



REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA CONSUMO HUMANO EM ÁREA DE INFLUÊNCIA DE LIXÃO DESATIVADO

* Davi Edson Sales e Souza ¹
Adnildo Carvalho Mendes ¹
Lucas Nunes Franco ¹
Agnes da Silva Araújo ¹
Júnior Hiroyuki Ishihara ²

QUALITY OF GROUNDWATER FOR HUMAN CONSUMPTION IN DISABLED WASTE INFLUENCE AREA

Recibido el 25 de enero de 2020; Aceptado el 18 de septiembre de 2020

Abstract

Groundwater contamination by leachate is still a problem faced in Brazil. In Tucuruí, southeastern of Pará, it operated a final municipal solid waste disposal (MSW) area for 13 years, from 1983 to 1996, without any management criteria, that has been occupied by residents since its deactivation. Many residents currently consume water from shallow wells, disregarding that a landfill has operated in this area and that this water source may be compromised. The objective of the work was to investigate the quality of groundwater in the area and to check possible contamination by the disposal of MSW or anthropic in the study area. Ten shallow wells were monitored, five in the dump area and five outside this area, and compared with current legislation for human consumption. The results point to possible interferences in the two analyzed areas. In the dump area, the parameters color, turbidity, pH, iron, electrical conductivity, total coliforms and *E. coli* do not satisfy the drinking water quality parameters provided by the legislation. In the external area of the dump, the parameters color, turbidity, pH, iron, total coliforms and *E. coli* differ from the legislation. Therefore, the groundwater used by users is not suitable for direct consumption, and may be contaminated by natural or man-made activities, as a result of poorly constructed wells, for example. Furthermore, the possibility of decomposition activities linked to the old MSW disposal area is not discarded.

Keywords: groundwater, contamination of leachate, water potability.

¹ Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Pará, Brasil.

² Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, Brasil.

* *Autor correspondente:* Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Pará, Rua Itaipu, 36. Vila Permanente, Tucuruí - PA, 68464-000, Brasil. Email: davisaes@ufpa.br

Resumo

A contaminação das águas subterrâneas por lixiviados ainda é uma problemática enfrentada no Brasil. Em Tucuruí, sudeste do Pará, operou uma área de disposição final de resíduos sólidos urbanos (RSU) durante 13 anos, de 1983 a 1996, sem qualquer critério de manejo, que foi ocupada por moradores desde a sua desativação. Atualmente, muitos moradores consomem água de poços rasos, desconsiderando que nessa área operou um lixão e que essa fonte hídrica pode estar comprometida. O objetivo do trabalho foi investigar a qualidade da água subterrânea da área e verificar possíveis contaminações pela disposição de RSU ou antrópicas na área de estudo. Foram monitorados dez poços rasos, cinco na área do lixão e cinco externos a essa área, e comparados com a legislação vigente para consumo humano. Os resultados apontam possíveis interferências nas duas áreas analisadas. Na área do lixão, os parâmetros cor, turbidez, pH, ferro, condutividade elétrica, coliformes totais e *E. coli*, não atendem aos parâmetros de potabilidade previstos na legislação. Na área externa ao lixão, os parâmetros cor, turbidez, pH, ferro, coliformes totais e *E. coli*, diferem da legislação. Portanto, a água subterrânea utilizada pelos usuários não está adequada ao consumo direto, e pode estar sendo contaminada por atividades naturais ou antrópicas, resultado de poços mal construídos, por exemplo. Além disso, não se descarta a possibilidade de atividades de decomposição ligadas a antiga área de disposição de RSU.

Palavras chave: águas subterrâneas, contaminação por lixiviado, potabilidade da água.

Introdução

A geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) aumentou significativamente nos últimos anos, em função da rápida urbanização e crescimento populacional, representando potencial fonte de contaminação do solo, da água e do ar, quando dispostos em locais inadequados, fora das limitações legais e das normas técnicas de manejo adequado (Naveen *et al.*, 2016; Mondelli *et al.*, 2016).

Uma das principais consequências negativas da disposição inadequada dos RSU é a produção do lixiviado, o chorume, uma manifestação líquida de cor escura e odor desagradável, resultante das interações entre o processo de biodegradação da fração orgânica dos RSU e a infiltração de água de chuva na massa dos resíduos, constituído por partículas em suspensão, compostos orgânicos e inorgânicos solúveis, e tem representado um poluente grave que afeta os recursos naturais, saúde e higiene humana (Hetka *et al.*, 2016; Naveen *et al.*, 2016).

Normalmente o lixiviado de aterros sanitários é constituído, principalmente, por uma grande quantidade de matéria orgânica, como carbono orgânico total, estando presentes também, nitrogênio amoniacal, metais pesados como cobre, zinco, além de outros poluentes que apresentam riscos ao solo circundante, às águas subterrâneas e, até mesmo, as águas superficiais (Renou *et al.*, 2008). Mesmo após encerrada as atividades de um lixão ou aterro sanitário, não há garantia que inexistirão riscos ao meio ambiente e à comunidade de entorno (Almeida, 2014). Isso decorre devido as atividades de decomposição que ainda continuam atuantes, mesmo após a inativação do lixão, podendo ocorrer a continuação da produção de lixiviado contaminado por

um período de 20 a 50 anos (Kjeldsen *et al.*, 2002). Por esse motivo, é aconselhável utilizar técnicas de tratamento de lixiviado (Hetka *et al.*, 2016; Oliveira *et al.*, 2015), além da inspeção periódica de um aterro de RSU, em função da grande ameaça que esse líquido representa ao ambiente circundante, sobretudo, as águas subterrâneas (Ağdağ e Sponza, 2005; Xie *et al.*, 2015), que correm o risco de contaminação pela infiltração do lixiviado resultante dos resíduos depositados (Brennan *et al.*, 2016).

A contaminação das águas subterrâneas pelo chorume é considerada o risco mais significativo para o ambiente natural e à saúde humana (Deshmukh e Aher, 2016), pela importância dessa fonte de abastecimento de água nas áreas urbanas e rurais (Singh *et al.*, 2016). E uma vez afetadas, essas fontes demandam elevados dispêndios para a sua remediação, que só é alcançado ao final de um longo período, porém, sem a certeza da eficácia dos procedimentos adotados (Taveira, Silva e Rodrigues, 2016).

No Brasil, mesmo com a instituição da Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que criou a Política Nacional de Resíduos Sólidos e estabeleceu as metas para a eliminação e recuperação de lixões e a consequente disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos até o ano de 2014, 1.610 municípios ainda praticam a disposição inadequada dos seus RSU em áreas de lixão (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, 2017), resultando em potenciais fontes de contaminação dos recursos hídricos por lixiviados.

O padrão de contaminação dessas águas é baseado no que a resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008 e a Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, anexo XX, do Ministério da Saúde (MS) determinam, constituindo importantes ferramentas de controle da qualidade da água para consumo humano. Além desses instrumentos legais, alguns autores corroboram no entendimento desta problemática, com estudos que apontam a contaminação de aquíferos subterrâneos por lixiviado de aterros sanitários e/ou áreas de disposição inadequada de RSU, que, de alguma forma, comprometeram a qualidade da água dessa fonte para o consumo humano (Carvalho *et al.*, 2006; Samuel-Rosa, Dalmolin e Pedron, 2011; Taveira, Silva e Rodrigues, 2016; Ya *et al.*, 2018; Mishra *et al.*, 2019).

