



QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO QUE SEDIU O MAIOR LIXO ABERTO NA AMÉRICA LATINA: DEZ ANOS DE ANÁLISE

Ana Carolina Silva Martins¹

Flávia Reis De Andrade²

Daphne Heloisa De Freitas Muniz³

Eduardo Cyrino Oliveira-Filho⁴

Marcos Takashi Obara⁵

Gustavo Antonio Carneiro⁶

Alana Coelho Maciel⁷

Vanessa Resende Nogueira Cruvinel⁸

RESUMO

Objetivo: O objetivo deste estudo é investigar a qualidade das águas subterrâneas na Região Administrativa Estrutural, localizada na região Central do Distrito Federal, Brasil, antes e depois do fechamento do maior aterro sanitário a céu aberto da América Latina.

Referencial Teórico: A legislação brasileira, a Portaria 888 do Ministério da Saúde e a resolução CONAMA 396 são destacadas para comparação com os achados do estudo, fornecendo uma base sólida para a compreensão do contexto da investigação.

Método: A metodologia adotada para esta pesquisa inclui a análise de dados de monitoramento de águas subterrâneas realizados pela Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA), em dois poços: raso e profundo, com 30 e 70 metros de profundidade, respectivamente, localizados a 140 metros do antigo aterro sanitário. Dos 33 parâmetros coletados pela ADASA entre 2013 e 2022, 21 foram analisados.

Resultados e Discussão: Os resultados obtidos revelaram que há evidências de contaminação de águas subterrâneas, especialmente no monitoramento de poços rasos. Políticas públicas devem ser implementadas para proteger essa população vulnerável. Quanto às limitações do estudo, podemos citar a utilização de dados secundários e a realização de um teste não paramétrico. Inadequações no monitoramento, como a falta de padronização na avaliação dos parâmetros e a ausência de dados periódicos sobre parâmetros importantes, como os parâmetros microbiológicos, limitam o estudo e impedem análises estatísticas mais robustas.

Implicações da Pesquisa: Os resultados desta pesquisa podem auxiliar na formulação ou aprimoramento de políticas públicas de gestão territorial e de gestão de resíduos sólidos urbanos, principalmente relacionadas à avaliação da qualidade das águas subterrâneas próximas a aterros e lixões e das condições de acesso à água potável por populações vulneráveis em seu entorno.

¹ Faculdade De Ciências e Tecnologias Em Saúde, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil

E-mail: carolina123.martins@gmail.com

² Faculdade De Ciências e Tecnologias Em Saúde, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil

E-mail: flaviaandrade@unb.br

³ EMBRAPA Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil. E-mail: daphne.muniz@embrapa.br

⁴ EMBRAPA Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil. E-mail: eduardo.cyrino@embrapa.br

⁵ Faculdade De Ciências e Tecnologias Em Saúde, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil

E-mail: marcos.obara@gmail.com

⁶ ADASA/DF, Parque Ferroviário De Brasília, Brasília Distrito Federal, Brasil.

E-mail: gustavo.carneiro@adasa.df.gov.br

⁷ : Programa De Ciência e Tecnologia De ALIMENTOS (PPGCTA/UFPA), Brasília Distrito Federal, Brasil.

E-mail: alanacoelhomaciel1@gmail.com

⁸ Faculdade De Ciências e Tecnologias Em Saúde, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil

E-mail: vanessarcruvinel@gmail.com



Originalidade/Valor: O estudo propõe uma abordagem prática para avaliar a qualidade das águas subterrâneas em uma região impactada por um aterro sanitário, com base em monitoramento abrangente nos seguintes aspectos: espacial (utilização de um par de poços rasos e profundos); temporal (séries de 10 anos de dados); qualitativo (análise de mais de 20 parâmetros); e social (avaliação de potenciais impactos sobre populações vulneráveis que utilizam águas subterrâneas para consumo). Os resultados evidenciam a necessidade de atuação integrada entre políticas de gestão do uso e ocupação do solo (em relação às populações vulneráveis e ocupações em áreas de risco); saneamento básico (principalmente no que se refere ao gerenciamento de resíduos sólidos urbanos e ao abastecimento de água potável); e saúde pública (no que se refere à qualidade da água disponível para consumo humano).

Palavras-chave: Água subterrânea, Qualidade da água, Resíduos sólidos urbanos, Meio ambiente, Saúde pública.

QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO QUE SEDIU A MAIOR LIXÃO A CÉU ABERTO NA AMÉRICA LATINA: DEZ ANOS DE ANÁLISE

RESUMO

Objetivo: O objetivo deste estudo é investigar a qualidade das águas subterrâneas na Região Administrativa da Estrutural, localizada na região Central do Distrito Federal, no Brasil, antes e após o fechamento do maior lixão a céu aberto da América Latina.

Referencial Teórico: Destacam-se as legislações brasileiras Portaria 888 Ministério da Saúde do Brasil e a resolução do CONAMA 396 a fim de comparação com os achados do estudo, fornecendo uma base sólida para a compreensão do contexto da investigação.

Método: A metodologia adotada para esta pesquisa compreende análise de dados de monitoramento de águas subterrâneas realizados pela Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA), realizada em dois poços: raso e profundo, com 30 e 70 metros de profundidade, respectivamente, localizados a 140 metros do antigo lixão. Dos 33 parâmetros coletados pelo ADASA entre 2013 e 2022, 21 foram analisados

Resultados e Discussão: Os resultados obtidos revelaram que há evidências de contaminação das águas subterrâneas, especialmente no monitoramento de poços rasos. Políticas públicas devem ser empreendidas para proteger essa população vulnerável. Em relação às limitações do estudo, podemos citar o uso de dados secundários e a realização de um teste não paramétrico. Insuficiências no monitoramento, como a falta de padronização na avaliação dos parâmetros e a ausência de dados periódicos sobre parâmetros importantes, como os microbiológicos, limitam o estudo e impedem análises estatísticas mais robustas.

Implicações da Pesquisa: Os resultados desta pesquisa podem auxiliar na formulação ou no aprimoramento de políticas públicas de gestão territorial e de gestão de resíduos sólidos urbanos, principalmente relacionadas à avaliação da qualidade das águas subterrâneas próximas a lixões e aterros e às condições de acesso à água potável pelas populações vulneráveis nos seus arredores.

Originalidade/Valor: O estudo propõe uma abordagem prática para avaliar a qualidade das águas subterrâneas em uma região impactada por um lixão, a partir de um monitoramento abrangente nos aspectos: espacial (utilização de par de poços raso e profundo); temporal (série de 10 anos de dados); qualitativo (análise de mais de 20 parâmetros); e social (avaliação dos potenciais impactos para as populações vulneráveis que utilizam águas subterrâneas para consumo). Os resultados evidenciam a necessidade da atuação integrada entre as políticas de gestão de uso e ocupação do solo (em relação a populações vulneráveis e ocupações em áreas de risco); saneamento básico (principalmente quanto à gestão de resíduos sólidos urbanos e ao abastecimento de água potável); e saúde pública (no que se refere à qualidade da água disponível para consumo humano).

Palavras-chave: Águas Subterrâneas, Qualidade da Água, Resíduos Sólidos Urbanos, Meio Ambiente, Saúde Pública.



QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO QUE SEDIU O MAIOR Fechamento de aterros sanitários na América Latina: dez anos de análise.

RESUMO

Objetivo: O objetivo deste estudo é investigar a qualidade das águas subterrâneas na Região Administrativa Estrutural, localizada na região Central do Distrito Federal, Brasil, antes e depois do fechamento do maior aterro sanitário a céu aberto da América Latina.

Referencial teórico: A legislação brasileira, como a Portaria 888 do Ministério da Saúde e a Resolução 396 do CONAMA, é destacada para comparação com os achados do estudo, fornecendo uma base sólida para a compreensão do contexto da pesquisa.

