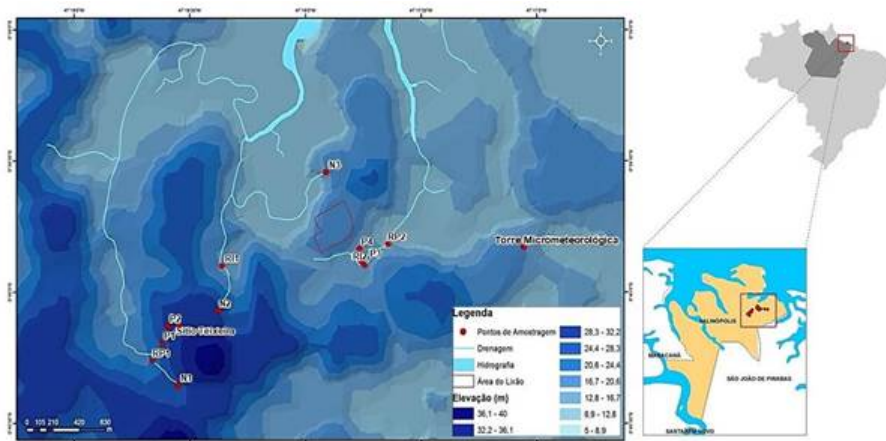


Figura 1.

Mapa de localização da área de estudo na Vila de Cuiarana. Nascentes: N1, N2 e N3; Rios Perenes: RP1 e RP2; Rios intermitentes: RI1 e RI2; Poços: P1, P2, P3 e P4.

2.2. Variáveis hidrológicas

Os dados de precipitação (mm) mensal foram estimados por sensoriamento CPC MORPHing technique (CMORPH) no ponto de grade referente à coordenada do lixão de Salinópolis. Os dados disponíveis no banco de dados do CMORPH correspondem ao período de 1998 a 2015. Para caracterização climática da precipitação foram somados os acumulados mensais do CMORPH desde 1998. Estudos como o de Sodré e Rodrigues (2013) comprovam a acurácia dos dados do CMORPH quando comparados a dados coletados por estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em diversas regiões brasileiras.

A análise da precipitação local para o período de estudo foi realizada por meio do cálculo da anomalia mensal, o que possibilita caracterizar a precipitação local durante o período de estudo.

Os dados da velocidade de infiltração (cm h^{-1}) foram obtidos nos meses de março (período chuvoso) e outubro (período menos chuvoso) de 2015, em duas áreas residenciais. A área residencial a montante do lixão fica localizada no sítio Teixeira. Já a área habitada a jusante fica às margens do ramal de São Sebastião, na estrada que dá acesso ao lixão. Os pontos de coleta de dados foram escolhidos próximos aos poços P1 e P2 (sítio Teixeira) e P3 e P4 (ramal de São Sebastião), o que fornece informações adicionais para a avaliação da qualidade da água nos poços. O método utilizado para obter a velocidade de infiltração no solo foi o infiltrômetro de anéis concêntricos, descrito detalhadamente por Brandão et al. (2006).

A vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) dos rios foi determinada no mês de março de 2015, época que corresponde ao período chuvoso na região. A vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) foi calculada em dois locais, à jusante do lixão o local escolhido foi o riacho Cachoeira, em um trecho próximo ao ramal São Sebastião. Já na área a montante foi selecionada um trecho do rio Teixeira, nas proximidades da área residencial do sítio Teixeira.

Os dados de vazão foram calculados por meio do método convencional com medição direta e uso de molinete hidrométrico, conforme Carvalho (2008) e Santos (2014). Em virtude da pequena largura e profundidade dos riachos estudados, a medição foi feita com o uso do método de medição a vau, com a escolha de seis seções de diferentes profundidades para cada rio. A vazão total foi obtida pela soma das vazões parciais.

Para compreender a dinâmica da água precipitada no solo e, conseqüentemente, a influência dessa dinâmica na dispersão dos compostos químicos autóctones e alóctones, foi calculado o armazenamento de água no solo por meio do método do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955), descrito por Costa (1994). Para efeito de cálculo, foi considerada a capacidade de armazenamento de água no solo (CAD) de 100 mm, conforme orientado por Pereira et al. (2007), quando não é realizado cálculo da CAD com dados de campo.

2.3. Variáveis de qualidade das águas

Foram selecionados 11 pontos amostrais (Figura 1), sendo seis localizados a montante do lixão (N1, N2, RP1, RI1, P1 e P2) e cinco a jusante (N3, RP2, RI2, P3 e P4). Ao todo, foram selecionadas 3 nascentes (N1, N2 e N3), 2 rios perenes (RP1 e RP2), 2 rios intermitentes (RI1 e RI2) e 4 poços (P1, P2, P3 e P4).

A nascente 1 (N1) é o ponto mais a montante do lixão e o ponto com menor influência antrópica direta. Enquanto a nascente 3 (N3) é a mais próxima da área do lixão, e está localizada em área residencial. Os pontos amostrais se localizam próximos a áreas habitadas por pequenos agrupamentos familiares e foram selecionados com base na acessibilidade para obtenção das amostras e uso pela população local.

As nascentes foram selecionadas em virtude da importância dessas para a avaliação da qualidade de água, uma vez que alterações, mesmo que pequenas, em seus fluxos e composições podem comprometer a qualidade do ambiente e da água (Oliveira et al., 2013). Os poços P1 e P2 se localizam no Sítio Teixeira e P3 e P4 no ramal de São Sebastião. Os poços são rasos com profundidades entre 3,6 m e 8,15 m, sem revestimento, com exceção de P3 que possui revestimento de tijolos.

Foram realizadas seis campanhas de amostragem de água superficial e subterrânea (poço), entre os meses de novembro de 2014 e outubro de 2015. Ou seja; foram feitas três coletas durante o período menos chuvoso (novembro/2014, julho/2015 e outubro/2015) e três coletas durante o período chuvoso (fevereiro/2015, março/2015 e maio/2015).

Para avaliação da qualidade da água foram selecionados nove parâmetros físico-químicos: pH, oxigênio dissolvido (OD), temperatura da água, turbidez, sólidos totais dissolvidos (TDS), condutividade elétrica (CE), amônia (NH_3) e nitrato (NO_3^-); dois parâmetros bacteriológicos: coliformes totais e *Escherichia coli*; e alguns metais: alumínio (Al), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), mercúrio (Hg), níquel (Ni) e zinco (Zn).