Neste contexto, no município de Tucuruí, sudeste do Estado do Pará, operou um depósito de resíduos sólidos no período de 1983 a 1996 (Tenório e Lira, 2004), onde hoje situa-se um dos bairros da sede urbana. O objetivo desse trabalho foi analisar a qualidade da água subterrânea consumida no bairro, por meio de parâmetros físico-químicos e microbiológicos de amostras de água coletas em residências da comunidade, verificando a concordância com os padrões de potabilidade estabelecidos pelas legislações vigentes, avaliando quais os potenciais focos de contaminação do aquífero após o encerramento da disposição final dos RSU no bairro.

Metodologia

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido no bairro Beira Rio, que conta com população de 4.184 habitantes e área de 446.231 m², localizado ao norte da cidade de Tucuruí, Estado do Pará, Amazônia legal. O município situa-se na sub-bacia do Araguaia-Tocantins à margem esquerda do rio Tocantins, sob as coordenadas 03º 46' 04" Latitude Sul, e 49º 40' 22" Longitude Oeste, com área de 2.084,289 km² e população estimada para o ano de 2019 de 113.659 habitantes, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010).

Tucuruí se destaca no cenário nacional por ser o município escolhido para a implantação da Usina Hidrelétrica de Tucuruí (UHT). A construção desse empreendimento impactou no crescimento populacional e na expansão desordenada na cidade, pela atração de novos residentes em busca de atividades terceirizadas demandadas pela implantação da UHT.

Com o passar dos anos, muitos desses residentes fixaram-se em áreas onde hoje formam os 45 bairros que compõem a sede urbana. No período compreendido entre 1983 a 1996, parte da área onde hoje se localiza o bairro Beira Rio era utilizada como "lixão" municipal. Após sua desativação, a área foi recoberta com solo e plantação de vegetação rasteira, além de ser invadida e, após negociações, dividida em 620 lotes de 10x25 metros que foram distribuídas entre famílias carentes do município (Tenório e Lira, 2004). Com a desativação do lixão, no bairro predominam-se atividades econômicas relacionadas ao comércio, com pequenos locais de agricultura familiar de subsistência. Estando distante de pontos que utilizam agricultura como principal fonte de economia.

Diversas residências no bairro utilizam poços freáticos para abastecimento, dificultando a contagem do número de casas que adotam tal fonte alternativa. Isso ocorre pela má qualidade no abastecimento público de água, com intermitência, aliada a má qualidade da água distribuída à sede urbana (Ferreira e Fernandes, 2019). Muitas famílias do bairro consomem água dos poços para a ingestão e cocção de alimentos, desconsiderando o antigo "lixão" municipal, e que a qualidade da água oriunda desses poços pode estar comprometida para consumo humano. Quanto ao esgoto sanitário, a população local utiliza fossas nas residências, sépticas ou rudimentares, inexistindo coleta de esgoto na sede municipal. A contribuição de efluente dos populares é enviada somente às fossas, não estando ligadas a rede de drenagem.

Caracterização hidrogeológica da área

De acordo com o Mapa Hidrogeológico do Brasil - Folha Belém (Sa.22), publicado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), a água subterrânea está presente na cidade de Tucuruí por meio do Aquífero Cristalino Indiferenciado. Definido como aquífero fissural, este corpo hídrico possui extensão local, é descontínuo, apresenta vazão média de 6m³/h e capacidade

específica média de $1\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, além de dispor de água com qualidade química adequada, atendendo aos padrões de potabilidade (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2016).

A área de estudo está geologicamente situada na Bacia Sedimentar do Parnaíba, e assentada sobre as Unidades Litoestratigráficas identificadas como Depósitos de Terraços Fluviais, e Depósito Aluvionar (IBGE, 2008). A primeira é descrita como sedimentos fluviais inconsolidados a semi-consolidados, argilo-arenosos, com colorações amaranzadas, amareladas e esbranquiçadas, composta por areia, argila e cascalho. Enquanto a segunda é constituída por sedimentos areno-argilosos aluvionares inconsolidados, de consistência média a fina e cores diversas, possuindo em sua composição substrato de matéria orgânica, seixos, areias finas a grossas, cascalhos, argila, conglomerado polimítico e silte (CPRM, s.d.).

Quanto à estrutura pedológica, o município é formado principalmente por Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico e Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (IBGE, 2008). A área de estudo pertence, em sua totalidade, ao tipo Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, que, segundo o Serviço Geológico Brasileiro, apresenta solos profundos, textura argilosa a moderada, baixa saturação por bases, boa drenagem e acidez elevada (ADAMY, 2010).

Aplicação de questionários e coleta da água

A pesquisa foi realizada no mês de março de 2018, período chuvoso (Matsunaga *et al.*, 2018), com aplicação de questionários semiestruturados no bairro Beira Rio. O questionário continha perguntas que avaliavam como é realizado o abastecimento de água na residência, para quais atividades a água é utilizada, se já houve casos de doenças de veiculação hídrica e qual a percepção dos moradores quanto aos riscos do consumo de água dos poços rasos. O modelo do questionário foi adaptado do estudo realizado pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2014): Levantamento de Necessidades de Melhorias Sanitárias Domiciliares (LENE), do Ministério da Saúde.

Para identificar as residências que participariam da pesquisa, foi empregado o método do voluntariado ambiental. Segundo Penner *et al.*, (2005), o método consiste em ações individuais ou de grupo para beneficiar outras pessoas, com o propósito de desenvolver, de modo livre e sem expectativa de lucros, tarefas para a melhoria ambiental e conservação dos recursos naturais. Foram visitadas 10 residências, todas com poços rasos, segundo a nomenclatura de Todd (1959). Com a autorização do morador, foram coletadas amostras de água dos poços, sendo cinco residências localizadas na área onde operava o lixão e cinco na área externa ao lixão (Figura 1), para posterior comparação da qualidade da água.

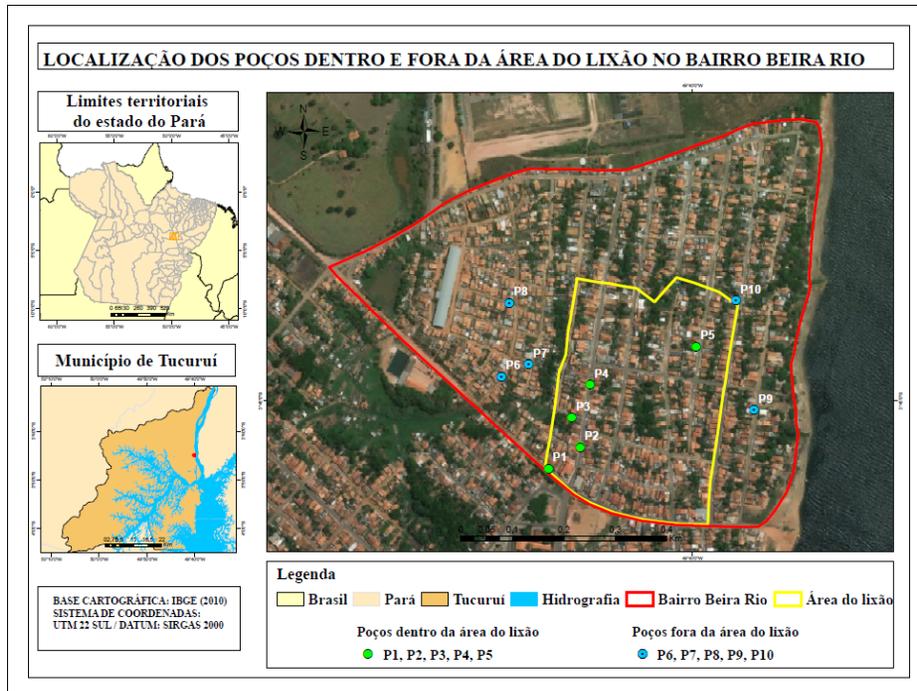


Figura 1. Localização dos 10 poços analisados do Bairro Beira Rio. *Fuente: Autores, 2018.*

As coletas foram realizadas no período da manhã, em função da temperatura do ar ser menor, evitando distorções nos resultados. Na Tabela 1 são identificados os poços de coleta. A coleta, acondicionamento e preservação das amostras foram realizadas segundo recomendações das Normatizações Técnicas da Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2011).