Método: A metodologia adotada para esta pesquisa compreende a análise de dados de monitoramento de águas subterrâneas realizado pela Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA), realizado em dois poços: superficial e profundo, com 30 e 70 metros de profundidade, respectivamente, localizados a 140 metros do antigo aterro. Dos 33 parâmetros coletados pela ADASA entre 2013 e 2022, 21 foram analisados

Resultados e Discussão: Os resultados obtidos revelaram que há evidências de contaminação de águas subterrâneas, principalmente no monitoramento de poços superficiais. Políticas públicas devem ser implementadas para proteger essa população vulnerável. Quanto às limitações do estudo, podemos citar a utilização de dados secundários e a realização de um teste não paramétrico. Deficiências no monitoramento, como a falta de padronização na avaliação dos parâmetros e a ausência de dados periódicos sobre parâmetros importantes, como os microbiológicos, limitam o estudo e impedem análises estatísticas mais robustas.

Implicações da pesquisa: Os resultados desta pesquisa podem auxiliar na formulação ou aprimoramento de políticas públicas de planejamento do uso do solo e gestão de resíduos sólidos urbanos, principalmente relacionadas à avaliação da qualidade da água subterrânea próxima a aterros e lixões e às condições de acesso à água potável, por populações vulneráveis em seu entorno.

Originalidade/Valor: O estudo propõe uma abordagem prática para avaliar a qualidade das águas subterrâneas em uma região impactada por um aterro sanitário, com base em um monitoramento abrangente nos seguintes aspectos: espacial (utilização de um par de poços rasos e profundos); temporal (séries de dados de 10 anos); qualitativa (análise de mais de 20 parâmetros); e social (avaliação de potenciais impactos sobre populações vulneráveis que utilizam águas subterrâneas para consumo). Os resultados evidenciam a necessidade de atuação integrada entre as políticas de gestão do uso e ocupação do solo (em relação às populações vulneráveis e ocupações em áreas de risco); saneamento básico (principalmente no que se refere à gestão de resíduos sólidos urbanos e ao abastecimento de água potável); e saúde pública (no que diz respeito à qualidade da água disponível para consumo humano).

Palavras-chave: Água subterrânea, Qualidade da água, Resíduos sólidos urbanos, Meio ambiente, Saúde pública.

RGSA adota a Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional urbano é um fenômeno complexo com implicações econômicas, sociais e impactos ambientais. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), 55% da população mundial vive em áreas urbanas e espera-se que esta proporção aumente para 70% até 2050 (ONU-Habitat, 2022).

O principal impacto socioambiental deste elevado nível de urbanização em muitos países em desenvolvimento



países está relacionada à falta de saneamento ambiental, incluindo o descarte adequado de resíduos sólidos, coleta e tratamento de esgoto e abastecimento de água potável, que afetam diretamente saúde pública (FIOCRUZ, 2018; Brasil, 2019). As populações pobres, especialmente aquelas que vivem em esses países são afetados por saneamento precário (OMS; UNICEF, 2017). América Latina e A África está entre os continentes menos favorecidos. A América Latina, em particular, enfrenta desafios em a prestação de serviços de água e esgoto devido a políticas públicas fracas, corrupção e vulnerabilidade de contratos e parcerias público-privadas (BNDES, 2022; Carvalho et al., 2021).

No Brasil, mais de 85% da população vive em áreas urbanas; e cerca de 20% vive em favelas – ou slums – e têm ocupações irregulares, invasões e moradias populares coletivas, locais onde o abastecimento de água e a coleta regular de resíduos sólidos são precários (IBGE, 2022). Cerca de 32 milhões de crianças (63%) vivem em situações vulneráveis no que diz respeito à determinantes sociais da saúde: renda, educação, trabalho infantil, habitação, água, saneamento e informações (UNICEF, 2023). Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Estatísticas (IBGE), 16% da população não tem acesso à água potável, quase 50% não têm coleta de esgoto e 20% não têm acesso a coleta e disposal of solid waste (IBGE 2022; Silvério et.al., 2024).

Brasil tem quase 3.000 lixões irregulares que afetam a qualidade de vida de 77 milhões Brasileiros (Cruvinel et al., 2019). Aproximadamente 29,7 milhões de toneladas de resíduos foram despejados em lixões controlados e a céu aberto em 2022 (ABRELPE, 2022). O Distrito Federal (DF) do Brasil, o menor território entre os estados brasileiros e abriga a terceira cidade mais populosa do o país, Brasília, a capital do Brasil com aproximadamente três milhões de habitantes (IBGE, 2023). De acordo com o Atlas de Vulnerabilidade do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), este estado apresenta desigualdade social territorializada, sendo caracterizado por uma população vulnerável população residente em áreas periféricas, com déficit de infraestrutura e com baixa escolaridade e baixa renda per capita (SEDUH, 2020; IPEA, 2021). Apesar da alta taxa de cobertura na abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgoto sanitário no DF, algumas regiões ainda não são totalmente atendidos, como na Região Administrativa (RA) da Cidade Estrutural (ADASA, 2018). Os moradores desta cidade estão duplamente expostos, pois ela sediou por quase 60 anos o Lixão a céu aberto do Jockey Club, que mais tarde ficou conhecido como lixão Estrutural e atingiu seu auge o segundo maior lixão a céu aberto do mundo (Cruvinel et al., 2019). Este estudo tem como objetivo analisar os parâmetros de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas durante um período de dez anos, tanto durante o operação e após o encerramento do Aterro Sanitário Estrutural, que funcionou durante 60 anos no Distrito Federal.



2 REFERENCIAL TEÓRICO

A água desempenha um papel crucial na qualidade de vida em todo o mundo, influenciando diretamente as medidas de saúde pública da população. Garantir o acesso à água em quantidade e qualidade desejáveis a qualidade é um dos grandes desafios das sociedades contemporâneas (Connor e Coates, 2021; Santos et al., 2022). As águas subterrâneas são uma importante fonte de abastecimento de água para a população consumo em vários países (Hirata, et.al. 2019). Estabelecer metas para melhorar o acesso a alimentos seguros água potável é um esforço global. A Agenda 2030 da ONU para o Desenvolvimento Sustentável apresenta um Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) diretamente relacionado à água (ODS 6). Este objetivo se desdobra em vários objetivos, incluindo a proposta de aumentar a eficiência do uso da água em todos os setores até 2030 e garantir retiradas sustentáveis e o fornecimento de água doce para enfrentar a escassez e implementar gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis de governo (ONU, 2015).

No Brasil, há uma disparidade significativa nos serviços de saneamento básico. Nas áreas urbanas, a cobertura diminui do centro para a periferia, como se observa na Estrutura Administrativa Região do Distrito Federal. Em áreas com lixões, a qualidade das águas subterrâneas pode ser severamente afetam a saúde dos catadores e das comunidades vizinhas. Este estudo tem como objetivo avaliar a qualidade das águas subterrâneas na Estrutural, tanto durante como após o encerramento do lixão, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida da comunidade e proteger o meio ambiente.