Os parâmetros temperatura da água, pH, condutividade elétrica, salinidade e sólidos totais dissolvidos foram aferidos em campo, conforme as orientações de uso determinado pelo fabricante de cada aparelho, e seguindo rigorosamente a metodologia proposta pelo Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (Brandão et al., 2011). O oxigênio dissolvido também foi medido em campo, pelo Método de Winkler (Golterman et al., 1978). Já as medições da turbidez, amônia, nitrato e a bacteriologia foram realizados no Laboratório de Hidroquímica da Universidade Federal do Pará.

A análise das concentrações dos metais (Hg, Al, Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Fe, Ni e Mn) foram realizadas pelo Instituto Evandro Chagas, obedecendo ao método Standard (American Public Health Association - APHA, 2012), por meio de Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Induzido (ICP OES). O controle das condições operacionais do ICP OES foi realizado com o software ICPEXpert Vista.

As amostras para bacteriologia foram coletadas em frascos de vidro estéreis, devidamente preparados em laboratório e acondicionadas em caixas térmicas. Posteriormente, foram levadas ao Laboratório de Hidroquímica da UFPA, em um prazo inferior a 24 horas. Em virtude da alta densidade de colônias bacterianas desenvolvidas nos meios de cultura, foram necessárias diluições em algumas amostras. Para obtenção da diluição ideal para contagem de todas as amostras foram testadas placas preparadas sem diluição (T1), com diluição 50/100 ml (T2) e 10/100 ml (T3). A diluição T3 apresentou maior viabilidade para contagem das colônias em todas as amostras e, portanto, foi a diluição utilizada para todas as campanhas seguintes. A filtração, a inoculação das placas, o cultivo das culturas de colônias bacterianas e a posterior contagem foram realizados segundo a metodologia proposta pela CETESB (2007), para a técnica da membrana filtrante.

Os valores de concentração dos parâmetros físico-químicos, bacteriológicos e da análise de metais foram comparados com os valores máximos permitidos pela legislação do CONAMA, Resolução n.º 357/2005 para águas classe 2. Enquanto as concentrações encontradas nos poços foram comparadas aos valores expressos pela Portaria n.º 2.914/2011, do Ministério da Saúde, que estabelece parâmetros de potabilidade da água para consumo humano. A variabilidade sazonal nos resultados dos parâmetros ambientais analisados (águas superficiais e subterrâneas) foi levada em consideração na discussão dos resultados e comparada graficamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O período chuvoso em Cuiarana abrange os meses de janeiro a maio. O período chuvoso concentrou em 2014 o acumulado correspondente a 2.213,5 mm, enquanto o período menos chuvoso obteve o total de 200,8 mm. Em 2015, os acumulados foram de 1.613,6 mm e 432,9 mm, correspondentes ao período chuvoso e ao menos chuvoso, respectivamente. O maior acumulado mensal de precipitação foi de 631 mm, em fevereiro de 2014 (Figura 2).

A redução do volume total precipitado em 2015 se deve, sobretudo, à ocorrência do fenômeno El Niño, iniciado efetivamente no segundo trimestre de 2015 (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA, 2016). O ano de 2014 em Cuiarana foi caracterizado por anomalias positivas no primeiro semestre, ou seja, volumes de chuva acima da normal climatológica, e um segundo semestre com anomalias negativas, isto é, volume de chuva abaixo da média climatológica. O ano de 2015 apesar de um volume mais modesto de chuvas no primeiro semestre quando comparado com 2014 obteve, predominantemente, anomalias positivas quando comparada à normal climatológica (Figura 2).

O balanço hídrico do solo de Cuiarana dos anos de 2014 e 2015 demonstrou que o período de reposição hídrica na região ocorre em janeiro, devido ao aumento da ocorrência das chuvas nesse período. A redução de chuvas e o aumento nas temperaturas do ar no segundo semestre provocam a perda de água do solo por evapotranspiração, o que acarreta deficiência hídrica no solo entre os meses de junho e dezembro. Com relação aos anos estudados, o ano de 2014 demonstrou maior déficit hídrico no solo. Pois, conforme demonstra a Figura 2, o segundo semestre de 2014 apresentou um volume de chuvas bem abaixo da média climatológica da região.

A velocidade de infiltração no ramal de São Sebastião, área próxima ao lixão, foi de 18 cm h⁻¹ em março; e de 60 cm h⁻¹, em outubro. Já no sítio Teixeira foi de 57 cm h⁻¹ em outubro; e 160 cm h⁻¹, em março. Segundo Bernardo et al. (2006) solos com velocidade de infiltração acima de 3 cm h⁻¹ são classificados como solos com velocidade de infiltração muito alta. Desse modo, os solos das áreas estudadas se enquadram nessa categoria.

A alta taxa de infiltração no mês de outubro se deve ao déficit hídrico do solo nesse período.

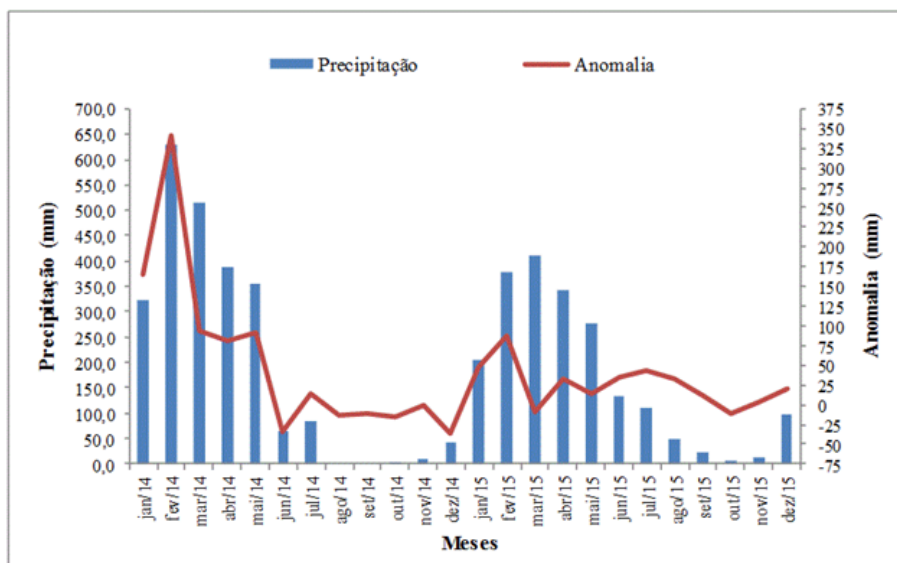


Figura 2.

Dados de acumulados mensais de precipitação em Cuiarana do período 2014 -2015 e Anomalia de precipitação mensal no período de 2014 a 2015, obtidos pelo CMORPH.

