

# RELAÇÕES ENTRE QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA E OCUPAÇÃO DESORDENADA EM UM BAIRRO DE BAIXA RENDA LOCALIZADO EM UMA ANTIGA ÁREA DE LIXÃO, SANTARÉM/PA

Paulo Galvão<sup>1</sup>, Anderson Mendes<sup>2</sup>, Janice de Sousa<sup>3</sup>, Iverson da Silva<sup>3</sup>, Raimundo Carneiro<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto (MG). [hidropaulo@gmail.com](mailto:hidropaulo@gmail.com)

<sup>2</sup> Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Campus Guamá, Belém (PA). [acmendes@ufpa.br](mailto:acmendes@ufpa.br)

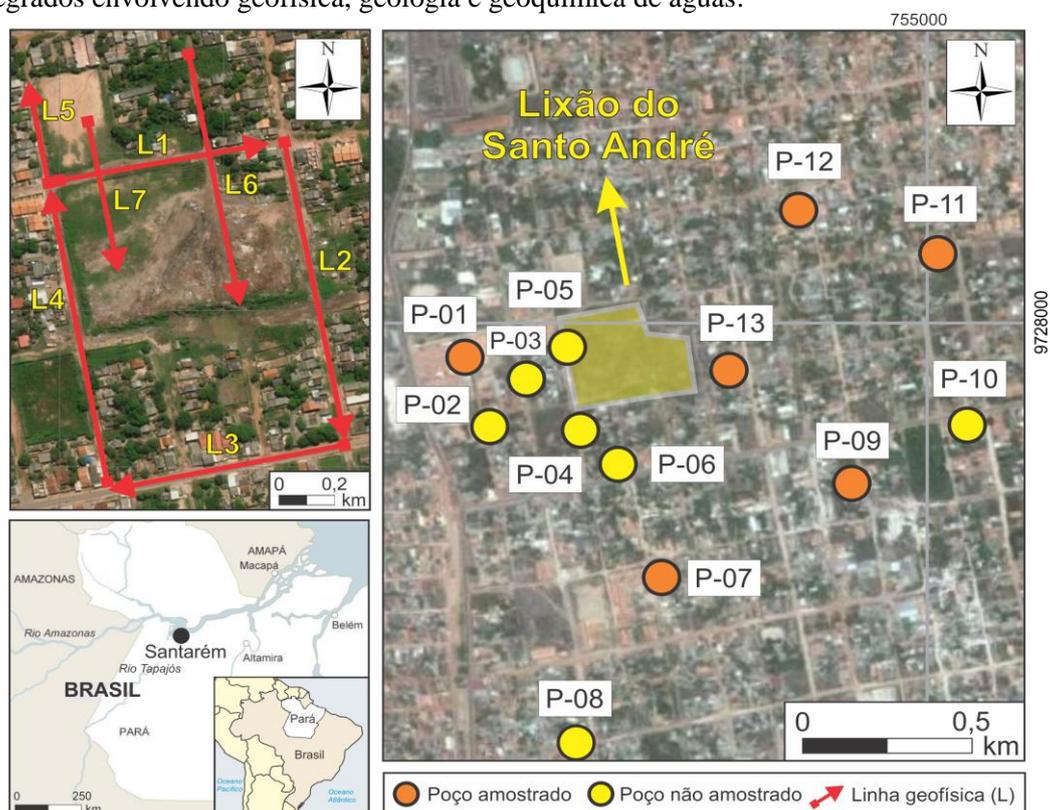
<sup>3</sup> Instituto de Engenharia e Geociências, Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Tapajós, Santarém (PA).