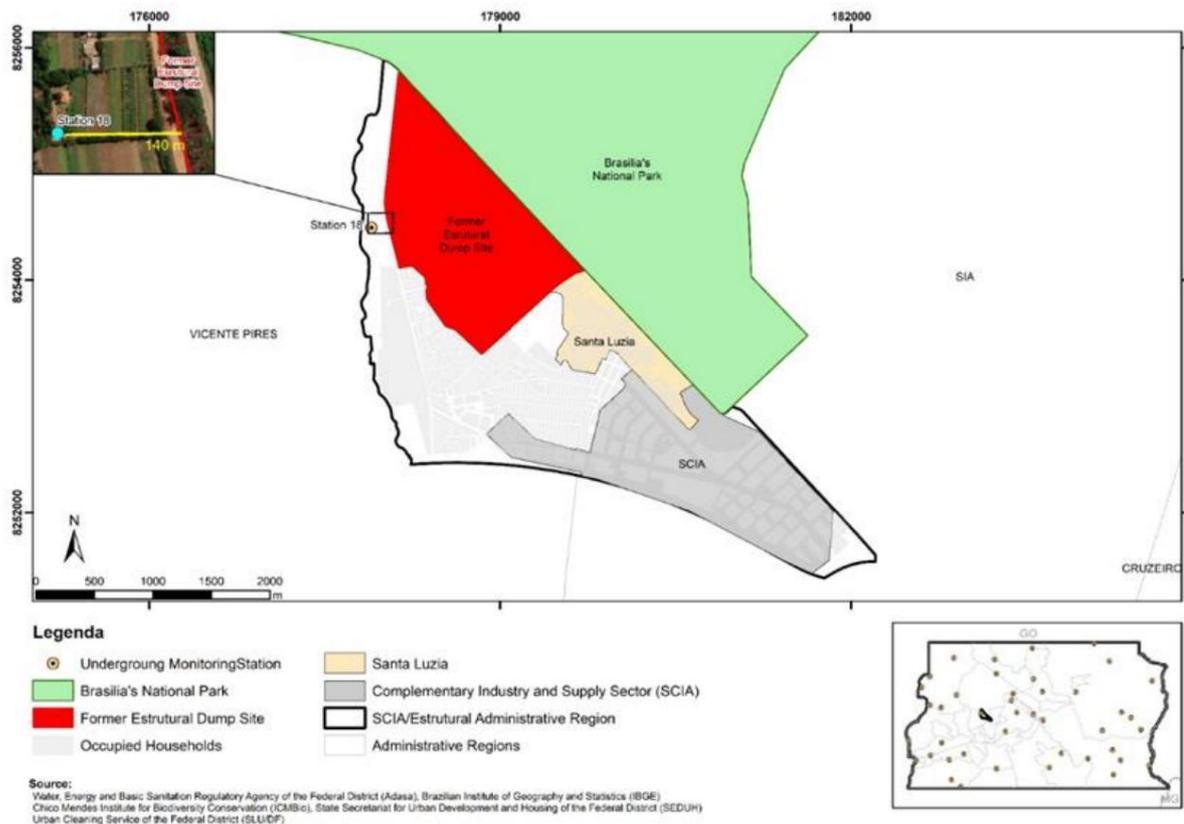
O estudo foi realizado na Região Administrativa Estrutural (RA), localizada no município de região central do Distrito Federal. A Estrutural é a RA mais pobre do DF (CODEPLAN, 2021a). Após a inauguração de Brasília em 1960, a área foi destinada à área urbana sólida descarte de resíduos e passou a ser habitado por pessoas que buscavam trabalho no lixão a céu aberto do Jockey Club. O lixão funcionou por quase 60 anos e, no seu auge, foi o maior da América Latina e o segundo maior do mundo. A região ainda enfrenta desafios, incluindo áreas com deficiências infraestrutura e a falta de saneamento básico, como o setor agrícola Santa Luzia (Cruvinel et e outros, 2019).

A região possui um clima predominantemente tropical com estações secas e chuvosas distintas. A geologia é composta por quatro conjuntos litológicos distintos: grupos Canastra e Paranoá (Meso-Neoproterozoic era), and Araxá and Bambuí (Neoproterozoic era) (CODEPLAN, 2020). The A área foi inicialmente habitada por pessoas atraídas para trabalhar no lixão. À medida que a área foi ocupada, surgiram os primeiros catadores de lixo, o que levou à construção de casas nas proximidades. Apesar dos esforços para realocar a população devido à fraca infraestrutura da região, essas tentativas foram sem sucesso (CODEPLAN, 2018).



Figura 1

Mapa do local do estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

In 1996, the Chácara Santa Luzia farm sector was established in Estrutural, classified como um Aglomerado Subnormal ou Favela. A área foi considerada imprópria para habitação devido à falta de serviços básicos. Como resultado, os moradores recorrem a ligações clandestinas de água e eletricidade, e utilizar fossas sépticas para descarte de esgoto (CODEPLAN, 2021b).

3 METODOLOGIA

Estrutural e Santa Luzia têm populações de 37.527 e 10.273 habitantes, respectivamente, principalmente jovens com baixa escolaridade (CODEPLAN, 2021b). Em 2018, o lixão da Estrutural O local em Brasília foi fechado e os catadores foram realocados para estações de coleta de resíduos construídas pelo governo. instalações. Apesar disso, eles continuam a viver perto do antigo lixão. Uma parte da área é dentro da zona de amortecimento de 300 metros do Parque Nacional de Brasília, enfrentando o risco iminente de realocação de 15.000 famílias (CODEPLAN, 2021b).

O abastecimento de água na Estrutural é feito pela Companhia de Saneamento Ambiental de Distrito Federal (CAESB), que atende 79,3% dos domicílios existentes, enquanto 1% utiliza



por furos profundos e 0,9% utilizam poços rasos ou cisternas; enquanto no setor agrícola de Santa Luzia apenas 13,3% dos domicílios são abastecidos pela CAESB, 4,2% por poços profundos e 3,6% por poços semi-poços artesianos rasos ou cisternas (CODEPLAN, 2021a; CODEPLAN 2021b, Silva e Rezende, 2021).

O Distrito Federal conta com 42 estações de monitoramento de águas subterrâneas, cada uma com dois poços (rasos e fraturados). Na Estrutural, dois poços (30m e 70m de profundidade) estão localizados a 140 metros do antigo lixão da estação nº 18. A Agência Reguladora de Água, Energia e Saneamento (ADASA) monitora os dados e supervisiona os serviços de saneamento básico no DF (Brasília, 2008).

O protocolo de monitoramento ADASA inclui uma avaliação quantitativa (estática nível de medição) e a coleta de amostras de águas subterrâneas para avaliação da qualidade realizada a cada dois meses e analisa 36 parâmetros, 21 partes das amostras coletadas pela ADASA foram analisados os períodos de seca e chuva entre 2013 e 2022, e o número de amostras variou entre os parâmetros e o segundo tipo de poço (Tabela 1). O adicional parâmetros analisados para a estação nº 18 temperatura ambiente, temperatura da amostra, nível, altitude, arsênio, cádmio, cianeto, níquel, selênio, berílio, cobalto, fósforo dissolvido, fósforo total, magnésio e prata (ADASA, 2019).

Tabela 1

Número de amostras de acordo com o tipo de poço de água física, química e microbiológica parâmetros de qualidade monitorados pela ADASA.

Parâmetro	Unidade de Sigla		N	
			Raso Bem	Poço Profundo
Alcalinidade	Reino Unido	mg/L CaCO ₃	18	18
	CE	µS/cm	51	47
Condutividade elétrica				
Dureza total pH	pH DIFÍCIL	mg/L	18	18
		-	40	36
Turbidez	TURBY	UNT	17	17
	dissolvido TDS	mg/L	22	16
Sólidos totais				
Coliformes totais	TC	MPN/100	18	18
Escherichia coli	ECOLI	MPN/100	18	18
Alumínio total	Al	mg/L	11	12
Bário total	Não	mg/L	12	12
Chumbo total	Pb	mg/L	12	12
Cloreto	Cl	mg/L	18	18
Cobre total	Com	mg/L	12	12
Cromo total	Cr	mg/L	11	11
Ferro total	Fé	mg/L	18	18
Manganês	Mn	µS/cm	18	18
Mercurio total	Hg	UCP	11	11



Nitrato	NO ₃ -	NMP	12	12
Nitrito	NO ₂ -	mg/L	12	12
Amoniacal	NH	mg/L	12	12
Azoto				
Zinco total	Zinco	mg/L	11	12