No mês de março, no sítio Teixeira, a infiltração foi muito maior que nos demais ensaios, em decorrência, possivelmente, de algum evento local, pois se trata de uma área próxima a pequenas lavouras e influenciada diretamente por atividades antrópicas (agricultura de subsistência, principalmente). Ademais, a área do sítio Teixeira tem uma cota mais elevada que a área do ramal de São Sebastião (Figura 1), o que favorece, nesta última localidade, o acúmulo de água da chuva em seus declives, o que mantém por mais tempo a saturação do solo local. Segundo Franco et al. (2015), quanto maior a declividade de um terreno, menor a taxa de infiltração.

Enquanto os valores de infiltração foram muito elevados, as vazões nos dois rios estudados foram baixas, como a própria observação *in loco* previa, uma vez que muitos rios da bacia têm comportamento intermitente. No rio Teixeira, a vazão no trecho medido foi de $0,17 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; e de $0,16 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no rio Cachoeira. A alta taxa de infiltração contribui para que os contaminantes advindos do lixão cheguem à água subterrânea, ao passo que a baixa vazão dos rios dificulta a dispersão desses contaminantes para áreas mais distantes da fonte poluente.

3.1. Águas Superficiais

Os parâmetros OD, pH e *E. coli* apresentaram valores em desacordo com o estabelecido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para águas superficiais (Tabela 1). O OD obteve valores abaixo de 5 mg/L em quase todas as amostras e campanhas, com exceção de RI2 em março, RI1, RP2 e RI2 em maio e RI2 em agosto.

O pH em todas as campanhas esteve abaixo de 6 (3,95 a 5,87). Entretanto, segundo alguns estudos, como o de Gunkel et al. (2000) por exemplo, os rios amazônicos tendem a ter águas levemente ácidas, sem que isso indique, contudo, desequilíbrio no ecossistema local. A *E. coli* esteve acima de 1000 UFC 100 mL⁻¹ somente na amostra RP2 em maio.

Tabela 1.

Resultados em rios e nascentes dos parâmetros pH, Oxigênio dissolvido (OD) e *Escherichia coli* e VMP (Valor Máximo Permitido) pela Resolução CONAMA 357/05 para águas superficiais classe 2.

Parâmetro	Mês	N1	RP1	N2	RI1*	N3	RP2	RI2*	VMP
pH	nov	5,04	4,94	5,02		4,85	4,74		6 a 9
	fev	5,13	4,12	5,52		4,63	3,95		
	mar	4,93	4,85	4,03	4,8	4,37	4,79	5,3	
	mai	5,65	4,39	4,4	5,29	5,34	5,12	5,14	
	ago	5,55	5,7	5,2	5,87	5,35	5,35	5,6	
	out	4,78	4,87	4,54	4,76	4,97	4,78		
OD (mg/L)	nov	2,21	2,6	1,25		4,42	3,08		> 5
	fev	1,44	1,63	1,54		0,96	3,65		
	mar	2,16	2,45	1,23	3,04	1,67	2,16	5,39	
	mai	3,14	4,61	3,63	5,39	2,16	5,88	5,49	
	ago	0	1,47	2,94	3,53	0,49	3,14	5,39	
	out	1,76	1,37	0,78	1,47	2,16	1,18		
<i>E. coli</i> (UFC 100 mL ⁻¹)	nov	11	11	20		0	0		1.000
	fev	54	6	2		6	0		
	mar	340	170	0	80	250	140	110	
	mai	200	350	30	330	210	1520	510	
	ago	0	0	0	30	10	10	70	
	out	10	260	0	0	10	0		

* Os rios intermitentes (RI1 e RI2) apresentaram água somente a partir de março de 2015.

Quanto à sazonalidade o OD obteve as maiores concentrações no período chuvoso, em virtude do aumento na cota dos rios e nascentes, o que eleva a turbulência e favorece a aeração da água. Tanto os coliformes fecais quanto a *E. coli* alcançaram maiores concentrações em águas superficiais no período de chuvas, resultado da lixiviação de matéria orgânica e sedimentos para os corpos hídricos nesse período. Já o pH não demonstrou comportamento sazonal, embora o período menos chuvoso tenha obtido valores levemente superiores.

A Figura 3 ilustra a variabilidade sazonal de alguns parâmetros que, embora não tenham apresentado concentrações acima do Valor Máximo Permitido (VMP) pela Resolução 357/2005 do CONAMA, demonstraram variabilidade sazonal importante para a avaliação da qualidade de água.

A turbidez, TDS e condutividade elétrica obtiveram maiores valores no período chuvoso, tanto em rios quanto nas nascentes. A mata ciliar

desmatada, o uso e ocupação do solo nas proximidades dos rios e nascentes favorecem o carreamento de sedimentos e sais por meio das chuvas para os corpos hídricos (Silva et al., 2008), fatores que contribuem para justificar esses resultados. Os pontos a jusante do lixão N3, RP2 e RI2 apresentaram valores superiores quando comparados com os demais pontos, o que pressupõe influência do lixão nesses pontos.

Nos pontos amostrados nos rios, a amônia (NH_3) obteve valores superiores no período chuvoso, com destaque para RI2, com exceção de RP1 que obteve a maior concentração em novembro, período menos chuvoso. As nascentes estudadas, entretanto, apresentaram maiores concentrações no período menos chuvoso, exceto N3 que anormalmente obteve pico em março. O fato de que os pontos com maiores concentrações de amônia no período chuvoso estarem na área do lixão (RI2 e N3) corrobora com a hipótese de carreamento de compostos orgânicos do lixão para as águas superficiais. Já o nitrato (NO_3^-) apresentou maiores concentrações no período menos chuvoso em rios e nascentes, tanto pontos a montante quanto a jusante tiveram resultados similares. Concentrações mais elevadas de compostos nitrogenados em águas superficiais próximas a áreas de depósito de lixo também foram encontrados em trabalhos como o de Ashraf et al. (2013).

