

## PRESEÇA DE POLUENTES DE LIXIVIADO NO SOLO E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM LOCAIS DE DISPOSIÇÃO INADEQUADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL: REVISÃO DA LITERATURA

### PRESENCE OF LEACHATE POLLUTANTS IN SOIL AND GROUND WATER AT SITES OF INADEQUATE SOLID WASTE DISPOSAL IN BRAZIL: LITERATURE REVIEW

Layla Ferraz Aquino<sup>a</sup>, Iago Antão Sabença Cruz<sup>a</sup>, Giulianna Teixeira Lopes<sup>a</sup>,  
Camille Ferreira Mannarino<sup>b</sup>, Elisabeth Ritter<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, <sup>b</sup>Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca – ENSP/FIOCRUZ

[laylaferrazaquino@hotmail.com](mailto:laylaferrazaquino@hotmail.com), [iago.antaosc@gmail.com](mailto:iago.antaosc@gmail.com), [giulilopes@hotmail.com](mailto:giulilopes@hotmail.com), [camille.mannarino@gmail.com](mailto:camille.mannarino@gmail.com),  
[ritteruerj@gmail.com](mailto:ritteruerj@gmail.com)

Submissão: 22 de fevereiro de 2022

Aceitação: 27 de junho de 2022

#### Resumo

A disposição de resíduos sólidos no solo de forma inadequada ainda é uma realidade em muitos municípios brasileiros. Segundo dados no SNIS de 2021, 54,9% das áreas de disposição de resíduos são lixões. A falta de remediação dessas áreas pós encerramento pode causar danos à saúde pública ao contaminar as águas subterrâneas através da infiltração de lixiviado pelo solo. Esse trabalho teve como objetivo analisar e organizar dados referentes a trabalhos de campo realizados em áreas de disposição de resíduos sólido. A consulta partiu de um material suplementar publicado em artigo em 2021 e foi complementada com busca nas bases de dados Science Direct, SciELO, Biblioteca Brasileira de Teses e Dissertações e Google Acadêmico, para o período de 01 de janeiro de 2020, a 01 janeiro de 2022. Ao todo foram 111 trabalhos selecionados, que geraram 254 grupos de dados referentes a água superficial, água subterrânea, lixiviado e solos superficiais, em profundidade e sedimentos. Foram selecionados os trabalhos que realizaram análises em mais de um meio (lixiviado, solo e/ou água subterrânea), isso reduziu o número de publicações para 31 trabalhos. Em seguida foi aplicado um novo filtro selecionando apenas os que realizaram mais de quatro campanhas de coletas de amostras, foram discutidos os dados gerados por 11 trabalhos. Os parâmetros que mais se destacaram nas análises de lixiviado, predominantemente alcalino, foram a condutividade, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), o nitrogênio amoniacal e o cloreto. As amostras de água subterrânea apresentaram altos valores de condutividade e cloreto. Alguns íons de interesse para a identificação gerada pela contaminação por lixiviado como Na, K, Mg e Ca não possuem valores de referência de qualidade (VRQ) orientados pela Legislação, o que compromete a discussão dos resultados. Os diferentes solos de cada sítio contaminado foram amostrados nas áreas de influência da contaminação por lixiviado e apresentaram concentrações acima do permitido pela legislação para alguns metais como Cd, Cr, Cu e Zn. É possível notar que o lixiviado exerceu influência na natureza do solo e água subterrânea amostrados.