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Para avaliar a qualidade da água para consumo humano, os dados foram comparado com os valores máximos permitidos previstos na Portaria GM/MS nº 888 de maio 4 de 2021 do Ministério da Saúde (Brasil, 2021), que estabelece os padrões de qualidade da água para consumo humano, e com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Resolução nº 396 de 3 de abril de 2008 (CONAMA, 2008), que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o estabelecimento da qualidade das águas subterrâneas de acordo com suas usos predominantes. Para tanto, foram utilizadas medidas descritivas, como mínimo, máximo, e mediana. O teste U de Mann-Whitney foi usado para verificar as diferenças entre antes e depois o encerramento do lixão a céu aberto, considerando apenas os parâmetros que tiveram pelo menos cinco amostras em ambos períodos. Como o lixão foi fechado em janeiro de 2018, foram considerados dois períodos: período 1, de 2013 a 2017, e período 2, de 2018 a 2022. O nível descritivo adotado foi de $p < 0,05$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os impactos ambientais dos lixões são conhecidos há décadas. Eles variam de geração de gases e chorume, bem como incêndios e explosões, danos à vegetação, efeitos desagradáveis odores, lixões a céu aberto, poluição do ar e poluição das águas subterrâneas (El-Fadel et al., 1997). O risco de A poluição das águas subterrâneas por lixiviados de lixões a céu aberto é considerada o risco mais significativo para a meio ambiente natural e saúde humana relacionados ao descarte de resíduos (PRZYDATEK e KANOWNIK 2019).

No poço raso, os parâmetros que apresentaram medianas com valores acima do máximo estabelecidos na legislação foram turbidez, cloro, ferro e nitrogênio amoniacal no período 1, e turbidez, Sólidos Totais Dissolvidos (STD), cloro e ferro no período 2 (Tabela 2). A única parâmetros que apresentaram redução após o término das atividades de despejo a céu aberto foram os elétricos condutividade ($p < 0,001$) e nitrogênio amoniacal ($p = 0,018$). Deve-se notar que as amostras de os sólidos dissolvidos totais foram coletados apenas pela ADASA em 2019.



Tabela 2

Valores medianos, máximos e mínimos e os resultados do teste U de Mann-Whitney para comparar a concentração dos parâmetros medidos no poço raso antes e depois da fechamento de lixão a céu aberto. Estrutural RA - Distrito Federal, Brasil, 2013–2022.

Parâmetro	Período 1				Período 2				MAV		valor p
	n	Mínimo	Com	Máx.	n	Mínimo	Com	Máx.	Portaria 888/21a	CONAMA 396/08b	
Reino Unido	11	20,0	135,0	530,0	7	9,0	82,0	199,0	-	-	0,151
CE	22	1123,0	1665,0	3310,0	29	136,0	1281,0	1660,0	-	-	<0,001*
pH DIFÍCIL	11	14,0	47,0	180,0	7	10,0	68,0	70,0	300	-	0,650
	11	5,62	6,16	7,1	29	5,23	6,27	7,39	6,0 – 9,0	-	0,988
TURBY	11	5,27	264,0*	1580,0	6	87,6	205,0*	237,0	5,0	-	0,661
TDS	0	-	-	-	22	12,69	639,5*	695	500	1000	-
Al	4	0,005	0,009	0,053	7	0,01	0,04	1,24	0,2	0,2	-
Não	5	0,016	0,039	0,076	7	0,002	0,011	0,069	0,7	0,7	0,072
Pb	5	0,003	0,008	0,273	7	0,001	0,003	0,019	0,01	0,01	0,068
Cl	11	1,0	381,4*	550,0	7	214,9	327,4*	409,9	250	250	0,085
Com	5	0,008	0,016	0,032	7	0,001	0,004	0,023	2,0	2,0	0,103
Cr	5	0,005	0,005	0,005	6	0,002	0,004	0,005	0,05	0,05	0,099
Fé	11	4,75	18,32*	78,81	7	1,36	9,95*	33,17	0,3	0,3	0,179
Mn	11	0,037	0,178	0,486	7	0,023	0,079	0,135	0,1	0,1	0,104
Hg	4	0,0001	0,0002	0,0002	7	0,0001	0,001	0,001	0,001	0,001	-
NO3-	5	0,5	2,6	3,4	7	0,1	1,1	5,2	10	10	0,416
NO2-	5	0,01	0,997	5,255	7	0,01	0,05	0,92	1,0	1,0	0,101
NH	5	36,62	42,20*	45,91	7	0,19	0,843	44,8	1,2	-	0,018*
Znco	5	0,012	0,036	0,112	6	0,007	0,031	0,112	5,0	5,0	0,583

aPortaria nº 888 de 4 de maio de 2021 (Brasil, 2021) / bLista com o VMA para consumo humano dos parâmetros com maior probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas previstos na Resolução nº 396 de 3 de abril de 2008 (Brasil, 2008) / n=número de amostras analisadas / Min=Mínimo / Max=Máximo / Med=Mediana / VMA= Valor máximo permitido / Valores em negrito e com asterisco referentes às medianas acima do VMA ou valores de p<0,05 / Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Em relação ao Poço Profundo, a turbidez, o alumínio e o nitrogênio amoniacal apresentaram valores medianos acima do máximo permitido no período 1. Não houve parâmetro com mediana acima do valor recomendado pela legislação no período 2. Comparando os valores antes e após o encerramento do lixão a céu aberto, a maioria dos parâmetros foram estatisticamente significativos, com destaque para na turbidez (p<0,001) e cloro (p<0,001) (Tabela 3). Isso sugere que o efeito mais imediato o impacto do despejo ocorre no Poço Profundo, não no Raro.

Tabela 3

Valores medianos, máximos e mínimos e resultados do Teste U de Mann-Whitney para comparação a concentração de parâmetros medidos no poço raso rachado antes e depois da abertura fechamento de lixão. Estrutural - Distrito Federal, Brasil, 2013–2022.

Parâmetro	Período 1				Período 2			MAV		valor p
	n	Mínimo	Com	Máx.	n	Min com Max	Portaria 888/21a	CONAMA 396/08b		
Reino Unido	11	87,0	165,0	237,0	7	230,0	60,0	83,0	200,0	0,009*
CE	23	132,3	515,0	24 167,0	7	7,88	132,0	146,0	1324,0	0,002*
pH DIFÍCIL	11	80,0	133,0	24 138,0	6	16 7	36,0	68,0	84,0	0,001*
	12	5,81	6,92				5,10	6,46	7,70	0,026*
TURBY	11	0,98	8,70*				0,50	1,29	6,31	<0,001*
TDS	0	-	-	-			66	70	665	-
Al	5	0,01	0,31*	0,60			0,01	0,01	0,23	0,069
Não	5	0,03	0,108	0,1530	7		0,002	0,005	0,100	0,022*
Pb		0,003	0,005	0,1	7		0,001	0,003	0,033	0,062
Cl	5 11	6	100,7	135,95	7		1	4	14	<0,001*
Com	5	0,009	0,023	0,082	7		0,001	0,003	0,055	0,102
Cr	4	0,005	0,005	0,005	7		0,002	0,005	0,005	-



Qualidade das águas subterrâneas na região que sediou o maior lixão a céu aberto da América Latina: dez anos de Análise