Tabela 1. Características dos poços estudados. Autores, 2018

Demarcação	Poços	Profundidade (m)	Coordenadas Geográficas
Dentro da área do lixão	P1	10	3°45'3.86"S, 49°40'9.53"O
	P2	08	3°45'2.85"S, 49°40'7.05"O
	P3	12	3°45'1.03"S, 49°40'7.59"O
	P4	10	3°44'59.00"S, 49°40'6.43"O
	P5	09	3°44'56.66"S, 49°39'59.77"O
Fora da área do lixão	P6	13	3°44'58.50"S, 49°40'11.99"O
	P7	11	3°44'57.77"S, 49°40'10.28"O
	P8	09	3°44'53.96"S, 49°40'11.51"O
	P9	11	3°45'0.54"S, 49°39'56.12"O
	P10	10	3°44'53.81"S, 49°39'57.27"O

Análise físico-química e microbiológica da água

As análises foram realizadas no laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental, da Universidade Federal do Pará, Campus de Tucuruí, de acordo com os métodos estabelecidos pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1998). Os parâmetros de qualidade de água e a metodologia utilizada nas análises podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros de qualidade de água e a metodologia utilizada nas análises. Autores, 2018.

Especificidade	Parâmetros de qualidade de água	Metodologia analítica
Físico-químicos	Temperatura (°C)	Termometria
	Cor (uC)	Colorimétrico
	Turbidez (NTU)	Nefelométrico
	Alcalinidade (mg)	Potenciométrico com titulação c/ H2SO4 -0,01N
	pH	Potenciométrico
	Ferro (mg/L)	Método fenantrolina (Detecção colorimétrica)
	Nitrato (mg/L)	Espectrofotometria UV
	Nitrito (mg/L)	Espectrofotometria UV
	Amônia (mg/L)	Espectrofotometria UV
	DBO ₅ (mg/L)	WINKLER
	Oxigênio Dissolvido - OD (mg/L)	WINKLER
	Dureza (mg/L de CaCO ₃)	Titulométrico
Condutividade elétrica (µS)	Potenciométrico	
Microbiológicos	Coliformes Totais (CT)	Ideex-colilert
	<i>Escherichia coli</i> (EC)	Ideex-colilert

Resultados e discussão

Com a aplicação dos questionários foi constatado que as dez residências visitadas recebem água do sistema público, no entanto, utilizam água de poços rasos com vedação inadequada (Figura 2). Os residentes afirmaram que ocorre intermitência no abastecimento público e que desconfiam da qualidade da água em virtude da cor e por isso utilizam poços rasos para as principais atividades diárias.

Segundo Gonçalves *et al.*, (2015), a desconfiança dos moradores com o abastecimento público propicia a busca de alternativas de abastecimento, como poços. As águas de poços com vedação inadequada oferecem alta possibilidade de surtos de doenças de veiculação hídrica, principalmente em função da contaminação bacteriana (Barbosa e Silva, 2015). O questionário apontou que todas as residências utilizam a água dos poços para cozinhar e para ingestão. A água do sistema público é utilizada somente para atividades como higiene pessoal, lavagem de automóveis e rega de jardins.



Figura 2. Vedação inadequada de poço do bairro Beira Rio. *Fuente: Autores, 2018.*

Das dez residências entrevistadas, somente em três foram relatados casos de doenças de veiculação hídrica, sendo duas dentro da área do lixão (P3 e P4) e uma fora (P8). Para os três casos, não há tratamento da água captada nos poços, como desinfecção, fato que pode provocar manifestações recorrentes de diarreia em membros das famílias.

Nas sete residências restantes, os moradores afirmaram que a partir do momento que passaram a consumir água dos poços rasos, não ocorreram casos de doenças de veiculação hídrica. A Agência Nacional das Águas (ANA, 2007) observa que os usuários de poços devem atentar para a qualidade da água consumida, pois a perfuração em locais inadequados coloca em risco a qualidade das águas subterrâneas, criando uma conexão entre as águas mais rasas, que são suscetíveis à contaminação, com as mais profundas e menos vulneráveis. Todos os moradores têm conhecimento que no bairro operou um "lixão" e sabem dos riscos de consumirem água dos poços rasos. Todavia, relataram que o poço raso é a solução mais rápida e relativamente barata para obtenção de água de qualidade.

Monitoramento da qualidade da água subterrânea

As Tabelas 3 e Tabela 4 apresentam os resultados das análises realizadas nas amostras de água coletadas nos dez poços do bairro Beira Rio.

Tabela 3. Resultados das amostras coletadas na área do lixão. Autores, 2018.

Parâmetros de qualidade de água	ÁREA DO LIXÃO					Valor máximo permitido VMP)	
	P1	P2	P3	P4	P5	2.914/2011	396/2008
Temperatura (°C)	26.6	29	29.24	29	27.69	-	-
Cor Aparente (uH)	40	35	34	40	39	15	-
Turbidez (uT)	10	8.29	8.47	9	9.36	5	-
Alcalinidade (mg/L)	9.39	8.83	11.03	10.25	8.36	-	-
pH	4.5	4.3	5.9	6.8	4.9	Entre 6.0 e 9.5	
Ferro (mg/L)	2.6	4.2	3.7	3.4	2.2	0.3	0.3
Nitrato (mg/L)	4.6	8.3	5.6	6.8	5.7	10	10
Nitrito (mg/L)	0.02	0.3	0.15	0.16	0.19	1	1
Amônia (mg/L)	0.5	0.2	1.2	0.8	0.6	1.5	1.5
DBO ₅ (mg/L)	0.02	0.001	0.03	0.01	0.02	-	-
Oxigênio Dissolvido - OD (mg/L)	2.6	2.1	2.18	2.2	2.13	-	-
Dureza (mg/L de CaCO ₃)	23.65	25.36	21.36	26.35	22.36	500	-
Condutividade elétrica (µS/cm)	102.3	180.43	305.65	103.6	100.26	-	-
Coliformes Totais (CT)	P	P	P	P	P	Ause. em 100ml	
<i>E. coli</i> (EC)	P	P	P	P	P	Ause. em 100ml	

Tabela 4. Resultados das amostras coletadas fora da área do lixão. Autores, 2018.