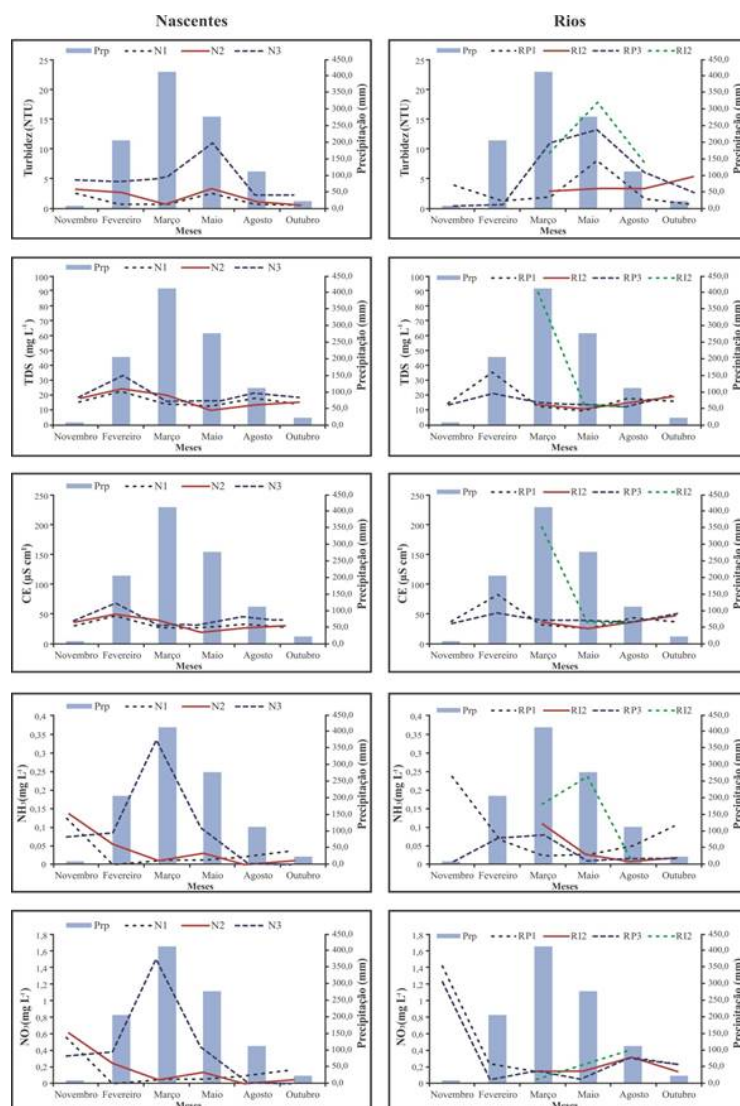


Figura 3.

Variação sazonal dos parâmetros: Turbidez, Sólidos Totais Dissolvidos (TDS), Condutividade Elétrica (CE), Amônia (NH_3) e Nitrato (NO_3^-) nas nascentes e rios estudados.

As amostras de água superficial não apresentaram salinidade, com exceção do ponto RI2, que apresentou salinidade 0,1%. O ponto RI2 corresponde a um rio intermitente e só apresentou cota a partir de março, assim o início das chuvas favoreceu o escoamento superficial do solo do lixão em direção ao ramal de São Sebastião. Além da salinidade, os sólidos totais dissolvidos (95 mg L^{-1}) e a condutividade elétrica ($202 \mu\text{S cm}^{-1}$) alcançaram os maiores valores no mês de março. Com o aumento da cota e vazão de RI2 durante o período chuvoso a salinidade, TDS e CE apresentaram valores menores, o que demonstra o efeito de diluição das chuvas.

De modo geral, o período chuvoso influenciou na deterioração da qualidade das águas superficiais, sobretudo nos pontos à jusante do lixão. Fatores como, cobertura vegetal incipiente às margens dos corpos hídricos, localização do lixão em cota mais elevada que os pontos de coleta e alta taxa pluviométrica favorecem para a contaminação das águas por

escoamento superficial e lixiviação de poluentes do lixão para os rios e nascentes.

3.2. Águas subterrâneas

De modo semelhante às águas superficiais, os poços apresentaram pH abaixo do estabelecido pela legislação vigente (Tabela 2). Conforme a Portaria n°2.914/2011 do Ministério da Saúde (MS) os parâmetros de turbidez, coliformes totais e *Escherichia coli* estiveram acima do VMP em muitos pontos e campanhas, o que caracteriza a água como imprópria para consumo humano.

Tabela 2.

Resultados em poços dos parâmetros pH, Oxigênio dissolvido (OD) e *Escherichia coli* e VMP (Valor Máximo Permitido) pela Portaria n°2.914/2011 do Ministério da Saúde (MS).

Parâmetro	Mês	P1	P2	P3	P4	VMP
pH	nov	5,24	4,51	5,3	4,97	6 a 9,5
	fev	5,25	4,79	4,53	5	
	mar	4,34	4,56	5,51	5,24	
	mai	4,35	5,1	5,6	5	
	ago	5,05	4,96	5,27	5,2	
	out	4,36	4,13	5,77	5,43	
OD (mg/L)	nov	4,71	1,06	3,94	3,46	
	fev	5,48	1,73	1,44	2,98	
	mar	2,94	1,37	4,41	2,25	
	mai	3,43	1,47	1,08	2,84	
	ago	0,98	0,39	1,57	2,45	
	out	1,96	1,27	0,59	2,75	
<i>E. coli</i> (UFC 100 mL ⁻¹)	nov	0	0	0	0	Ausente
	fev	20	14	0	18	
	mar	930	20	300	1610	
	mai	30	0	40	270	
	ago	0	0	40	30	
	out	520	0	0	5000	

De todas as amostras o OD só esteve acima de 5mg L⁻¹ em P1 em fevereiro. Os menores valores de OD foram referentes ao período menos chuvoso, o que pode ser explicado pela diminuição do volume de água nos poços. Segundo a portaria do MS a água para consumo não pode apresentar coliformes totais e *E. coli*, desse modo, somente amostra de P2 em outubro esteve em conformidade com relação a esses parâmetros. O período chuvoso apresentou maior densidade de colônias, resultado

possivelmente do maior carreamento de poluentes no período de chuvas para os poços por infiltração, ou mesmo escoamento superficial.

A Figura 4 ilustra a concentração e variabilidade sazonal de alguns parâmetros. O TDS e a CE apresentaram maiores valores durante o período de chuvas, o que revela a influência direta das chuvas na composição físico-química da água dos poços. Os poços P3 e P4, ambos na área do lixão, obtiveram valores superiores de turbidez, TDS, CE, NH_3 e NO_3^- quando comparados aos poços P1 e P2, o que revela a influência negativa do lixão na qualidade da água subterrânea da região.