**Palavras-Chave:** Aquífero Alter do Chão; GPR; Análise físico-química.

## INTRODUÇÃO

Apesar de serem mais protegidas que as águas superficiais, as águas subterrâneas, principalmente àquelas em aquíferos rasos e em condições de não confinamento, podem ser alteradas quando determinados contaminantes infiltram nas zonas de recargas e alcançam o lençol freático. Dependendo do uso e ocupação do solo, bem como da forma, volume, tempo e natureza da disposição do resíduo em função de sua toxicidade, a contaminação pode ser mais significativa e persistente no aquífero. No caso das ocupações urbanas, as principais fontes potenciais de contaminação subterrânea, junto com vazamento das redes de esgoto, são os resíduos sólidos dispostos em lixões e aterros mal operados (Fetter 2008). Devido a essa situação, são comuns casos de contaminação de aquíferos em várias cidades brasileiras, como Belo Horizonte (Costa 2004), Brasília (Santos 1996), entre outras cidades de pequeno a grande porte.

No caso da cidade de Santarém/PA (Fig. 1), o crescimento urbano desordenado trouxe inúmeras consequências, dentre elas, a destinação imprópria de resíduos sólidos em lixões clandestinos (Soares et al. 2014). É o caso de um bairro periférico que se instalou no entorno do que antes tinha sido uma área de lixão clandestino (“lixão do Santo André”). A consequência foi a posterior construção de poços cacimbas e tubulares que, hoje, extraem água subterrânea para o abastecimento urbano desse bairro. Essas águas estão reservadas no Aquífero Alter do Chão, que dispõe de uma das maiores reservas de água doce subterrânea no Brasil (Galvão et al. 2012) e que, na cidade, é caracterizado por ser raso e em condições de não confinamento, resultando em um natural alto grau de vulnerabilidade à contaminação antrópica. O estudo teve como objetivo entender se nesse bairro há consequências negativas da ocupação desordenada na qualidade das águas subterrâneas a partir de estudos integrados envolvendo geofísica, geologia e geoquímica de águas.



**Fig. 1** - Localização de Santarém/PA (esquerda inferior), dos poços tubulares ao redor do antigo lixão do Santo André (imagem principal direita) e das sete linhas de levantamento geofísico (esquerda superior) (modificado do Google Earth).

## MATERIAS E MÉTODOS

O Georadar de Penetração do Solo (GPR – *Ground Penetrating Radar*) utiliza o princípio de propagação de ondas eletromagnéticas para realizar imageamento de subsuperfície em alta resolução. Foram realizadas 7 seções 2D da área (Fig. 1), utilizando o georadar GSSI Utility Scan DF, com antena 270 MHz dual-frequência digital, com capacidade de penetrabilidade de 2,5 m, da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA). Os dados gerados foram, posteriormente, tratados e processados no programa ReflexWin, versão 4.5.5.

Para a superfície potenciométrica, foi realizada a medição do nível estático d'água (NE) em 13 poços tubulares rasos (<15 m) próximos ao antigo lixão (P-01 a 13), nos meses de outubro e novembro de 2016, na estação seca do ano (Figs. 1 e 3). O valor da cota X e Y do poço subtraída ao NE corresponde à sua carga hidráulica ( $h$ ), sendo que a interpolação de todas as  $h$ 's gera a superfície potenciométrica. Para isso, as coordenadas X e Y e os  $h$ 's foram transferidos para o programa Surfer 12, sendo interpolados pelo método da krigagem visando um mapa de isolinhas de cargas hidráulicas, representando a superfície potenciométrica. Assim, a água se movimenta de uma carga hidráulica maior para uma menor.