**Palavras-chave:** Lixões, aterros controlados, lixiviação, contaminação.

#### Abstract

The inadequate disposal of solid waste in the soil is still a reality in many Brazilian municipalities. According to data from the 2021 SNIS, 54.9% of waste disposal areas are dumps. Failure to remediate these post-closure areas can damage public health by contaminating groundwater through infiltration of leachate through the soil. This work aimed to analyze and organize data referring to field work carried out in solid waste disposal areas. The consultation started from the supplementary material published in article in 2021 and was complemented with a search in the Science Direct, SciELO, Brazilian Library of Theses and Dissertations and Google Scholar

databases, for the period from January 1, 2020, to January 01 2022. In all, 111 works were selected, which generated 254 groups of data referring to surface water, groundwater, leachate and surface soils, in depth and sediments. Papers that performed analyzes in more than one medium (leachate, soil and/or groundwater) were selected, which reduced the number of publications to 31 papers. Then a new filter was applied, selecting only those who carried out more than four campaigns of sample collection, the data generated by 11 works were discussed. The parameters that stood out the most in the leachate analysis, predominantly alkaline, were conductivity biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), ammonia nitrogen and chloride. The groundwater samples showed high values of conductivity and chloride. Some ions of interest for the quality benchmarks identification generated by contamination by leachate such as Na, K, Mg and Ca do not have VRQ guided by the Legislation, which compromises the discussion of the results. The different soils of each contaminated site were sampled in the areas of influence of the leachate contamination and presented concentrations above the allowed by the legislation for some metals such as Cd, Cr, Cu and Zn. Considering the reference values of the Legislation, it is possible to notice that the leachate exerted an influence on the nature of the soil and groundwater sampled.

**Key words:** Leachate, soil, groundwater, contamination.

## INTRODUÇÃO

O aumento na geração de resíduos sólidos está diretamente ligado ao desenvolvimento da sociedade. A forma com que a população e o governo lidam com a disposição desses resíduos é um tema que tem ganhado relevância com a consolidação da conscientização ambiental e da legislação (ALZAMORA, 2020). Segundo a Associação Internacional de Resíduos Sólidos (ISWA, 2016) 40% de todos os resíduos gerados no mundo são dispostos diretamente no solo em lixões. Principalmente em países em desenvolvimento, essa disposição inadequada gera problemas na saúde pública e ambiental (VACCARI, 2019). A geração de lixiviado e gases nas áreas de disposição final de resíduos continua, mesmo após o encerramento das atividades do local. A qualidade do solo e da água subterrânea pode ser diretamente afetada quando não são implementadas proteções de fundação com geomembranas e drenos de captação de lixiviado; em geral camadas de cobertura eficientes são executadas somente ao final da operação dos mesmos (VAN TURNHOUT, 2018).

No Brasil, após a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010) foi proposto que houvesse o encerramento de todas as áreas de lixão e aterros controlados do país. Os pequenos municípios esbarram com questões políticas na formação de consórcios e a contratação de empresas especializadas é onerosa (HEBER e SILVA, 2014). Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2020) houve uma mudança pouco significativa entre a quantidade de resíduos dispostos em lixões entre

2010, ano da publicação da PNRS e 2019. Segundo dados do panorama de 2019, as porcentagens de disposição de resíduos em aterros sanitários nas regiões Sul (70,6%) e Sudeste (72,7%) foram majoritárias. As regiões Centro-Oeste (41,3%), Nordeste (35,6%) e Norte (35%) dispuseram a maior parte dos seus resíduos de maneira inapropriada em aterros controlados e lixões.

Em 15 julho de 2020, o Senado Federal aprovou a Lei nº 14.026, que se refere a atualização do Marco do Saneamento Básico, que prevê a extinção progressiva considerando o porte do município, de todos os aterros irregulares até 2024 (BRASIL, 2020). Ressalte-se que a interrupção da operação não implica necessariamente na imediata remediação deles. O diagnóstico para a remediação desses locais depende da realização de um monitoramento no local para identificar e quantificar a contaminação gerada e o alcance disso. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS, 2021) 54,9% de áreas por tipo de destinação representam lixões e 21,9% aterros controlados. Isso corresponde a 1.545 unidades de áreas classificadas como lixões e 617 aterros controlados espalhadas pelo país. Convertendo essas porcentagens em quantidade de resíduos dispostos, são 17,1 milhões de toneladas encaminhadas para áreas inadequadas. O abandono das áreas de disposição inadequada de resíduos, após o seu encerramento, a falta de fiscalização e monitoramento ambiental desses locais e as lacunas na legislação referentes a parâmetros de interesse no diagnóstico de contaminação dessa atividade são questões relevantes e que precisam ser revistas pelos

órgãos ambientais competentes.