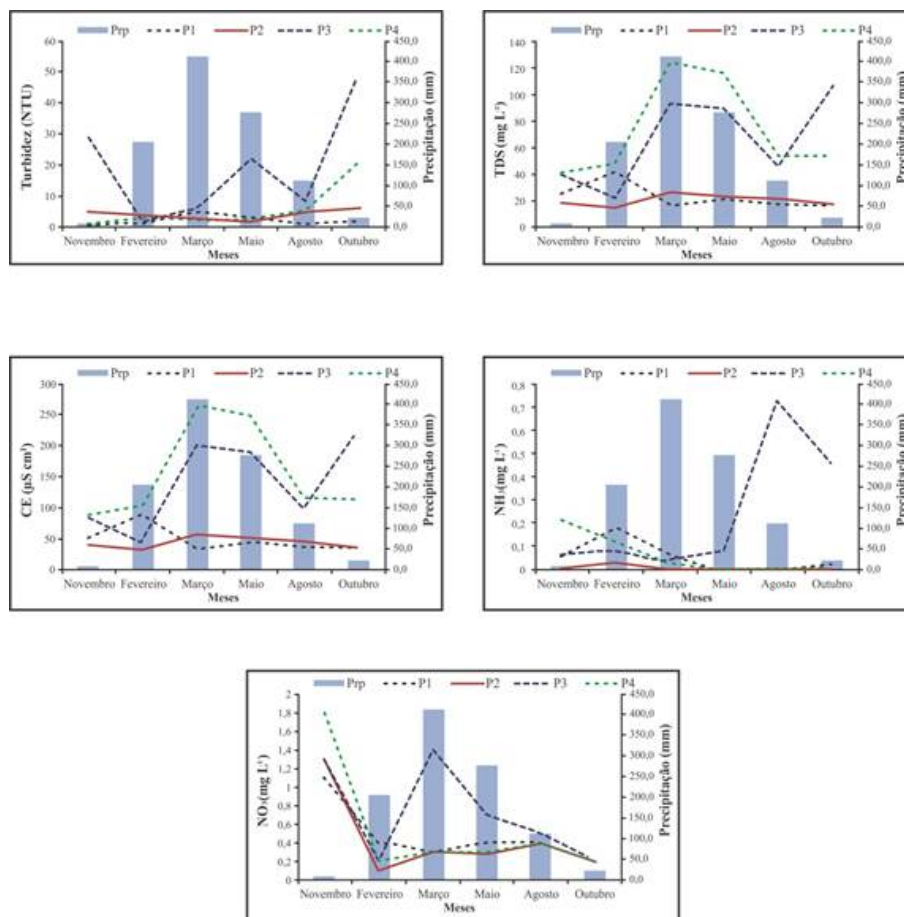


Figura 4.

Variação sazonal dos parâmetros: Turbidez, Sólidos Totais Dissolvidos (TDS), Condutividade Elétrica (CE), Amônia (NH_3) e Nitrato (NO_3^-) nos poços estudados.

Embora a Portaria 2.914/11 do MS não determine um valor máximo para a condutividade, a CETESB (2009) classifica como ambientes impactados àqueles com valores superiores a $100 \mu\text{S cm}^{-1}$. Desse modo, os poços P3 e P4 podem ser classificados como impactados. Além da alta condutividade os poços P3 e P4 foram os únicos que apresentaram salinidade.

A turbidez, a amônia e o nitrato obtiveram maiores concentrações no período menos chuvoso, sobretudo nos poços P3 e P4, o que demonstra o efeito da diminuição da água nos poços nesse período e consequente diminuição da diluição dos compostos químicos presentes na água. Esses

resultados demonstram lixiviação de matéria orgânica para os poços, sobretudo nos localizados na área à jusante do lixão.

O fato de as fossas serem escavadas bem próximas aos poços e não terem qualquer revestimento, com certeza, contribui para a degradação da qualidade de água nos poços; parâmetros como coliformes totais, *E. coli*, amônia e nitrato sofrem influência direta nesse caso. A matéria orgânica e microrganismos presentes em fossas, quando não construídas adequadamente, podem contaminar a água dos poços próximos. Desse modo, embora os resultados demonstrem influência do lixão, por serem mais significativos nos poços P3 e P4, não deve ser desconsiderada a contribuição das fossas locais.

3.3. Metais pesados

Em águas superficiais os metais Al, Cd, Cu, Fe, Hg e Pb apresentaram valores acima do VMP pela Resolução 357/05 do CONAMA (Tabela 3), tanto em rios e nascentes a montante quanto a jusante do lixão. Os metais Mn, Ni e Zn além de não apresentaram concentrações acima do VMP também não apresentaram sazonalidade evidente em suas concentrações. A variabilidade na concentração destes parece estar mais relacionada a eventos pontuais e a ação antrópica local, o que não exclui a influência do lixão.

O cromo esteve em maiores concentrações no período chuvoso, embora não tenha excedido o VMP em nenhuma amostra e não demonstre diferença significativa em amostras a montante e a jusante do lixão. O cádmio, entretanto, apresentou uma única amostra (N1 em agosto) acima do VMP ($0,001 \text{ mg L}^{-1}$). As maiores concentrações de Cd foram registradas no início e no fim do período chuvoso. O cobre também só apresentou uma amostra (N3 em agosto) acima do VMP ($0,009 \text{ mg L}^{-1}$). Com exceção de N3 os demais pontos apresentaram pico da concentração de Cu no início do período chuvoso. De maneira geral, o Cd e o Cu obtiveram concentração semelhante tanto em pontos a montante quanto a jusante do lixão.

O alumínio e o ferro foram os metais que apresentaram maiores concentrações em todos os pontos amostrados. As nascentes obtiveram maiores concentrações de Al que nos rios, e o período chuvoso foi o que apresentou as maiores concentrações. Já o Fe obteve maiores concentrações no período menos chuvoso, o que denota o efeito de diluição das chuvas com relação a esse metal.

Segundo Marmontel e Rodrigues (2015), a preservação das matas ciliares em torno de rios e, sobretudo, em nascentes, favorece a boa qualidade da água nesses ambientes. Por exemplo: as altas concentrações de ferro e alumínio em nascentes e rios podem estar associadas ao fato de esses corpos hídricos não possuírem mata ciliar preservada, o que facilita o carreamento dos metais do solo para a água. Segundo Emmett et al. (1994), a vegetação de mata ciliar em uma bacia hidrográfica reduz a concentração de alumínio total em 21% e de ferro em 54%.

Quanto à concentração de Hg todas as amostras superficiais estavam acima do VMP pela Resolução do CONAMA, com as maiores concentrações encontradas no período chuvoso e sem grande variabilidade entre os pontos a montante e a jusante do lixão. A alta concentração de Hg nas águas superficiais representa um risco à saúde humana, uma vez que este é um metal bioacumulativo, podendo contaminar peixes e/ou animais aquáticos, os quais podem ser consumidos pelos moradores da região (Anjos et al., 2016).