Parâmetros de qualidade de água	FORA DA ÁREA DO LIXÃO					Valor máximo permitido (VMP)	
	P6	P7	P8	P9	P10	2.914/2011	396/2008
Temperatura (°C)	28.23	29.25	26.27	28.49	29.37	-	-
Cor Aparente (uH)	10	62	50	15	12	15	-
Turbidez (uT)	0.8	13.1	12.25	6.26	7.87	5	-
Alcalinidade (mg/L)	10.36	9.35	12.36	11.25	8.36	-	-
pH	5.5	5	6.5	4.9	7.6	Entre 6.0 e 9.5	
Ferro (mg/L)	3.6	3.8	2.1	2.9	3	0.3	0.3
Nitrato (mg/L)	6.5	6.4	6.8	5.2	8.2	10	10
Nitrito (mg/L)	0.01	0.5	0.8	0.01	0.01	1	1
Amônia (mg/L)	0.65	0.62	0.1	0.01	0.01	1.5	1.5
DBO ₅ (mg/L)	0.01	0.16	0.01	0.001	0.01	-	-
Oxigênio Dissolvido - OD (mg/L)	3.5	3.9	4.4	2.1	2.15	-	-
Dureza (mg/L de CaCO ₃)	36.98	40.25	100.26	35.26	112.25	500	-
Condutividade elétrica (µS/cm)	90.25	97.26	96.35	100.25	94.12	-	-
Coliformes Totais (CT)	P	P	P	P	P	Ause. em 100ml	
<i>E. coli</i> (EC)	P	P	P	A	A	Ause. em 100ml	

Parâmetros físico-químicos

A temperatura das amostras coletadas nos dez poços variou entre 26°C a 30°C, com destaque para valor de 29.37 °C referente ao P10 da área fora do lixão. Tenório e Lira (2004) e Pereira e Pinto (2014) realizaram estudo semelhante no mesmo bairro em Tucuruí-PA. Ambos avaliaram a qualidade da água subterrânea consumida pelos moradores da área onde operou o lixão. O primeiro trabalho analisou amostras de quinze poços do bairro Beira Rio e um poço no bairro adjacente para comparação. Na segunda pesquisa foram analisadas amostras de água de dezesseis poços, sendo treze na área de influência direta do lixão e três fora. No estudo realizado em 2004 os valores de temperatura variaram de 26°C a 31°C, enquanto que na pesquisa realizada em 2014 essa variação foi de 26°C a 30°C, semelhante aos resultados encontrados nessa investigação.

O parâmetro cor apresentou resultados, em sua maioria (70%), acima do estabelecido pela Portaria de Consolidação nº5/2017, anexo XX do MS de 15 uH. Nos cinco poços pertencentes a área do lixão os valores variaram entre 34 uH (P3) a 40 uH (P1 e P4), enquanto que nos poços fora da área do lixão esses valores variaram de 10 uH (P6) a 62 uC (P7).

Em 2004, Tenório e Lira identificaram 60% das amostras acima de 15 uH, enquanto que em 2014 Pereira e Pinto afirmaram que 31% das amostras estavam acima do limite estabelecido pela legislação. Em dez anos, percebe-se a melhora da cor da água. Porém, o presente estudo apresentou resultados negativos para esse parâmetro, que pode ser justificado pela condição construtiva dos poços do bairro Beira Rio, propiciando a entrada de sedimentos carreados pela chuva. Ténório e Lira (2004) recomendam a não utilização da cloração no processo de tratamento da água, pois, isso pode provocar a geração de subprodutos cancerígenos derivados da complexação do cloro com a matéria orgânica em solução.

O parâmetro turbidez, com exceção do poço P6, apresentou valores acima do estabelecido pela legislação de 5 uT (90% das amostras). Na área do lixão a Turbidez da água dos cinco poços variou entre 8.29 uT (P2) a 10 uT (P1), enquanto que na área fora do lixão esses valores variaram de 0.8 uT e 13.1 uT. Na pesquisa de Tenório e Lima (2004) mais de 95% das amostras estavam acima de 5 uT, com variação entre 1.64 uT a 169 uT. Já no estudo realizado por Pereira e Pinto (2014) 37% das amostras estavam acima do permitido pela legislação vigente.

O valor elevado da turbidez pode ser explicado pela má condição de proteção dos poços rasos, que estão sem impermeabilização a sua volta, com tampas danificadas e perfuração no centro para instalação da bomba submersa, de forma a carrear materiais orgânicos e sedimentos (Oliveira *et al.*, 2015). Além disso, Taveira, Silva e Rodrigues (2016) afirmam que o indício do alto valor de turbidez pode ser decorrente contaminação por matéria orgânica.

A presença de turbidez na água fora dos padrões estabelecidos pode causar rejeição por parte da população, assim como os sólidos podem servir como “esconderijo” para os microrganismos no processo de tratamento, contribuindo para a ineficiência do processo de desinfecção da água (Pereira e Pinto, 2014). A figura 3 apresenta os valores de cor e turbidez das amostras coletadas nos dez poços da área de estudo.

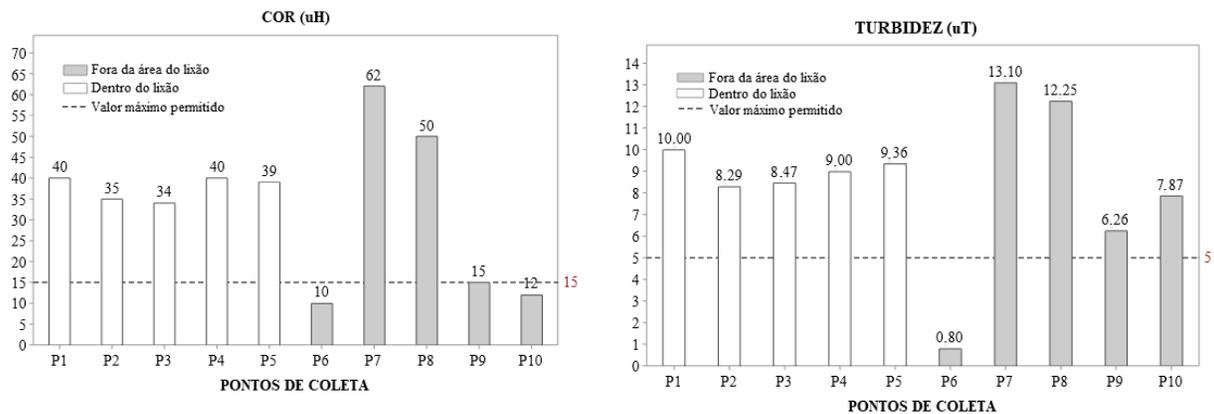


Figura 3. Cor e Turbidez nos dez poços do bairro Beira Rio. *Fuente: Autores, 2018.*

O parâmetro alcalinidade apresentou resultados que variaram de 8.36 mg/L (P5 e P10) a 12.36 mg/L (P8). Os resultados descritos por Pereira e Pinto (2014) apresentam variações de 0.2 mg/L a 430 mg/L. Esses autores observaram que alguns dos poços monitorados estão próximos a fossas negras e/ou recebem contribuições dos despejos domésticos, contribuindo para os valores elevados de alcalinidade. Além disso, a alcalinidade pode ser alterada devido a lixiviação de minerais no lençol freático juntamente com outras atividades antrópicas (Rana *et al.*, 2017).

Os altos teores de alcalinidade podem estar relacionados aos elevados teores de cálcio ou a própria alcalinidade presente na água subterrânea, o que pode representar contaminação por lixiviado (Mondelli *et al.*, 2016). A alcalinidade não representa riscos sanitários, mas, sim, sabor amargo a água, provocando insatisfação aos usuários, além de influenciar no aumento do valor de pH da água (Słomczyńska e Słomczyński, 2004).