Fé	11	0,073	0,22	1,28	7	0,073	0,098	0,129	0,3	0,3	0,006*
Min	11	0,02	0,30	0,46	7	0,007	0,033	0,20	0,1	0,1	0,016*
Hg	4	0,0001	0,0002	0,0002	7	0,0001	0,001	0,001	0,001	0,001	-
NO3-	5	0,1	2,5	6,0	7	0,06	0,7	5,1	10	10	0,167
NO2-	5	0,02	0,366	5,74	7	0,003	0,007	0,01	1,0	1,0	0,005*
NH	5	0,333	11,2*	17,5	7	0,25	0,70	1,69	1,2	-	0,073
Zinco	5	0,013	0,021	0,123	7	0,007	0,02	0,116	5,0	5,0	0,807

aPortaria nº 888 de 4 de maio de 2021 (Brasil, 2021) / bLista com o VMA para consumo humano dos parâmetros com maior probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas previstos na Resolução nº 396 de 3 de abril de 2008 (Brasil, 2008) / n=número de amostras analisadas / Min=Mínimo / Max=Máximo / Med=Mediana / VMA= Valor máximo permitido/ Valores em negrito e com asterisco referentes às medianas acima do VMA ou valores de $p < 0,05$.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Mesmo após o encerramento do lixão a céu aberto, os sólidos dissolvidos totais apresentaram mediana (639,6 mg/L) acima do permitido (500 mg/L) no poço raso em todas as amostras (Figura 1). Mishra et al. (2019) avaliaram o impacto dos lixiviados de resíduos sólidos urbanos a céu aberto nas águas subterrâneas qualidade em Varanasi, Índia. Os autores apresentaram valores médios de TDS acima do padrão proposto pela OMS (500 mg/L), com médias de 723 mg/L (seco) e 1006 mg/L (chuva). De acordo com os autores, esse aumento indica a lixiviação de efluentes de resíduos sólidos do lixão a céu aberto. Os sólidos dissolvidos totais atuam indiretamente sobre a vida aquática, impedindo a penetração da luz, favorecendo o aquecimento da água, o que gera uma redução na quantidade de oxigênio dissolvido no meio (LOUGON, 2009.)

A análise preliminar de TDS é usada para indicar a existência de compostos dissolvidos em água. Este parâmetro é analisado como uma medida da salinidade da água e/ou dos efeitos causados por algumas atividades antropogênicas que afetam um corpo d'água (Van Niekerk et al., 2014). Para beber água, o VAM do TDS é de 500 mg/L e 1000 mg/L para a Portaria GM/MS 888/21 e o CONAMA Resolution 396/2008, respectively (BRASIL, 2021; CONAMA, 2008). The A presença de sólidos dissolvidos na água pode afetar seu sabor. Uma concentração inferior a 300 mg/L é considerado excelente do ponto de vista da palatabilidade, enquanto um TDS acima de 1200 mg/L torna-se inaceitável para consumo humano (OMS,1996).

No poço raso, a turbidez estava bem acima dos valores recomendados antes (264 UNT) e após (205 UNT) o encerramento do lixão (Figura 2). A turbidez é uma medida da refração da água à luz, originada por partículas em suspensão ou matéria coloidal e rotineiramente usado para indicar a qualidade da água potável como um indicador de estabilização das águas subterrâneas poços (Popek, 2018). Em áreas próximas a lixões a céu aberto, a turbidez nas águas subterrâneas pode ser causada por a transferência de lixiviados de lixões a céu aberto por infiltração de precipitação (Amano et al., 2020).

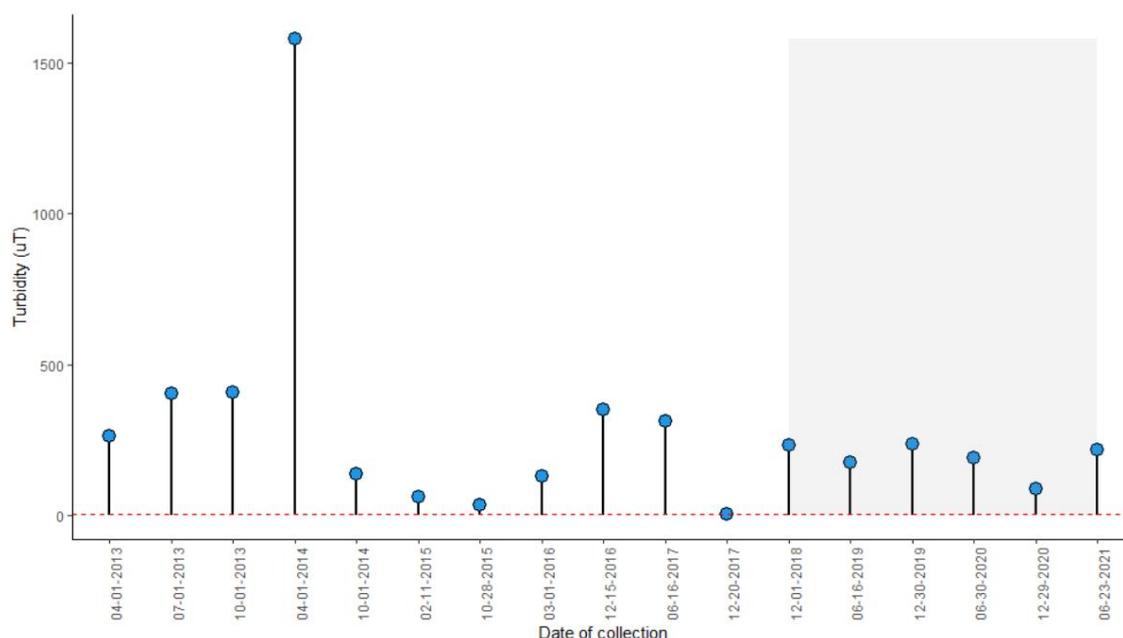
Segundo a OMS (2011), altas taxas de turbidez têm o potencial de proteger microrganismos contra os processos de desinfecção, promovem a proliferação de bactérias e levam a uma maior demanda por cloro. Além disso, esses níveis elevados podem comprometer a eficácia de métodos de desinfecção física, como a irradiação UV, uma vez que as partículas presentes na água



pode interferir na transmissão da luz. Além disso, altos níveis de turbidez visível podem impactar negativamente a aceitabilidade da água potável.

Figura 2

Análise de turbidez no Poço Raso (30 m) antes e depois (retângulo cinza) do despejo fechamento. Estrutural-DF.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

O cloro, na forma de íon cloreto (Cl^-), é um dos principais ânions inorgânicos presentes na água natural e águas residuais. A elevada concentração de cloretos é também um indicador da propagação de contaminação, uma vez que existe um íon ausente nas águas subterrâneas naturais da zona freática de região (Cruvinel, et al., 2017). No poço raso, foram encontrados valores acima do estabelecido pela Portaria 888 MS (Brasil, 2021) e a resolução CONAMA 396 (CONAMA, 2008). no Poço Profundo, houve uma redução acentuada de cloro após o fechamento do lixão.

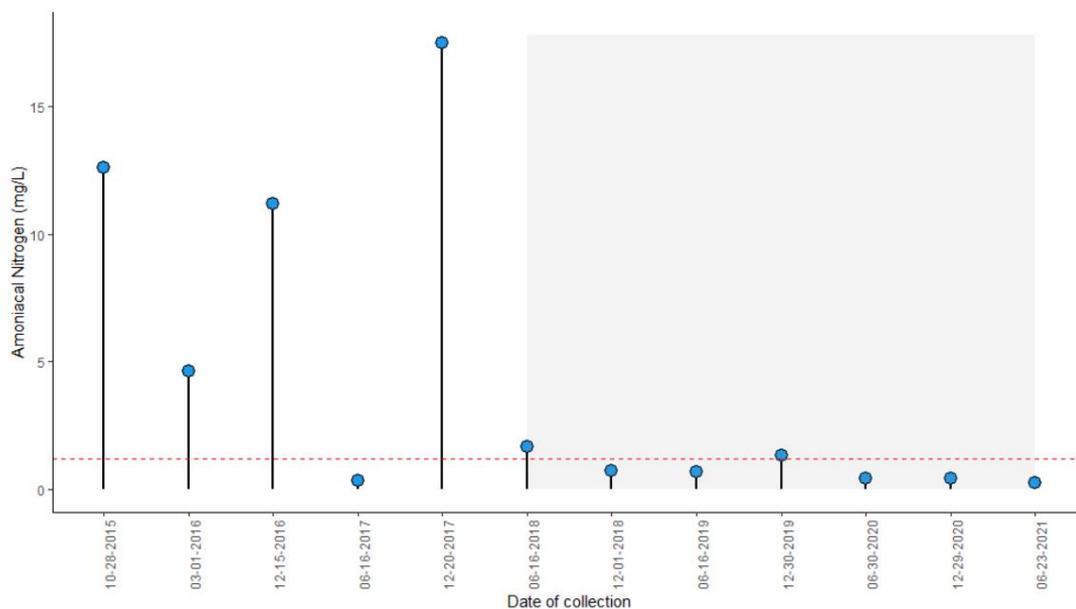
De acordo com a legislação brasileira, a Portaria 2.914 MS (Brasil, 2011) e a Resolução CONAMA 396 (CONAMA, 2008) a concentração máxima de amoniacal nitrogênio na água potável não pode ultrapassar 1,2 mg/L (Brasil, 2021). Neste estudo, este parâmetro excedeu o valor permitido tanto nos poços rasos quanto nos poços profundos antes do fechamento do poço aberto despejo, com redução significativa após 2019 (Figura 3). O nitrogênio amoniacal é um gás frequente contaminante de águas superficiais e subterrâneas, excedendo os padrões apropriados em torno de lixões a céu aberto (Atta et al., 2014). Os percolados provenientes de lixões a céu aberto de resíduos sólidos urbanos, que apresentam um elevado concentração de nitrogênio amoniacal, são reconhecidas como fontes significativas de poluição das águas subterrâneas