O chumbo, entretanto, obteve maiores concentrações tanto em rios como em nascentes a montante do lixão, com picos no período de chuvas. A maior concentração de chumbo a montante do lixão pode ter ocorrido devido à dispersão das partículas de Pb através do ar, como resultado da incineração de materiais compostos de chumbo no lixão. Segundo a World Health Organization (1989), essa é principal forma de dispersão do metal, o qual pode permanecer em suspensão durante dias no ar, podendo ser carregado pela chuva e contaminar água e solo.

Tabela 3.

Concentração de metais (mg L^{-1}) em rios e nascentes durante as seis campanhas amostrais e VMP (Valor Máximo Permitido) pela Resolução CONAMA 357/05 para águas superficiais classe 2.

	Pontos	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
Nov	N1	0,051	<LD	<LD	0,002	1,192		0,016	<LD	<LD	0,012
	RP1	0,072	<LD	0,000	0,002	3,466		0,020	<LD	<LD	0,002
	N2	0,101	<LD	<LD	0,001	2,877		0,009	<LD	<LD	0,031
	N3	0,115	<LD	<LD	<LD	0,826		0,019	<LD	<LD	0,002
	RP2	<LD	<LD	<LD	0,001	<LD		<LD	<LD	<LD	<LD
Fev	N1	0,470	0,001	0,003	0,005	0,870	0,002	0,022	0,007	0,018	0,013
	RP1	0,102	0,000	0,004	0,007	2,954	0,002	0,045	0,006	0,001	0,013
	N2	0,088	0,000	0,003	0,003	1,160	0,001	0,010	0,003	0,013	0,014
	N3	0,101	0,000	0,003	0,005	0,816	0,001	0,062	0,006	0,004	0,015
	RP2	0,074	0,001	0,002	0,001	0,596	0,001	0,012	0,003	<LD	0,071
Mar	N1	0,087	<LD	0,002	<LD	0,111	0,001	0,013	<LD	<LD	0,001
	RP1	0,072	<LD	0,001	<LD	0,274	0,001	0,014	0,002	<LD	0,003
	N2	0,267	<LD	0,002	<LD	0,229	0,002	0,007	<LD	<LD	0,001
	RI1	0,094	<LD	0,000	<LD	0,163	0,001	0,008	<LD	<LD	0,006
	N3	0,109	<LD	0,002	<LD	0,096	0,001	0,027	0,001	<LD	0,005
	RP2	0,129	<LD	0,001	<LD	0,434	0,001	0,012	0,001	<LD	0,001
	RI2	0,051	<LD	0,000	<LD	0,313	0,001	0,008	<LD	<LD	<LD
Mai	N1	0,243	0,001	<LD	0,002	0,842	0,001	0,006	0,001	0,021	0,006
	RP1	0,099	0,000	<LD	0,001	0,645	0,000	0,012	0,001	0,038	0,012
	N2	0,175	0,000	<LD	0,002	0,185	0,000	0,034	<LD	0,041	0,002
	RI1	0,088	0,000	<LD	<LD	0,272	0,000	0,008	0,003	0,030	0,015
	N3	0,161	0,001	<LD	0,001	0,919	0,001	0,029	0,004	0,009	0,005
	RP2	0,131	0,001	<LD	0,000	0,665	0,000	0,017	<LD	0,016	0,013
	RI2	0,129	0,000	<LD	0,003	0,635	0,001	0,014	0,005	0,015	0,008
Ago	N1	0,084	0,003	<LD	0,003	3,403	0,001	0,008	0,009	<LD	0,002
	RP1	0,106	0,001	<LD	0,002	4,347	0,000	0,022	0,001	<LD	0,006
	N2	0,110	0,001	<LD	<LD	2,152	0,000	0,004	<LD	0,015	<LD
	RI1	0,052	0,000	<LD	0,000	1,206	0,000	0,017	0,000	0,003	<LD
	N3	0,066	0,001	<LD	0,010	1,700	0,000	0,027	<LD	<LD	0,014
	RP2	0,115	0,001	<LD	0,001	1,888	0,000	0,013	<LD	<LD	<LD
	RI2	0,045	0,001	<LD	0,002	1,882	0,000	0,013	<LD	<LD	<LD
Out	N1	0,069	0,000	0,001	<LD	0,435	0,001	0,015	<LD	0,008	0,002
	RP1	0,060	<LD	<LD	<LD	2,854	0,001	0,017	<LD	<LD	<LD
	N2	0,092	<LD	<LD	<LD	1,273	0,001	0,012	<LD	<LD	0,001
	RI1	0,072	<LD	<LD	<LD	2,777	0,001	0,051	0,003	<LD	<LD
	N3	0,045	<LD	<LD	<LD	0,277	0,001	0,033	0,001	<LD	<LD
	RP2	0,077	<LD	<LD	<LD	0,813	0,001	0,015	<LD	<LD	0,001
	VMP	0,1 mg L^{-1}	0,001 mg L^{-1}	0,05 mg L^{-1}	0,009 mg L^{-1}	0,3 mg L^{-1}	0,0002 mg L^{-1}	0,1 mg L^{-1}	0,025 mg L^{-1}	0,01 mg L^{-1}	0,18 mg L^{-1}

*<LD: Abaixo do Limite de Detecção. As concentrações acima do VMP estão em negrito.

Nos poços estudados, os metais Al, Fe, Hg e Pb estiveram acima do VMP estabelecido pela Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde (Tabela 4). Os metais Cd e Cu não demonstraram diferenças significativas entre

os poços a montante do lixão (P1 e P2) e os poços a jusante do lixão (P3 e P4), e obtiveram as maiores concentrações no início do período de chuvas e no início do período menos chuvoso.

Tabela 4.

Concentração de metais (mg L^{-1}) em poços durante as seis campanhas amostrais e VMP (Valor Máximo Permitido) pela Portaria 2.914/11 do MS para as águas de consumo humano.