Foram amostradas água subterrânea da porção mais rasa (<15 m) do Aquífero Alter do Chão em 6 poços tubulares (P-01, 07, 09, 11, 12 e 13) localizados nos arredores do antigo lixão para análises físico-químicas e bacteriológica. As amostras foram preservadas em *coolers* a 4°C, de acordo com CETESB (2011) e analisadas no Laboratório de Biologia Ambiental, da UFOPA. Os parâmetros foram: pH, condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), dureza total, alcalinidade total e turbidez. Análises químicas e bacteriológica foram quantificadas para nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e coliformes totais. Os resultados foram comparados com os valores de potabilidade, segundo a Portaria N° 2.914/2011, do Ministério da Saúde (Brasil 2011) (Tab. 1), estabelecendo os locais com possíveis contaminações.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na área do lixão observam-se zonas com atenuação de sinal eletromagnético em vários níveis, bem como crostas lateríticas, fraturas e tubulações enterradas, tanto na zona delimitada do lixão quanto fora dela (Fig. 2). O lixão está sobre arenitos, conglomerados e pelitos da Formação Alter do Chão recobertos por níveis lateríticos (Mendes 2015). Todos os níveis lateríticos, identificados nas linhas 1, 2 e 5 (Fig. 2) ocorrem fora do lixão. Na linha 3, observam-se fraturas, tubulações, mas sem atenuação de sinal. As zonas com atenuação observadas nas áreas internas e externas do lixão indicam alta condutividade e estão relacionadas com zonas contaminadas por chorume que, em função da ausência de impermeabilização do substrato do lixão, percola a zona não saturada até a zona freática livre. As tubulações observadas nas áreas internas do lixão estão relacionadas com o histórico demográfico da região. O crescimento desordenado permitiu a construção de residências no entorno do lixão, indicando que muitas dessas moradias podem estar construídas em zonas aterradas do lixão antes de sua delimitação. O problema que pode surgir com a ocupação desse local é a possível compactação do solo e a infiltração de chorume no lençol freático, podendo alcançar as seções filtrantes dos poços de captação de água. As zonas de fraturas também podem ser consideradas como caminhos preferenciais de possíveis contaminantes.

As direções preferenciais do fluxo subterrâneo tendem a convergir para o centro do mapa, sendo que nas redondezas dos poços P-04 e 07 há a ocorrência de significativos cones de rebaixamentos, resultado do forte bombeamento desses poços, modificando totalmente o que seria um fluxo natural subterrâneo (Fig. 3). Observa-se que os poços P-03, 04 e 05 podem estar captando água subterrânea que transitou pela área do antigo lixão, indicando que esses poços são mais vulneráveis a extração de água não potável. Partindo-se desse raciocínio, é possível sugerir que as águas da porção norte podem transitar pela área do antigo lixão, em algum momento, com exceção dos poços a sul do mapa. Isso, provavelmente, não ocorreria se o fluxo subterrâneo natural ainda estivesse preservado.

Quanto às análises físico-químicas, os valores de STD, dureza total, Cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e demais podem ser vistos com detalhes na Tabela 1. Aqui, serão discutidos os casos do pH, nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ) e coliformes totais. O pH da água destinada ao abastecimento humano deve apresentar valores entre 6,0 e 9,5 (Brasil 2011). Entretanto, as águas do Aquífero Alter do Chão, de forma geral, apresentam características naturalmente mais ácidas, devido sua constituição mais siliciclásticas (areias e argilas). Ainda que as águas deste aquífero sejam ácidas, apresentando valores médio de pH de 4,8 (ANA 2005), as águas analisadas aqui estão fora dos padrões aceitáveis, sendo muito ácidas em três dos seis poços amostrados (P-01: 3,71, P-07: 3,88 e P-09: 3,77) (Tabela 1). No caso do  $\text{NO}_3^-$ , a ocorrência representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica, podendo indicar contaminação da água subterrânea por chorume. As análises indicam que os P-01 (16,34 mg/L), P-07 (14,91 mg/L) e P-09 (14,6 mg/L) têm valores acima do limite aceitável ( $\leq 10$  mg/L). No caso do  $\text{NO}_2^-$ , sua presença na água subterrânea indica poluição recente (Feitosa et al. 2008). Entretanto, esse parâmetro não foi detectado nas amostras. O  $\text{NH}_3$  só foi detectado em valores traços. Todas as análises