O pH, em sua maioria, ficou fora do valor estabelecido pela Portaria de Consolidação em seu anexo XX do MS, entre 6.0 e 9.5 (70% das amostras). As amostras dos poços dentro da área do lixão variaram de 4.3 (P2) a 6.8 (P4), enquanto que as amostras de fora da área do lixão variaram de 5 (P7) a 7.6 (P10). No trabalho de Tenório e Lira (2004) foi identificado que 90% das amostras dos poços estavam fora dos padrões de consumo humano, indicando oxidação da matéria

orgânica. Pereira e Pinto (2014) identificaram que 93% das amostras de água estavam com características ácidas e valores de pH de chegaram a 4.5.

De modo semelhante, na investigação realizada por Silva *et al.*, (2018), que avaliou a qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do Lixão de Salinópolis, Pará, obteve resultados das amostras de quatro poços abaixo do estabelecido pela legislação vigente, com valores de pH variando de 4.13 a 5.77.

Em outra investigação de um aterro na Ponta Grossa-PR realizada por Matias e Costa (2012), também foram apresentados valores baixos de pH em amostras do solo do aterro, variando de 5.4 a 6.3. Os autores associam esse resultado a diversos fatores, incluindo a degradação de matéria orgânica oriunda dos resíduos. E, de acordo com Monteiro (2003), dependendo do grau de degradação, o percolado pode vir a ter uma acidez adicional, contribuindo nas condições dos lençóis freáticos. Baixos valores de pH podem acarretar irritação nos olhos, na pele e membranas/mucosas, enquanto valores muito baixos ou muito elevados podem afetar o desempenho do tratamento de desinfecção da água (Coelho *et al.*, 2017).

É importante observar que o baixo valor de pH do lençol freático estudado, pode estar associado a outras fontes de contaminação, como as fossas negras próximas aos poços rasos, impossibilitando afirmar que o pH da água dos poços foi alterado por atividades naturais ou antrópicas, ou atividades de decomposição do antigo lixão. Além da própria formação natural, podendo variar em virtude do solo, oscilação de temperatura, bem como a dissolução de matéria orgânica (Lopes e Magalhães Jr., 2010).

O parâmetro ferro, em todos os dez poços, teve seu valor superior ao estabelecido pela Portaria de Consolidação do MS e pela Resolução CONAMA nº 396/2008 que é de 0.3 mg/L. Nos poços da área do lixão os valores de ferro variaram de 2.2 mg/L (P2) a 4.2 mg/L (P3), enquanto que as amostras dos poços da área fora do lixão variaram de 2.1 mg/L (P8) a 3.8 mg/L (P7). Os resultados de Tenório e Lira (2004) apontaram que 31% das amostras de poços do bairro Beira Rio estavam acima dos padrões estabelecidos pelas legislações vigente, enquanto que Pereira e Pinto (2014) chegaram ao valor de 25% das amostras dos poços acima do limite exigido.

Os valores observados neste estudo para o parâmetro ferro diferem muito dos estudos realizados em 2004 e 2014, onde se percebia uma moderada redução na quantidade de ferro nas amostras de água coletadas no bairro Beira Rio. O aumento de ferro na água subterrânea pode estar relacionado, principalmente, às peças de sucata à base de ferro e aço descartadas junto com os resíduos sólidos urbanos, concentrando esse metal nas amostras de lixiviado dos aterros (Rana *et al.*, 2018).

No entanto, a concentração desse parâmetro pode aumentar sob condições favoráveis, por exemplo, com proximidade de um aterro sanitário, acarretando toxicidade séria ao aquífero subterrâneo adjacente (Kale *et al.*, 2010). Sua presença nessas fontes pode ser explicada devido a lixiviação do ferro contido nos resíduos sólidos dos aterros (Mishra *et al.*, 2019), que, se acima do limite permitido pelas legislações vigentes, pode ser responsável em dar sabor e aparência a água, possibilitando um recurso hídrico esteticamente desagradável ao consumo (Raju, 2013).

O ferro não apresenta inconveniente sanitário, porém, podem produzir manchas em roupas e em aparelhos sanitários quando em concentrações superiores a 0.3 mg/l e, em maiores concentrações, conferir sabor a água de consumo (Libânio, 2010). A presença desse metal na água subterrânea provocada por lixiviado também ocorre em outras regiões do mundo, como na Índia (Samadder *et al.*, 2016) e no Egito (Magda *et al.*, 2014), onde os estudos concluíram a ocorrência de altas concentrações de ferro em amostras de água de poços afetados por lixiviado. A figura 4 apresenta os valores de pH e Ferro das amostras coletadas nos dez poços da área de estudo.

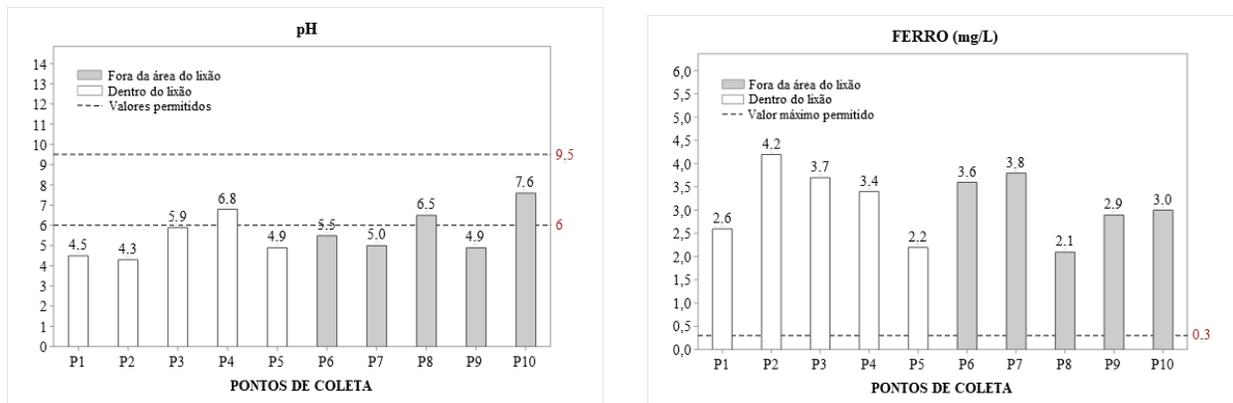


Figura 4. pH e Ferro nos dez poços do bairro Beira Rio. Fonte: Autores, 2018.

Quanto as formas do nitrogênio, todas estão de acordo com o estabelecido pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação do MS e pela Resolução CONAMA nº 396/2008, sendo 10 mg/L para nitrato, 1 mg/L para nitrito e 1.5 mg/L para amônia. Da mesma forma, os resultados Pereira e Pinto (2014) se apresentaram em conformidade com a legislação vigente.

O nitrogênio amoniacal caracteriza decomposição da matéria orgânica que está em constante processamento em aterros ou lixões, e sua presença indica contaminação recente. Além disso, deve-se considerar que a presença de fossas escavadas próximas aos poços, sem qualquer padrão construtivo, contém matéria orgânica que podem contaminar o manancial, sobretudo, com amônia e nitrato (Silva *et al.*, 2018).

A DBO₅, em todos os poços monitorados, apresentou valores que variaram entre 0.001 mg/L (P9) a 0.16 mg/L (P7). Para *Naveen et al.*, (2016) isso está relacionado a idade do lixiviado, compreendendo um lixiviado jovem, com compostos orgânicos que não são facilmente biodegradáveis. Entretanto, a ausência de estudos sobre o lixiviado da área de estudo, impossibilita afirmar algo sobre as características de suas propriedades.