	Poços	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
Nov	P1	0,013	<LD	<LD	0,002	0,161		0,006	<LD	<LD	<LD
	P2	0,089	<LD	<LD	0,004	0,545		0,009	<LD	<LD	0,013
	P3	0,517	<LD	0,000	0,002	0,326		0,007	<LD	<LD	0,006
	P4	0,083	<LD	<LD	0,000	0,863		0,014	<LD	<LD	0,017
Fev	P1	0,109	0,000	0,003	0,002	0,153	0,001	0,042	0,007	0,005	0,015
	P2	0,274	0,001	0,004	0,003	0,353	0,001	0,010	<LD	<LD	0,013
	P3	0,082	0,001	0,002	0,002	0,253	0,001	0,010	0,006	0,002	0,042
	P4	0,143	0,001	0,003	0,005	0,360	0,001	0,087	0,000	<LD	0,020
Mar	P1	0,182	<LD	0,000	<LD	0,014	0,001	0,014	0,002	<LD	0,003
	P2	0,104	<LD	0,003	<LD	0,134	0,001	0,008	<LD	0,004	0,002
	P3	0,580	<LD	0,001	<LD	0,037	0,001	0,032	0,000	<LD	0,027
	P4	0,078	<LD	<LD	<LD	0,179	0,001	0,015	<LD	<LD	0,005
Mai	P1	0,067	0,000	0,000	0,001	0,022	0,001	0,009	<LD	0,007	0,005
	P2	0,051	0,000	<LD	<LD	0,113	0,000	0,053	<LD	0,008	0,010
	P3	0,262	<LD	0,001	0,004	1,123	0,000	0,037	0,007	0,014	0,023
	P4	0,130	<LD	0,001	0,002	0,302	0,001	0,014	<LD	0,028	0,006
Ago	P1	0,036	0,002	<LD	0,001	0,079	0,000	0,012	0,000	0,130	0,003
	P2	0,044	0,002	<LD	0,005	0,626	0,000	0,005	<LD	0,132	0,002
	P3	0,347	0,000	0,002	0,005	3,091	0,000	0,030	0,004	0,001	0,021
	P4	0,099	<LD	0,001	0,004	0,315	0,000	0,012	0,003	<LD	0,005
Out	P1	0,042	<LD	<LD	<LD	0,068	0,003	0,025	0,004	<LD	<LD
	P2	0,084	<LD	<LD	<LD	0,628	0,001	0,008	<LD	<LD	<LD
	P3	0,145	<LD	0,000	<LD	3,659	0,002	0,073	0,002	<LD	0,008
	P4	0,151	<LD	<LD	<LD	0,494	0,001	0,055	0,006	<LD	0,005
	VMP	0,2 mg L^{-1}	0,005 mg L^{-1}	0,05 mg L^{-1}	2 mg L^{-1}	0,3 mg L^{-1}	0,001 mg L^{-1}	0,1 mg L^{-1}	0,07 mg L^{-1}	0,01 mg L^{-1}	5 mg L^{-1}

*<LD: Abaixo do Limite de Detecção. As concentrações acima do VMP estão em negrito.

De modo semelhante às águas superficiais, os poços apresentaram maiores concentrações dos metais Al e Fe, quando comparado aos demais metais. O poço P3 foi o que apresentou os maiores valores de Al na água, com maiores concentrações no período de chuvas. O Fe apresentou maiores concentrações no período menos chuvoso, momento em que o nível da água dos poços estava bem baixo, e o poço P3 também foi o que apresentou maiores concentrações de Fe. Resultados que reforçam a afirmativa de influência do lixão na qualidade da água subterrânea na região.

Com relação ao Hg, somente os poços P1 e P3 obtiveram valores acima do VMP pela Portaria, com concentrações levemente superiores no

período menos chuvoso. Tanto em águas superficiais quanto subterrâneas o Hg não apresentou diferença entre pontos a montante ou a jusante do lixão, o que sugere que a contaminação venha a ter por origem outra atividade antropogênica, como descarte de lixo eletrônico de modo inadequado (Kemerich et al., 2013), pois não existe coleta de lixo nas comunidades estudadas. Já o Pb obteve maiores concentrações no período menos chuvoso nos poços P1 e P2, ambos a montante do lixão. A alta concentração de Pb a montante do lixão corrobora com a hipótese de dispersão de Pb pelo ar através da incineração de materiais ricos desse metal no lixão.

4. CONCLUSÃO

A avaliação da água superficial demonstrou que os rios e nascentes estudados estão impactados, o fato de os pontos N3, RP2 e RI2 apresentarem mais parâmetros em desconformidade com a Resolução 357/05 do CONAMA comprova a hipótese de influência do lixão, embora outros fatores não possam ser desconsiderados.

De modo semelhante, foi constatado que a água nos poços avaliados se encontra imprópria para consumo, resultado das concentrações de coliformes totais, *E. coli*, Al, Cd, Fe, Hg e Pb acima do VMP estabelecido pela Portaria 2.914/11 do MS. Os poços P3 e P4 apresentaram maior deterioração da qualidade da água quando comparados aos poços P1 e P2, o que reforça o pressuposto de influência de derivados do lixão na composição da água local.

O estudo da sazonalidade da concentração dos parâmetros em águas superficiais e subterrâneas revelou que a maioria dos parâmetros e dos metais apresenta variabilidade sazonal. O período de chuvas se caracterizou pela maior degradação da qualidade da água em águas superficiais, em virtude do carreamento de matéria orgânica, sedimentos, sais e microrganismos para os corpos hídricos. Quanto às águas subterrâneas, o período menos chuvoso contribuiu para o aumento das concentrações de sedimentos e de alguns metais na água dos poços, como Cu, Fe, Hg e Pb. Entretanto, as concentrações de coliformes totais, *E. coli*, Al, Fe, Cr e Zn estiveram mais elevadas durante o período de chuvas.

A avaliação da água e sua sazonalidade em Cuiarana é ponto de partida para a tomada de decisões que visem à melhoria da água na região, uma vez que a água analisada é consumida pela população local. Além disso, a influência da topografia (lixão em cota mais elevada que os corpos hídricos), a alta velocidade de infiltração de água no solo e o regime pluviométrico na área conduzem o escoamento superficial do lixão em direção às águas superficiais e subterrâneas, o que torna a área extremamente vulnerável à contaminação da água pelos derivados do lixão. Desse modo, se não houver a adoção de medidas que mitiguem essa situação, as chances de uma deterioração gradativa da qualidade da água consumida pela população é evidente.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq/Edital Universal - n.º 14/2012 e à FAPESPA/Universal 2014, pelo apoio financeiro, indispensável para a realização desta pesquisa. Ao Instituto Evandro Chagas que com grande solicitude realizou as análises de metais pesados na água.