contaminação por esta forma nitrogenada (Han et al. 2016). Embora o nitrogênio amoniacal não causa câncer em humanos, em altas concentrações pode causar danos aos olhos e ao trato respiratório irritação e queimaduras na pele. Em concentrações extremamente altas, podem ser fatais (Nieder e Benbi, 2022). Além disso, em circunstâncias adequadas, como altos níveis de OD (dissolvido oxigênio) e Eh (potencial redox) nas águas subterrâneas, o nitrogênio amoniacal presente nelas desencadeia um processo de nitrificação. O nitrito, como intermediário desse processo, pode causar câncer, teratogênese e mutação (Xin et al. 2019).

Figura 3

Análise do nitrogênio amoniacal no Poço Raso (30 m) antes e depois (retângulo cinza) da fechamento do aterro sanitário. Estrutural-DF.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024. A linha vermelha do traço mostra o limite mínimo, enquanto alguns valores encontrados apresentam valores elevados de nitrogênio amoniacal.

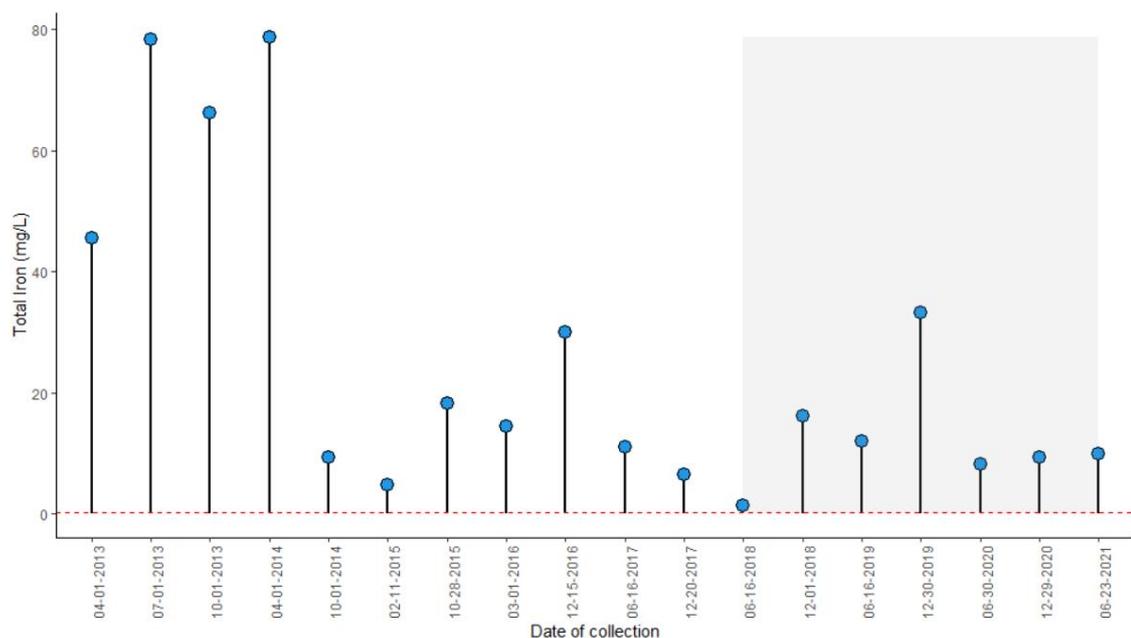
A redução mencionada de nitrogênio amoniacal após o fechamento do lixão a céu aberto pode estar diretamente relacionada à redução da matéria orgânica depositada no solo. Beck et al (2010) monitorou águas subterrâneas e lixiviados do Aterro Sanitário de Resíduos Sólidos Urbanos no Município de Passo Fundo - RS, e detectou que o nitrogênio total evidencia a ocorrência de contaminação em relação ao chorume do lixão a céu aberto. Chorume e águas subterrâneas amostras foram coletadas de um antigo lixão a céu aberto em Taman Beringin, Kuala Lumpur, Malásia. Os resultados dos parâmetros físico-químicos mostraram um impacto considerável de lixiviados em águas subterrâneas, com concentrações elevadas para a maioria dos parâmetros analisados no amostras de águas subterrâneas, incluindo NH-N (31,10 mg/L) (Atta et al., 2014).



Como a Estrutural é uma área considerada de risco de contaminação devido à presença do lixão até 2018, avaliando a concentração de metais nas águas subterrâneas é extremamente importante considerando os riscos que altos níveis de alguns metais podem causar à saúde da população (Mesquita et al., 2016). O ferro, em particular, é um metal essencial para a saúde humana atuando como cofator para muitas enzimas e desempenha um papel importante na manutenção da energia metabolismo (Khatri et al., 2017). Teores acima de 0,3 mg/L podem não apresentar efeitos adversos à saúde; no entanto, o consumo contínuo de água com altos níveis de ferro pode desencadear uma condição conhecida como sobrecarga de ferro (Zheng et al., 2017). A ingestão excessiva deste mineral pode comprometer hematopoiese, afetando as células progenitoras e o microambiente relacionado. Se a sobrecarga de ferro for não tratada, pode evoluir para hemocromatose, causando danos a vários órgãos do corpo (Milman, 2021).

Figura 4

Análise de ferro no Poço Raso (30m), entre 2013 e 2021. Estrutural-DF



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024. A figura mostra valores mais elevados de ferro antes do fechamento do lixão estrutural, sugerindo impactos positivos dessa ação no meio ambiente e na saúde pública.

Em relação aos outros metais analisados bário, chumbo, cobre, crômio, alumínio, magnésio e zinco), praticamente todos os metais ficaram abaixo do recomendado pela Portaria 2.914 MS (Brasil, 2011) e a Resolução CONAMA 396 (CONAMA, 2008). O estudo realizado por Cruvinel et al. (2017), que avaliou dados desta mesma base de dados antes de 2017, mostraram que o chumbo no poço poroso atingiu uma concentração de 0,273 mg/L em 2015, acima do recomendação da portaria de potabilidade da água. No Poço Profundo, em 2015 e 2016, os valores



acima do recomendado pela Portaria 2.914 MS (Brasil, 2011) para os metais Ba, Pb e al foram encontrados.

Neste estudo, observou-se redução nas medianas de alguns parâmetros após a encerramento do aterro da Estrutural, especialmente no Poço Profundo. Este monitoramento precisa ser periódicos e perduram por muitos anos, pois os resíduos da construção civil do Distrito Federal são sendo despejados da área do antigo lixão a céu aberto, tornando essa população mais vulnerável a doenças e sujeitos à água potável não segura.