No trabalho de Tenório e Lira (2004), todos os resultados do parâmetro DBO₅ também foram baixos, caracterizando pouco consumo de oxigênio para oxidar biologicamente a matéria orgânica biodegradável da água dos poços. Ramachandra e Mahapatra (2015) chamam a atenção para a quantidade excessiva de matéria orgânica no lixiviado, o que leva a altas emissões se essas não forem tratadas adequadamente, aumentando a produção de gases do efeito estufa.

O Oxigênio Dissolvido (OD) apresentou resultados que variaram de 2.1 mg/L (P2 e P9) a 4.4 mg/L (P8). Esses baixos valores são explicados pelo consumo dos organismos aeróbios para a estabilização da matéria orgânica, que pode estar ocorrendo em função da recuperação da área do antigo lixão ou degradação de outra fonte de contaminação. Os valores de OD apresentados por Tenório e Lira (2004) tiveram uma variação um pouco superior, com mínimo de 1.56 mg/L e máximo de 7.17 mg/L, chegando a valores nulos em dois poços, indicando início na atuação de microrganismos anaeróbios com geração de odores.

O parâmetro Dureza, em todos os dez poços, ficaram abaixo do estabelecido pela Portaria de Consolidação do MS (500 mg/L), com valores variando de 21.36 mg/L (P3) e 112.25 mg/L (P10) de CaCO₃. No trabalho de Tenório e Lira (2004) os valores de Dureza tiveram uma variação um pouco menor, com valores de 8 mg/L a 55.2 mg/L. Já no trabalho de Pereira e Pinto (2014), os valores de dureza da água dos poços variaram no intervalo de 26 mg/L a 134.6 mg/L de CaCO₃. Em todas essas pesquisas a água oriunda dos poços é caracterizada como mole.

A dureza se deve principalmente por íons metálicos como o cálcio e o magnésio, acarretando gosto na água além de causar efeitos laxativos, prejudicando as atividades domésticas, reduzindo a formação de espuma quando utilizado sabão, e provocando incrustações nas tubulações de água quente (Pereira e Pinto, 2014). Esse parâmetro presente sob a forma de cálcio e magnésio em amostras de águas subterrâneas, pode estar ligado a lixiviação dos minerais e de fatores antropogênicos, os quais controlam o carreamento de substâncias para os aquíferos (*Rana et al.*, 2017).

A Condutividade Elétrica variou de 90.25 µS/cm (P1) e 305.65 µS/cm (P8). Tenório e Lira (2004) obtiveram resultados que variaram de 41.7 µS/cm a 223 µS/cm, enquanto que os resultados apresentados por Pereira e Pinto (2014) variaram de 80 µS/cm a 500 µS/cm. Embora as legislações em vigor não determinem um valor máximo para a condutividade elétrica, a Companhia

Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2009) classifica como ambientes impactados àqueles com valores superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Neste sentido, os cinco poços pertencentes a área de influência do lixão são considerados impactados, conforme observado no Gráfico 3.

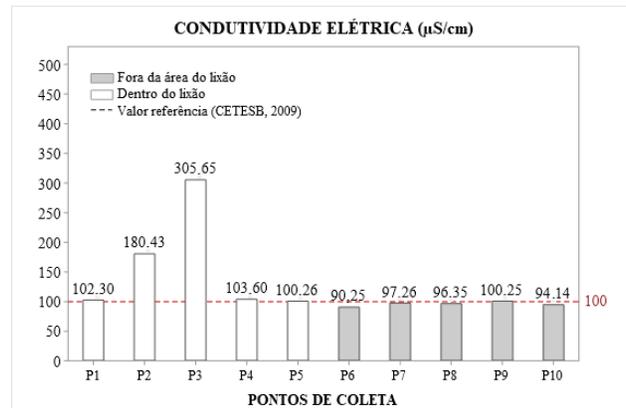


Figura 5. Condutividade Elétrica nos dez poços do bairro Beira Rio. Fonte: Autores, 2018.

Silva *et al.*, (2018) também apresentaram resultados semelhantes, com dois poços, de quatro monitorados, considerados impactados segundo a classificação da CETESB. O parâmetro condutividade não determina os íons que estão presentes nas amostras de água dos poços, no entanto, serve como indicativo de contaminação por lançamento de resíduos industriais, mineração e esgoto sanitário (Pereira e Pinto, 2014).

Parâmetros Biológicos

O anexo XX da Portaria de Consolidação nº5 de 2017 do MS e a Resolução CONAMA nº 396/2008 estabelecem que seja ausente, para cada 100 ml, os parâmetros coliformes totais e *E. coli*. O estudo indicou presença de coliformes totais nos dez poços monitorados, enquanto em oito poços (de P1 a P8) ocorreu presença de *E. coli*.

Taveira, Silva e Rodrigues (2016) afirmam que isso pode ocorrer pela associação de materiais orgânicos oriundos de banheiros, como papeis higiênicos usados e fraudas descartáveis depositados no aterro. Além do mais, as amostras de água que estão fora do estabelecido pelas legislações, podem estar relacionadas à ausência de padrões adequados de construção dos poços, sua manutenção e proteção, bem como do processo de coleta de água, que, na maioria dos casos, é realizada com recipientes sem proteção, favorecendo contato com substâncias nocivas.

O estudo de Tenório e Lira (2004) relata presença de coliformes totais e *E. coli* em 100% das amostras. Pereira e Pinto (2014) obtiveram resultados com a presença de coliformes totais em 100% das amostras e de *E. coli* e 86,96%. Tanto no presente estudo quanto nos trabalhos de 2004 e 2014, observa-se que, mesmo com a desativação do lixão, as águas dos poços continuam com a presença de coliformes totais e *E. coli*, em sua maioria. Isso pode ser explicado pela presença de fossas, sem padrões adequados de construção, próximas aos poços, influenciando na degradação da água (Silva *et al.*, 2018).

Considerações finais

Este trabalho analisou a qualidade da água subterrânea do bairro Beira Rio, onde operou um depósito de RSU, por meio da análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água coletada em 10 poços rasos. A pesquisa demonstrou que os moradores do bairro Beira Rio utilizam água de poços rasos pela desconfiança do sistema público, o qual é intermitente e com água de má qualidade.

Na área onde operou o lixão, a água proveniente dos cinco poços está comprometida para consumo humano, com sete parâmetros fora dos padrões de potabilidades estabelecido pelas legislações vigentes: cor, turbidez, pH, ferro condutividades elétrica (físico-químicos), coliformes totais e *E. coli* (biológicos). Já na área externa ao lixão, a água proveniente dos cinco poços também está comprometida para consumo humano, desta vez, com seis parâmetros fora dos padrões de potabilidades estabelecido pelas legislações vigentes: cor, turbidez, pH, ferro (físico-químicos), coliformes totais e *E. coli* (biológicos).

A pesquisa abre interpretação para possíveis fontes de contaminação das águas subterrâneas e que devem ser consideradas nocivas, a exemplo de poços mal construídos e da presença de fossas próximas a essas fontes, além das reações de decomposição do antigo lixão que podem estar ocorrendo e comprometendo a qualidade da água subterrânea, principalmente por conta da geologia local possuir formação arenosa e cascalhos com maior granulometria, mas também possuir formação argilosa.