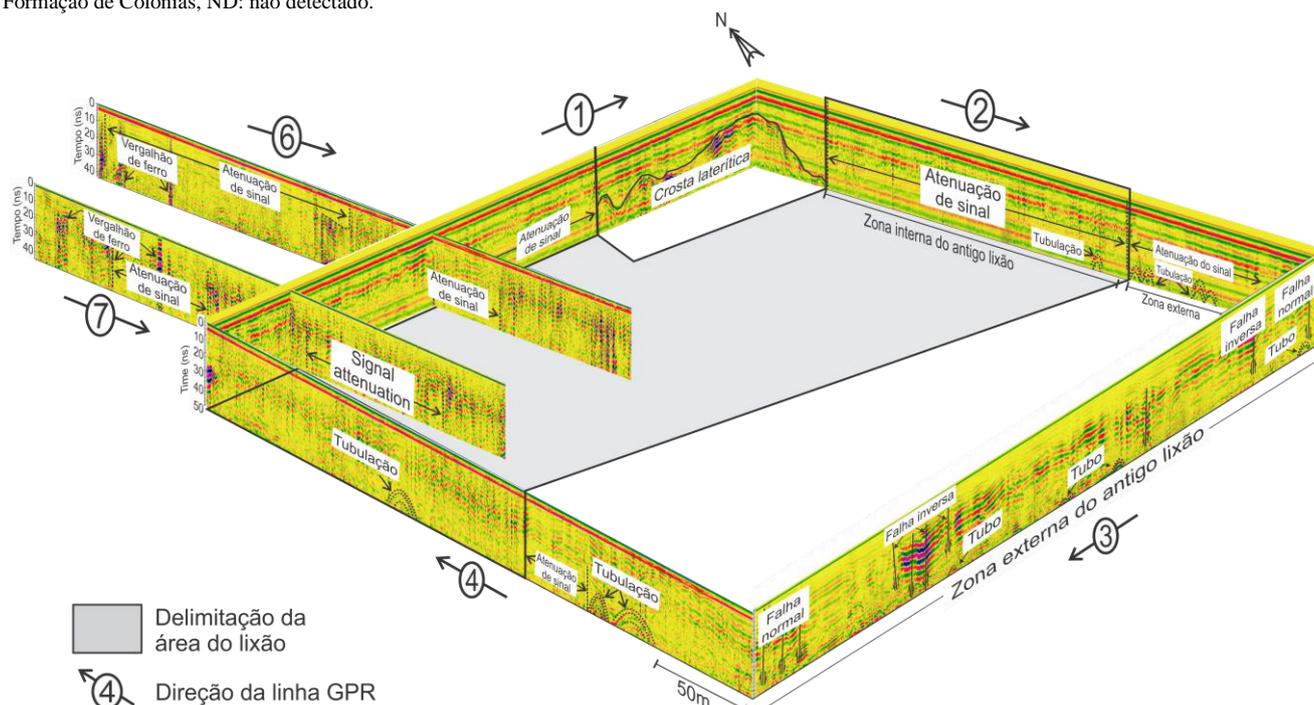
bacteriológicas apresentaram coliformes totais, em desacordo com os padrões de potabilidade. A presença de coliformes totais pode indicar má condição de construção e/ou manutenção dos poços ou proximidades de fossas sépticas. Isso indica que a água não se torna somente imprópria para consumo humano, mas também traz riscos de transmissão de doenças de veiculação hídrica, como cólera, diarreia, febre tifoide ou hepatite A. Porém, destaca-se que, dos 3 poços com os maiores valores (P-01: 120, P-11: 218, P-12: 192 UFC), só o P-01 está próximo do antigo lixão e a jusante do fluxo da água subterrânea (Tabela 1 e Fig. 3).