Em ambos os poços houve uma redução significativa na condutividade elétrica após o fechamento do lixão a céu aberto. Este fato pode ser explicado pela atenuação da pluma de contaminação ao longo do tempo, seja por uma mudança na direção do deslocamento ou na disposição dos resíduos no solo. Segundo Mondelli et al. (2016), a condutividade elétrica esperada para um aquífero varia entre 100 e 280 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Entretanto, este parâmetro não é referenciado pela Portaria 888 MS (Brasil, 2021) nem pela resolução CONAMA 396 (CONAMA, 2008). A ausência de referência de qualidade não diminui a importância da análise deste parâmetro, uma vez que maior valores são um fator de alerta para contaminação do meio ambiente e da saúde humana. Lima (2003) encontraram valores médios de condutividade elétrica em torno de 15.400 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$, analisando chorume de um lixão a céu aberto controlado no Rio de Janeiro.

Tanto para os poços rasos como para os profundos foram realizadas 18 campanhas para analisar o total coliformes e *Escherichia coli*, 11 antes e sete depois do fechamento do lixão. Em ambos os poços, todas as amostras após 2018 foram positivas em ambos os parâmetros. De acordo com a legislação brasileira, coliformes totais e *Escherichia coli* devem estar ausentes em 100 ml (BRASIL, 2021). Em relação à Coliformes totais no poço raso, quatro amostras testaram positivo antes do fechamento do lixão, com valores entre 1,9 NMP/100 ml e 4500 NMP/100 ml. Após seu fechamento, todas as amostras foram positivos, com valores máximos e mínimos de <1,0 NMP/100 ml e <10,0 NMP/100 ml ml, respectivamente. Ainda no poço raso, duas amostras foram positivas para *Escherichia coli* (410 NMP/100 ml e <1,0 NMP/100 ml) antes do encerramento do lixão a céu aberto, e sete depois, com valores entre <1,0 NMP/100 ml e <10,0 NMP/100 ml.

Quanto às limitações do estudo, podemos citar a utilização de dados secundários e a realização de um teste não paramétrico. Insuficiências na monitorização, como a falta de padronização na avaliação de parâmetros e ausência de dados periódicos sobre fatores importantes parâmetros, como os microbiológicos, limitam o estudo e impedem análises estatísticas mais robustas. análises.

Como perspectivas para o estudo, sugere-se que a Universidade continue monitorando nesta região, principalmente em domicílios com avaliação da qualidade da água. Além disso, por meio da extensão



atividades, promover ações de educação em saúde para esta comunidade. A necessidade de monitorar a saúde desta comunidade que está exposta a riscos sociais, ambientais e ocupacionais na Território estrutural, que ficou marcado pela existência do lixão a céu aberto durante quase 6 décadas, é compreendido.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A existência do lixão na Região da Estrutural há mais de seis décadas levanta preocupações sobre a contaminação das águas subterrâneas devido à eliminação de resíduos orgânicos, resíduos hospitalares e materiais radioativos. É importante destacar que após o encerramento do lixão em 2018, todos os resíduos da construção civil do DF continuam sendo despejados na área, expondo a população a uma provável contaminação. Os resultados obtidos neste trabalho indicam que está ocorrendo contaminação nos poços de monitoramento ao redor do antigo Lixão Estrutural, contribuindo para a degradação ambiental agravada e para os danos à qualidade de vida da população moradores da região. Esses resultados, no entanto, apenas pressupõem uma situação que pode ser melhorada avaliada com base em monitoramento periódico, pois apesar do fechamento do Lixão, a área continua recebendo resíduos da construção civil, que cobrem os resíduos despejados e realizam tratamento de chorume.

A análise revela contaminação contínua das águas subterrâneas, especialmente nas águas rasas poço de monitoramento (30m), com níveis elevados de sólidos dissolvidos totais, turbidez, cloreto, nitrogênio amoniacal e ferro excedendo os limites estabelecidos pelos padrões brasileiros de qualidade da água. Isto é preocupante, uma vez que os moradores da área anteriormente ocupada pelo lixão dependem de água de poço para consumo, potencialmente impactando sua saúde

A população da Estrutural, em especial de Santa Luzia, tem dificuldades de acesso seguro água potável, recorrendo à construção de poços e fontes devido à vivência em local não autorizado assentamento. Isso os torna mais vulneráveis a doenças e contaminação em comparação com aqueles em áreas autorizadas. A qualidade da água apresenta riscos à saúde e ao meio ambiente. O estudo recomenda ações integradas para monitorar a qualidade e a saúde da água, prevenindo doenças transmitidas pela água doenças e contaminação por metais.

No campo das políticas públicas, as estratégias são essenciais para o desenvolvimento desta território, como a regularização fundiária, a garantia do direito social à moradia, o desenvolvimento das funções sociais da propriedade urbana e do direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, que permitirá o acesso regular a água potável segura, saneamento, serviços de saúde e educação visando às reais demandas desta comunidade, a melhores indicadores de vida e saúde.



AGRADECIMENTOS

Esta investigação foi apoiada financeiramente pelo TDR, o Programa Especial de Investigação e Treinamento em Doenças Tropicais, co-patrocinado pela UNICEF, PNUD, Banco Mundial e OMS. O financiamento incluiu uma bolsa de mestrado para o primeiro autor. O trabalho do TDR é viabilizado por contribuições de vários financiadores, incluindo governos nacionais e internacionais instituições. Os autores também agradecem às instituições brasileiras, incluindo a Agência Reguladora de Água, Energia e Saneamento do Distrito Federal (ADASA) pelo fornecimento de dados, e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) pela parceria e assistência na análise de dados.

REFERÊNCIAS

- ADASA. (2019). Relatório anual de atividades: Superintendência de Recursos Hídricos. Recuperado em novembro de 4, 2023, https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/recursos_hidricos/monitoramento/Relatorio_Anual_Atividades_2019.pdf
- ADASA. (2018). Relatório anual de atividades: Superintendência de Recursos Hídricos. Recuperado em novembro de 4, 2023, https://portalhomolog.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/recursos_hidricos/monitoramento/Relatorio_atividade_anual_SRH_2018.pdf
- Amano, KOA, Danso-Boateng, E., Adom, E., Amoamah, ES, Nkansah, EK, e Appiah-Danquah, E. (sd). Efeito do aterro sanitário na qualidade da água potável, superficial e subterrânea. *Water and Environment Journal*. <https://doi.org/10.1111/wej.12664>. Acessado em 4 de novembro de 2023.
- Atta, M., Wan Zuhairi, WY, Wan Yaacob, WZ, Jaafar, O., & Sakawi, Z. (2014). Água subterrânea contaminada com nitrogênio amoniacal no antigo aterro sanitário de Taman Beringin: implicações para a saúde e o meio ambiente. *Advances in Environmental Biology*, 8(1), 136–142.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2022). Panorama do Censo Demográfico 2022 [Internet]. <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2022). Censo demográfico de 2022. IBGE. <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv102038.pdf>.
- Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. (2019). Manual de Saneamento (5ª ed.). Fundação Nacional de Saúde.
- Brasil. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. (2021, 4 de maio). Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, que dispõe sobre procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e potabilidade da União Oficial. isso é **padrões.** **Gazeta** **de** **o**



<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>.

Carvalho, LG, Gomes da Rosa, R., & Rocha de Miranda, JP (2021). Constitucionalismo latino-americano e o Buen Vivir: os objetivos de desenvolvimento sustentável como diretrizes para a provisão de saneamento Direito 18(98). serviços. Público, <https://doi.org/10.11117/rdp.v18i98.4974>.