São necessários, portanto, estudos mais aprofundados, como perfil litológico associado a permeabilidade do solo e caracterização do lixiviado, verificando a origem de contaminação com maior parcela de impacto. De fato, a maioria dos parâmetros estudados no presente trabalho, podem ter interferência de atividades humanas ou naturais. No entanto, não se deve descartar a possibilidade de contaminação por percolado oriundo da área de disposição final de RSU do bairro estudado.

Os estudos realizados por Tenório e Lira (2004) e Pereira e Pinto (2014) constituem ferramentas importantíssimas na avaliação da recuperação da área do bairro Beira Rio e da água subterrânea afetada pelo lixiviado, pela diferença de dez anos de execução entre as pesquisas, além que servir de comparativo com a presente e futuros estudos.

Referências

- Ağdağ, O. N., Sponza, D. T. (2005) Anaerobic/aerobic treatment of municipal landfill leachate in sequential two-stage up-flow anaerobic sludge blanket reactor (UASB)/completely stirred tank reactor (CSTR) systems. *Process Biochemistry*, **40**(2), 895–902. Acesso em 23 abr. 2019, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003295920400127X?via%3DIhub>
- Adamy, A. (2010). Geodiversidade do estado de Rondônia / Organização Amilcar Adamy. – Porto Velho: CPRM, 2010, 337 pp. Acesso em 01 jun. 2020, disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/15691>
- Almeida, J. R. (2017) Proposta de índice de avaliação de aterros de resíduos desativados a partir do potencial poluidor do lixiviado. Tese de doutorado em Eng. Civil – UFRJ, Rio de Janeiro, p. 211. Acesso em 27 mai. 2020, disponível em: <http://hdl.handle.net/11422/7342>
- ANA, Agência Nacional de Águas (2007) *Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil/Panorama da qualidade das águas subterrâneas do Brasil*. Caderno de Recursos Hídricos 5. Acesso em 02 mar. 2019, disponível em: <http://biblioteca.ana.gov.br/asp/primeira-pdf.asp?codigoMidia=116630&iIndexSrv=1&nomeArquivo=PanoramaDoEnquadramentoDosCorposDagua%2Epdf>
- ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2017). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*. Acesso em 12 jun. 2019, disponível em: http://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf
- APHA (1998) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th Edition, American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation, Washington DC.
- Barbosa, R. N., Silva, T. S. (2015) *Qualidade bacteriológica da água consumida por comunidades rurais de Serra Talhada- Pernambuco*. SaBios: Rev. Saúde e Biol., **10**(1), 138-144. Acesso em 11 jan. 2019, disponível em: <http://revista2.grupointegrado.br/revista/index.php/sabios2/article/view/1727/687>
- Brasil (2010) *Lei nº 12.305. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Presidência da República Casa Civil Publicação Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília- DF, 12 de fevereiro. Acesso em 15 abr. 2019, disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm
- Brasil (2017) *Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde*. Ministério da Saúde Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017. Acesso em 10 jan. 2019, disponível em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html
- Brennan, R. B., Healy, M. G., Morrison, L., Hynes, S., Norton, D., Clifford, E. (2016) *Management of landfill leachate: the legacy of European Union Directives*. Waste Management, **55**, 355–363. Acesso em 20 mar. 2019, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15301598?via%3DIhub>
- CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2009) *Apêndice E Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem. Qualidade das Águas Doces no Estado de São Paulo*. Acesso em 05 fev. 2019, disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-2016.pdf>

- Coelho, S. C., Duarte, A. N., Amaral, L. S., Santos, P. M. dos., Salles, M. J., Santos, J. A. A. dos., Sotero-Martins, A. (2017) Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na Cidade de São Luís, MA, Brasil. *Rev. Ambient. Água*, **12**(1). Acesso em 30 mar. 2019, disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2017000100156&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente (2008) *Classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas*. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Acesso em 15 mar. 2019, disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>
- CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (s.d) *Dados, Informações e Produtos do Serviço Geológico do Brasil-Litoestratigrafia*. Acesso em 01 jun. 2020, disponível em: <http://geosgb.cprm.gov.br>
- CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2016) *Mapa Hidrogeológico do Brasil- Folha Belém (Sa.22)*. Acesso em 01 jun. 2020, disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Folha-SA-22-Belem---Atlas-Hidrogeologico-do-Brasil-ao-Milionesimo-4486.html>
- Deshmukh, K. K., Aher, S. P. (2016) Assessment of the impact of municipal solid waste on groundwater quality near the Sangamner City using GIS approach. *Water Resources Management*, **30**(7), 2425–2443. Acesso em 08 mar. 2019, disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11269-016-1299-5>
- Ferreira, D. G., Fernandes, L. S. (2019) *Análise da possibilidade de tarifação pelos serviços de abastecimento de água no município de Tucuruí-PA*. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará- UFPA, Tucuruí.
- FUNASA, Fundação Nacional da Saúde. *Manual de cloração de água em pequenas comunidades* (2014) Acesso em 15 mar. 2019, disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualdecloracaodeaguaempequenascomunidades.pdf
- Gonçalves, K. O., Fernandes, L. L., Girard, L. (2015) Diagnóstico do serviço de abastecimento de água na percepção do usuário no município de Barcarena – Pará. *Revista REMOA*, **14**(1), 20-25. Acesso em 16 fev. 2019, disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/15673>
- Hetka, I. C. C., Souza, J. B.de., Vidal, C. M.de., Sousa, K. V.de. (2016) Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por coagulação, ultrafiltração e processo oxidativo avançado. *Revista AIDIS*, **8**(3), 360-371. Acesso em 03 mar. 2019, disponível em: <http://www.journals.unam.mx/index.php/aidis/article/view/53180>
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019) *Censo Demográfico 2010- IBGE cidades*. Acesso em 20 abr. 2019, disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/tucuruui/panorama>
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2008) *Pedologia- Mapa Esquemático dos Solos, Estado do Pará*. Acesso em 02 jun. 2020, disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/unidades_da_federacao/pa_pedologia.pdf
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2008) *Geologia, Estado do Pará*. Acesso em 02 jun. 2020, disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geologia/levantamento_geologico/mapas/unidades_da_federacao/pa_geologia.pdf
- Kale, S. S., Kadam, A. K., Kumar, S., Pawar, N. J. (2010) Evaluating pollution potential of leachate from landfill site, from the Pune metropolitan city and its impact on shallow basaltic aquifers. *Environmental Monitoring and Assessment*, **162**(1–4), 327–346. Acesso em 08 abr. 2019, disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10661-009-0799-7>
- Kjeldsen, P., Barlaz, M. A., Rooker, A. P., Baun, A., Ledin, A., Christensen, T. H. (2002) Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, **32**(4), 297–336. Acesso em 27 mai. 2020, disponível em: <https://doi.org/10.1080/10643380290813462>
- Libânio, M. (2010) *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 3.ed. rev. e ampl. Campinas: Átomo. 494 pp.