No momento em que alguns dos parâmetros ultrapassam valores máximos permitidos, o local é, então, caracterizado como Área Contaminada (AC). Os valores totais das concentrações físicoquímicas e bacteriológicas em 6 dos poços analisados apresentam-se inadequados quanto aos padrões de potabilidade estabelecidos pela CETESB (2011). Os poços na região têm como características serem construídos com trado (manual ou mecânico), penetrando profundidades <15 m, captando porções mais rasas do aquífero, e sem obedecer às normas de construção e de proteção sanitária, localizados em um bairro onde não há saneamento básico. Assim, abrem-se duas hipóteses: (1) contaminantes sendo captados diretamente nas profundidades das seções filtrantes dos poços; e (2) contaminação superficial, tendo o próprio poço mal construído como rota do contaminante até o aquífero. Outra questão é que a contaminação vista pode ter origem tanto do antigo lixão (fonte mais antiga e pontual), quanto origem de fossas sépticas e negras localizadas nas moradias da região, a montante do fluxo de água subterrânea (fonte de contaminação mais recente e difusa).

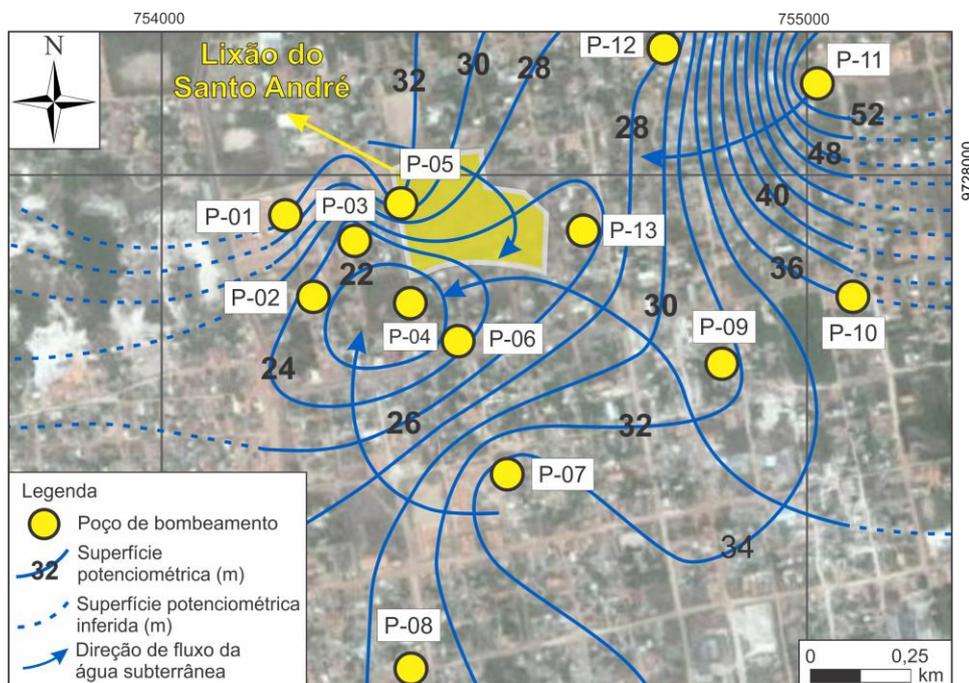
**Tabela 1** - Parâmetros físicoquímicos e bacteriológicos dos poços tubulares amostrados.