6. REFERÊNCIAS

- ANJOS, M. R.; MACHADO, N. G.; SILVA, M. E. P.; BASTOS, W. R.; MIRANDA, M. R.; CARVALHO, D. P. et al. Bioaccumulation of methylmercury in fish tissue from the Roosevelt River, Southwestern Amazon basin. *Revista Ambiente & Água*, v. 11, n. 3, p. 508-518, 2016. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1830>
- ASHRAF, M. A.; YUSOFF, I.; YUSOF, M.; ALIAS, Y. Study of contaminant transport at an open-tipping waste disposal site. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 20, p. 4689-4710, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1423-x>
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). *Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater*. 22. ed. Washington, 2012.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. *Manual de irrigação*. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625p.
- BRANDÃO, C. J. et al. (Org.). *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, CETESB, 2011.
- BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. *Infiltração da água no solo*. 3. ed. Viçosa: UFV, 2006. 120 p.
- CARVALHO, T. M. Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 1, n. 1, p. 73-85, 2008.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). *Coliformes totais - Determinação pela técnica de membrana filtrante: método de ensaio*. São Paulo, 2007.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). *Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo, Série Relatórios: Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem (Apêndice A)*. São Paulo, 2009.
- COSTA, M. H. *Balanço Hídrico segundo Thornthwaite e Mather*, 1955. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1994. 22 p. (Caderno didático, v. 19).
- EMMETT, B. A.; HUDSON, J. A.; COWAR, D. P. A.; REYNOLDS, B. The impact of a riparian wetland on stream water quality in a recently afforested upland catchment. *Journal of Hydrology*, v. 162, n. 3-4, p. 337-353, 1994. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)90235-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(94)90235-6)
- FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. Precipitations distribution over Central and Western Tropical South America. *Climanálise-Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, v. 5, n. 6, p. 36-48, 1990.

- FRANCO, G. B.; SILVA, D. D.; MARQUES, E. A. G.; CHAGAS, C. S.; GOMES, R. L. Análise da vulnerabilidade à contaminação do aquífero freático e da taxa de infiltração do solo da bacia do rio Almada e área costeira adjacente - BA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 08, n. 03, p. 705-720, 2015.
- GALARPE, V. R. K.; PARILLA, R. B. Influence of Seasonal Variation on the Biophysicochemical Properties of Leachate and Groundwater in Cebu City Sanitary Landfill, Philippines. *International Journal of Chemical and Environmental Engineering*, v. 3, n. 3, 2012.
- GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. Methods for physical and chemical analysis of fresh waters. 2. ed. Oxford: Blacwell Scientific Publications, 1978. 215p.
- GUNKEL, G.; LANGE, U.; WALDE, D.; ROSA, J. W. C. Environmental Impact of an Amazon Reservoir, Curuá-Una /Pará: Limnological Aspects. German-Brazilian In: WORKSHOP ON NEOTROPICAL ECOSYSTEMS - ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS OF COOPERATIVE RESEARCH, 2000, Hamburg. Programa and abstracts... Hamburg: University, 2000. p. 511-516.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo demográfico: Pará: Salinópolis. 2010. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=1506203> . Acesso em: 05 out. 2014.
- KEMERICH, P. D. C.; MENDES, S. A.; VORPAGEL, T. H.; PIOVESAN, M. Impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada de lixo eletrônico no solo. *Engenharia Ambiental*, v. 10, n. 2, p. 208 - 219, 2013.
- MACHADO, A. L. S.; PACHECO, J. B. Serviços ecossistêmicos e o ciclo hidrológico da Bacia Hidrográfica Amazônica - the biotic pump. *Revista GEONORTE*, v. 1, n. 1, p. 71-89, 2010.
- MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A. Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar. *Floresta e Ambiente*, v. 22, n. 2, 2015.
- MEDEIROS, G. A.; REIS, F. A. G. V.; SIMONETTI, F. D.; BATISTA, G.; MONTEIRO, T.; CAMARGO, V. et al. Diagnóstico da qualidade da água e do solo no lixão de Engenheiro Coelho, no estado de São Paulo. *Engenharia Ambiental*, v. 5, n. 2, p. 169-186, 2008.
- MENGAWACO, A. Caracterização climática da cidade de Salinópolis/PA. 1995. 37f. Trabalho de conclusão de curso (graduação em meteorologia) - Centro de Geociências, Departamento de Meteorologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 1995.
- MORAES, B. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, A. C. L.; COSTA, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazônica*, v. 35, n. 2, p. 207 - 214, 2005. <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/8140>
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). Índices. 2016. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/soi> . Acesso em: 03 fev. 2016.
- NOBRE, A. C.; OBREGÓN, O.; MARENGO, J. A.; FU, R.; POVEDA, G. Características do Clima Amazônico: Aspectos Principais. [S.l.: s.n.], 2009. p. 149-162. (Amazonia and Global Change, Geophysical Monograph Series 186).

- OLIVEIRA, M. C. P.; OLIVEIRA, B. T. A.; DIAS, J. S.; MOURA, M. N.; SILVA, B. M.; SILVA, S. V. B. et al. Avaliação macroscópica da qualidade das nascentes do Campus da Universidade Federal de Juiz de Fora. *Revista de Geografia*, v. 3, n. 1, p. 1-7, 2013.
- OLIVEIRA, S.; PASQUAL, A. Avaliação de Parâmetros Indicadores de Poluição por Efluente Líquido de um Aterro Sanitário. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 9, n. 3, p. 240-249, 2004.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. *Meteorologia Agrícola*. Piracicaba: Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2007.
- PEREIRA, A. R.; SANTOS, A. A.; SILVA, W. T. P.; FROZZI, J. C.; PEIXOTO, K. L. G. Avaliação da qualidade da água superficial na área de influência de um lixão. *Revista Ambiente e Água*, v.8, n. 3, p 239-246, 2013. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1160>
- PINTO, A. G. N.; HORBE, A. M. C.; SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S. A. F.; PASCOALOTO, D.; SANTOS, H. M. C. Efeitos da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica do rio Negro na orla de Manaus/AM. *Acta Amazonica*, v. 39, n. 3, p. 627 - 638, 2009.
- RODRIGUES, J. C.; SOUZA, P. J. O. P.; LIMA, R. T. Estimativa de temperaturas basais e exigência térmica em mangueiras no nordeste do estado do Pará. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 35, n. 1, p. 143-150, 2013.
- SANTOS, J. T. S. Aplicação do Modelo Hidrológico SWAT para a Sub-bacia do Rio Arapeté (Salinópolis/PA). 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2014.
- SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. *Acta Amazonica*, v. 38, n. 4, p. 733 - 742, 2008.
- SODRÉ, G. R. C.; RODRIGUES, L. L. M. Comparação Entre Estimativa da Precipitação Observada Pela Técnica CMORPH e Estações Meteorológicas do INMET em Diferentes Regiões do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 06, n. 02, p. 301 - 307, 2013.
- TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. *Estudos Avançados*, v. 22, n. 63, 2008.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *International Programme on Chemical Safety*. Geneva, 1989.

Autor notes

* Autor correspondente: Régia Simony Braz Da Silva, e-mail: regia.silva@ifma.edu.br