- Lopes, F. W. A., Magalhães Jr. A. P. (2010) Influência das condições naturais de pH sobre o índice de qualidade das águas (IQA) na bacia do Ribeirão de Carrancas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)*, 6(2), 134-147. Acesso em 26 mai. 2020, disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13301>
- Magda, M. Abd El-Salam, Gaber, I. Abu-Zuid. (2014) Impact of landfill leachate on the groundwater quality: A case study in Egypt. *Journal of Advanced Research: Cairo University*, 6(4), 579-586. Acesso em 23 abr. 2019, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090123214000265>
- Matias, D. N., Costa, W. (2012) Estudo químico de alguns pontos do solo superficial do aterro controlado do Botuquara. *Ambiência Guarapuava (PR)* 8(1), 85-99. Acesso em 26 mai. 2020, disponível em: <10.5777/ambiencia.2012.01.07>
- Matsunaga, W. K., Rodrigues, H. J. B., Rodrigues, P. G. (2018) Atributos Microbiológicos do Solo, Relacionados às Atividades da Microfauna em Solos na Floresta Amazônica. *Anuário do Instituto de Geociência – UFRJ*, 41(3) 630-638. Acesso em 29 mar. 2019, disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/29758>
- Mishra, S., Tiwary, D., Ohri, A., Agnihotri, A. K. (2019) Impact of Municipal Solid Waste Landfill leachate on groundwater quality in Varanasi, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 9. Acesso em 15 dez. 2018, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352801X18302984?via%3Dihub>
- Mondelli, G., Giacheti, H. L., Hamada, J. (2016) Avaliação da contaminação no entorno de um aterro de resíduos sólidos urbanos com base em resultados de poços de monitoramento. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, 21(1), 169-182. Acesso em 07 jan. 2019, disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v21n1/1413-4152-esa-21-01-00169.pdf>
- Monteiro, V. E. D. (2003) *Análises físicas, químicas e biológicas no estudo do comportamento do aterro da Muribeca*. Tese de doutorado em eng. Civil- UFPE, Recife, 246 pp. Acesso em 27 mai. 2020, disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5391>
- Naveen, B. P., Mahapatra, D. M., Sitharam, T. G., Sivapullaiyah, P. V., Ramachandra, T. V. (2016) Physico-chemical and biological characterization of urban municipal landfill leachate. *Environmental Pollution*, 220(part A), 1-12, Acesso em 10 nov. 2018, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749116311150?via%3Dihub>
- Oliveira, E. G.de., Leite, V. D., Silva, R. B.da., Henrique, I. N., Barros, A. J. M. (2015) Tratamento anaeróbio e aeróbio de lixiviado de Aterro Sanitário. *Revista AIDIS*, 8(3), 360-371. Acesso em 17 abr. 2019, disponível em: <http://www.journals.unam.mx/index.php/aidis/article/view/53494>
- Oliveira, G. A; Nascimento. E. L., Rosa, A. L. D., Lauthartte, L. C., Bastos, W. R., Barros, C. G. D., Cremonese, E. R., Bent, A. Q. Malm, O., Georgin, J., Corti, A. M. (2015) Avaliação da qualidade da água subterrânea: estudo de caso de Vilhena- RO. *Águas Subterrâneas*, 29(2), 213-223. Acesso em 05 dez. 2018, disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28399>
- Penner, L. A., Dovidio, J. F., Piliavin, J. A., Schroeder, D. A. (2005) Prosocial behavior: Multilevel perspective. *Annual Review of Psychology, Reviews in advance* 56(1), 365-392. Acesso em 12 fev. 2019, disponível em: <http://www3.psych.purdue.edu/~willia55/392F-'06/Prosocial%20AR.pdf>
- Pereira, C. A., Pinto, R. R. (2014) *Diagnóstico da qualidade da água em poços rasos em área de antigo lixão no bairro Beira Rio, município de Tucuruí-PA*. Trabalho de conclusão de curso em Tecnologia em Saneamento do Instituto Federal de Educação Ciência e tecnologia do Pará- IFPA, Tucuruí.
- Raju, M. V. S. (2013). Contamination of ground water due to landfill leachate. *Indian J. Environ.* 33(5), 385–392. Acesso em 02 fev. 2019, disponível em: https://www.researchgate.net/publication/290305959_Contamination_of_Ground_Water_Due_To_Landfill_Leachate

- Rana, R., Ganguly, Rajiv, G., Gupta, A. K. (2017) Indexing method for assessment of pollution potential of leachate from non-engineered landfill sites and its effect on ground water quality. *Springer International Publishing AG, part of Springer Nature*, **190**(1). Acesso em 15 jan. 2019, disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10661-017-6417-1>
- Ramachandra, T. V., Mahapatra, D. M. (2015). Science of carbon footprint analysis. Book Chapter. In: The Handbook of Carbon Footprint Assessment. CRC Press, Taylor and Francis Group, 533 pp.
- Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., Moulin, P. (2008) Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials* **150**(3), 468–493, Acesso em 26 mai. 2020, disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.077>
- Samadder, S. R., Prabhakar, R., Khan, D., Kishan, D., Chauhan, M. S. (2016) Analysis of the contaminants released from municipal solid waste landfill site: A case study. *Science of the Total Environment*, **580**, 593-601. Acesso em 19 mar. 2019, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716326882?via%3Dihub>
- Samuel-Rosa, A., Dalmolin, R. S. D., Pedron, F.de.A. (2011) Caracterização do solo de cobertura de aterros encerrados com ferramentas (geo)estatísticas. *Eng. Sanit Ambient*, **16**(2), 121-126. Acesso em 16 dez. 2018, disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v16n2/v16n2a04.pdf>
- Silva, R. S. B. da., Sousa, A. M. L. de., Sodré, S.do.S. V., Vitorino, M.I. (2018) Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do Lixão de Salinópolis, PA. *Rev. Ambient. Água*, **13**(2). Acesso em 15 abr. 2019, disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-993X2018000200316&script=sci_abstract&tlng=pt
- Singh, H., Raju, N. J., Gossel, W., Wycisk, P. (2016) Assessment of pollution potential of leachate from the municipal solid waste disposal site and its impact on groundwater quality, Varanasi environs, India. *Arabian Journal of Geosciences*, **9**(2), 1-12. Acesso em 21 jan. 2019, disponível em: <https://www.tib.eu/en/search/id/springer%3Adoi~10.1007%252Fs12517-015-2131-x/Assessment-of-pollution-potential-of-leachate-from/>
- Słomczyńska, B., Słomczyński, T. (2004) Physico-chemical and toxicological characteristics of leachates from MSW landfills. *Polish Journal of Environmental Studies*, **13**(6), 627–637. Acesso em 28 nov. 2018, disponível em: <http://www.pjoes.com/Physico-Chemical-and-Toxicological-Characteristics-r-nof-Leachates-from-MSW-Landfills,87707,0,2.html>
- Taveira, M. M. V., Silva, A. M., Rodrigues, L. S. (2016) Impactos do aterro sanitário do município de Três Corações, Minas Gerais, na qualidade da água subterrânea. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações*, **14**(1), 764-772. Acesso em 26 jul. 2019, disponível em: <http://periodicos.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/view/3005>
- Tenório, I. F., Lira, F. C. (2004) *Avaliação da influência dos resíduos sólidos na Qualidade da água dos poços freáticos do bairro Beira Rio do Município de Tucuruí*. Trabalho de conclusão de curso em tecnologia em Controle Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará- IFPA, Tucuruí.
- Todd, D. K. (1959) *Hidrologia de Águas Subterrâneas*. Editora Edgard Blucher Ltda.
- Ya, X., Xiangshan, X., Lu, D., Changxin, N., Yuqiang, L., Qifei, H. (2018) Long-term dynamics of leachate production, leakage from hazardous waste landfill sites and the impact on groundwater quality and human health. *Waste Management*, **82**, 156–166. Acesso em 30 ago. 2019, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X18306196?via%3Dihub>