Parametros	Unidades	Análises físicoquímicas						VMP*
		Poços tubulares						
		P-01	P-07	P-09	P-11	P-12	P-13	
pH	-	3,7	3,9	3,8	5,3	4,4	5,6	6 – 9,5
CE	µS/cm	192,3	146,9	145,7	219,0	201,0	179,0	-
STD	mg/L	126,9	97,0	98,8	144,0	134,0	118,5	≤ 1000
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	8	4	8	44	32	36	≤ 500
Alcalinidade	mg CaCO <sub>3</sub> /L	<0,01*	<0,01*	<0,01*	22	<0,01*	32	-
Turbidez	uT	0,02	0,03	0,03	0,20	6,58	7,70	≤ 5
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	16,34	14,91	14,06	5,45	4,38	3,27	≤ 10
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	<0,01*	<0,01*	<0,01*	<0,01*	<0,01*	0,04	≤ 1
Amônia (NH <sub>3</sub> )	mg/L	0,09	0,07	0,08	0,09	0,06	0,40	≤ 1,5
Cloreto (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	20	16	16	32	28	20	≤ 250
Análise bacteriológica								
Coliformes totais	CFU*	130	10	38	218	192	59	Ausente em 100 mL

VMP: valor máximo permitido, conforme Portaria Nº 2.914 (Ministério da Saúde 2011); \* <0.01: limite de detecção do método; CFU: Unidade de Formação de Colônias, ND: não detectado.



**Fig. 2** - Diagrama de cerca com o estudo de GPR do lixão do Santo André.



**Fig. 3** - Superfície potenciométrica indicando direções de fluxo da água subterrânea convergindo para o centro do mapa, onde as águas da porção norte podem transitar pela área do antigo lixão do Santo André.

## CONCLUSÃO

Nas interpretações geofísicas, identificou-se crostas, níveis lateríticos, além de zonas de fraturas que podem servir como caminhos de contaminação até os poços de captação. O forte e contínuo bombeamento dos poços modificou totalmente o fluxo natural subterrâneo local, sendo que os poços P-03, 04 e 05 podem estar captando água subterrânea que transitou pela área do antigo lixão, indicando que esses poços são mais vulneráveis a essas águas ácidas que apresentam valores altos de nitrato e coliformes fecais. Esse estudo é o primeiro a ser realizado na cidade de Santarém e possui dados pontuais, mas inequívocos, confirmando, mais uma vez, a contaminação de águas subterrâneas em cidades brasileiras via lixões desativados que foram, depois, ocupados desordenadamente pela população. Recomenda-se o detalhamento da pesquisa nessa região e em outros bairros do município a fim de delimitar com precisão possíveis outras plumas de contaminação.

## AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Biologia Ambiental da UFOPA e ao Marlon Mota, pela assistência em campo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA - Agência Nacional de Águas (2005) Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil. Brasília. Caderno de Recursos Hídricos. Acesso em 17 de setembro de 2017.
- Brasil (2011) Portaria 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, 2011. Acesso em outubro de 2017.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2011) Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos/Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão ... [et al.]. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA.
- Costa WD (2004) Contaminação da água subterrânea por resíduo sólido no município de Belo Horizonte/MG. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá/MT.
- Fetter CW (2008) Contaminant Hydrogeology. 2nd Edition, Waveland Press Inc., Long Grove, 500 p.
- Galvão PHF, Demétrio JGA, Souza EL, Pinheiro CSS, Baessa MPM (2012) Hidrogeologia e Geometria dos Aquíferos das Formações Cretáceas Içá e Solimões, Bacia Paleozoica do Solimões, na Região de Urucu, Amazonas. Revista Brasileira de Geociências, v. 42, p. 142-153.
- Mendes AC (2015). Fácies e proveniências de depósitos siliciclásticos cretáceos e neógenos da Bacia do Amazonas: implicações para a história evolutiva do Proto-Amazons. Belém. UFPA. 117p. Tese de Doutorado.
- Santos PCV (1996) Estudo da Contaminação da Água Subterrânea por percolado de aterro de resíduos sólidos – caso Jockey Clube – DF. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM – 32A/96, Departamento de Engenharia Civil, UNB, Brasília – DF. 137p.
- Soares JAS, Alencar LDA, Cavalcante LPS, De Alencar LD (2014) Impactos da urbanização desordenada na saúde pública: leptospirose e infraestrutura urbana. POLÊMICA, v. 13, n. 1, p. 1006-1020.