CODEPLAN. (2020). Atlas do Distrito Federal 2020: Capítulo 2. Retrieved August 15, 2023, de <https://www.codeplan.df.gov.br/atlas-do-distrito-federal-2020/>

CODEPLAN. (2021a). Relatório SCIA/Estrutural - PDAD 2021. Retrieved April 15, 2023, from <https://www.ipe.df.gov.br/wp-content/uploads/2022/05/SCIA-2021.pdf>

CODEPLAN. (2021b). Relatório Chácara Santa Luzia farm sector - PDAD 2021. Retrieved 15, https://www.ipe.df.gov.br/wp-content/uploads/2022/05/Chacara_Santa_Luzia-2021.pdf de April 2023, content

CONAMA. (2008, 3 de abril). Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. Estabelece a classificação e as diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Nacional Ambiental de Conselho. Recuperado https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=545.

Connor, R., & Coates, D. (2021). O estado dos recursos hídricos. Em Nações Unidas, Relatório das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Mundial da Água de 2021: Valorizando a água (pp. [números de página, se disponíveis]). UNESCO.

Cruvinel, VRN, Marques, CP, Cardoso, V., & et al. (2019). Condições de saúde e riscos ocupacionais em um novo grupo: catadores no maior depósito de lixo a céu aberto da América Latina. BMC Saúde Pública, 19(1), 581. <https://doi.org/10.1186/s12889-019-6879-x>

Cruvinel, VRN, Domingues, AGD, Zaneti, ICBB, Abreu, LM, & Nolasco, ER (2017). Água, meio ambiente e saúde: O impacto do lixão a céu aberto em Brasília-DF, Brasil. XVI Congresso Mundial da Água, Cancún - México.

El-Fadel, M., Findikakis, AN, & Leckie, J. (1997). Impactos ambientais da deposição de resíduos sólidos em aterros sanitários. Gestão de resíduos, 1-25, Ambiental 50, <https://doi.org/10.1006/jema.1995.0131>. Acessado em 15 de abril de 2023.

Fiocruz. (2018). Saneamento: Entre os direitos humanos, a justiça ambiental e a promoção da saúde (Série Fiocruz - Documentos Institucionais, Coleção Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade). Oswaldo Cruz Foundation. https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/46304/06_saneamento.pdf;jsession=C35A7B64A804511CCEDF0586D48B461D?sequence=2. Acessado em 15 de abril de 2023.

Han, Z., Ma, H., Shi, G., He, L., Wei, L., & Shi, Q. (2016). Uma revisão da contaminação das águas subterrâneas perto de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos na China. Science of The Total Environment, 569–570, 1255–1264. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.201>. Acessado em 8 de novembro de 2023.

Hirata, R., Suhogusoff, A., Susko Marcellini, S., Villar, PC e Marcellini, L. (2019). Como águas



subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil. Universidade de São Paulo / Instituto de Geociências. <https://doi.org/10.11606/9788563124074>.

Khatri, N., Tyagi, S., & Rawtani, D. (2017). Estratégias recentes para a remoção de ferro da água: uma revisão. *Journal of Water Process Engineering*, 19, 291–304. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.08.015>. Acessado em 8 de dezembro de 2023.

Lougon, MS, et al. (2009–2010). Caracterização de sólidos totais, fixos e voláteis em águas residuárias geradas pela lavagem de frutos de café. UFES - Departamento de Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Jerônimo Monteiro, ES.

Mesquita, K. F., Santos, M. D., Pereira, J. A., & Silva, M. J. (2016). Avaliação da concentração de metais da água subterrânea consumida em comunidades amazônicas brasileiras. *Ciência & Engenharia (Science & Engineering Journal)*, 91–96. 25(1), <https://seer.ufu.br/index.php/cieng/article/view/27713/18976>. Acessado em 8 de dezembro de 2023.

Milman, N. (14 de abril de 2021). Gerenciando a hemocromatose genética: Uma visão geral das medidas dietéticas que podem reduzir a absorção intestinal de ferro em indivíduos com sobrecarga de ferro. *Gastroenterologia América. Pesquisar, Norte* <https://www.gastrores.org/index.php/Gastrores/article/view/1366>. Recuperado em 6 de dezembro de 2023.

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. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 21(1), 169–182. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016000100009>.

Przydatek, G., & Kanownik, W. (2019). Impacto de um pequeno aterro de resíduos sólidos urbanos na qualidade das águas subterrâneas. *Monitoramento e Avaliação Ambiental*, 191, 169. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7446-5>.

Santos, DRV, et al. (2022). Saúde e doença hídrica: uma revisão sistemática sobre doenças transmitidas pela água em comunidades indígenas no Brasil. *Revista Científica do UniRios*, 226-246. Recuperado em 2023, de dezembro 11, <https://www.publicacoes.unirios.edu.br/index.php/revistarios/article/view/173/173>.

Secretaria de Estado de Ordenamento do Território e Habitação. (2017). Vulnerabilidade social, diversificação da base produtiva e provisão de equipamentos públicos comunitários no Distrito Federal [slides de PowerPoint]. Recuperado em 25 de setembro de 2020, de http://www.seduh.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2017/10/Leitura-Territorial_LUOS_PPCUB_ZEE_agosto.pdf

Silva Rezende, V., Souza de Andrade, LM, Evangelista Rodrigues, S., Phellipe Pomares Pereira, Í., & Lemos, N. da S. (2020). The urban ecosystem of the Santa Luzia settlement: Analysis of impacts through geoprocessing techniques and proposal of nature-based solutions. *Paranoá*, 26, 219–240. <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n26.2020.15>. Recuperado em 20 de setembro de 2023, de <https://www.periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/29585>

Silvério, HLM, Dias, JT, Santos, AP, Araújo, ML de, & Ferreira, NL (2024). Food



insegurança e acesso irregular à água potável: Um panorama da realidade brasileira. *Revista Brasileira de Estudos de População*, 41, e0264. <https://doi.org/10.20947/S0102-3098a0264>

Van Niekerk, H., Silberbauer, MJ, & Maluleke, M. (2014). Diferenças geográficas na relação entre sólidos dissolvidos totais e condutividade elétrica em rios sul-africanos. *Water SA*, 40(1), 133–137. <https://doi.org/10.4314/wsa.v40i1.15>.

Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos. (2022). Relatório das cidades mundiais 2022: Visualizando o futuro das cidades. Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos. <https://unhabitat.org/wcr>.

Organização das Nações Unidas (ONU). (2015). 17 objetivos para transformar o nosso mundo. Recuperado em 7 de maio de 2015. 2023, de <https://nacoesunidas.org/pos2015/>

Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF). (2023). Múltiplas dimensões da pobreza infantil no Brasil. UNICEF. <https://www.unicef.org/brazil/media/27216/file/multiple-dimensions-of-child-poverty-in-brazil.pdf>

Organização Mundial da Saúde (OMS) e Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF). (2017). Progresso em água potável, saneamento e higiene: atualização de 2017 e linhas de base dos ODS. Organização Mundial da Saúde. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/258617/9789241512893-eng.pdf?sequence=1>.

Organização Mundial da Saúde (OMS). (1996). Diretrizes para a qualidade da água potável (2ª ed., Vol. 2: Critérios de saúde e outras informações complementares). Organização Mundial da Saúde.

Xin, J., Liu, Y., Chen, F., Duan, Y., Wei, G., Zheng, X., & Li, M. (2019). Os pedaços de nitrogênio que faltam: Uma revisão crítica sobre a distribuição, transformação e orçamento de nitrogênio na zona vadosa - águas subterrâneas. *Water Research*, 165, 114977. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114977>. Acessado em 6 de de 2023.

Zheng, Q., Zhao, Y., Guo, J., Zhao, S., Song, L., Fei, C., Zhang, Z., Xiao, L., & Chang, C. (2017). A sobrecarga de ferro promove a apoptose eritroide por meio da regulação da via de sinalização HIF-1a/ROS em pacientes com síndrome mielodisplásica. *Leukemia Research*, 58, 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.leukres.2017.04.005>.