Com o adensamento populacional, antigas áreas de disposição de resíduos não remediadas podem ser ocupadas ou cercadas por loteamentos. A dificuldade em realizar ensaios para análises físico-químicas do lixiviado nesses locais é grande, pois a ausência de drenagem do lixiviado faz com que as coletas de material sejam feitas de maneira indireta, interferindo na identificação do passivo ambiental (SHINZATO, 2014). As produções científicas a respeito da investigação ambiental não contam com uma metodologia consolidada e a abordagem de ensaios de água superficial, água subterrânea, solo e ensaios geofísicos não segue um padrão. Estudos onde ensaios geofísicos ou a elaboração de mapa potenciométrico são realizados, antes da instalação de poços de monitoramento e da demarcação de pontos de amostragem, indicam a direção do fluxo subterrâneo e podem gerar dados mais representativos. Deste modo, os resultados poderiam auxiliar as autoridades locais na tomada de decisão.

Entender o risco relacionado a contaminação ambiental gerada por áreas de disposição de resíduos sólidos e o alcance dessa contaminação é fundamental para que medidas de mitigação possam ser adotadas (VACCARI, 2018). Visando o entendimento mais abrangente a respeito dessas áreas no Brasil e seus impactos no ambiente, o trabalho teve como objetivo avaliar a presença de poluentes de lixiviado de resíduos sólidos a partir de lixões e aterros controlados no Brasil para o solo e água subterrânea comparando os resultados das análises realizadas com os valores previstos pela Legislação, baseado em trabalhos científicos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para o levantamento dos trabalhos utilizados, foi realizada uma pesquisa por palavra-chave simples nas bases de dados Science Direct, SciELO, Biblioteca Brasileira de Teses e Dissertações e Google Acadêmico. A janela de busca foi de 01 de janeiro de 2020, a 01 janeiro de 2022. As palavras-chaves utilizadas foram: *Brasil, lixões, lixão, aterro, resíduos sólidos, disposição final de resíduos sólidos, depósito de resíduos, Brazil, dumpsites, open dump, landfill, solid waste, waste disposal, waste deposit*. Esses critérios foram adotados para dar sequência aos trabalhos selecionados e escrutinados do material

suplementar da publicação de MORITA et al. (2021).

Foram selecionados 111 trabalhos entre Teses, Dissertações, Artigos e Trabalhos de congresso que apresentavam resultados de análises físico-químicas de amostras de água, lixiviado e solo coletadas no campo.

A partir dos trabalhos salvos, foram elaboradas três planilhas no programa Microsoft Excel 365, alimentadas com os resultados das análises físico-químicas do lixiviado, das águas subterrâneas e dos solos. Nessas planilhas foram descritos os autores e o ano da publicação; o tipo de disposição da área: lixão, aterro controlado, e um aterro sanitário de pequeno porte (em relação ao aterro sanitário de pequeno porte, esse foi selecionado por não ter sido realizada a impermeabilização do solo; por conta disso a presença de contaminação exercida pelo lixiviado foi analisada); a situação da área (em atividade ou encerrada); o ano de encerramento; o estado onde a área do estudo está localizada e o número de campanhas realizadas e amostras coletadas.

Alguns filtros foram aplicados para trabalhar os dados; foram selecionados os trabalhos que realizaram análises em mais de um compartimento ambiental (lixiviado, água subterrânea e solo) com o objetivo de gerar uma análise mais consistente sobre a área e fazer correlações entre os resultados dos parâmetros. Foram selecionados, posteriormente, os trabalhos que realizaram quatro campanhas ou mais para análise de água subterrânea e lixiviado; o objetivo foi ter resultados mais representativos, levando em consideração a variação pluviométrica ao longo do ano, o que pode interferir nos resultados. Os solos considerados como solos superficiais são provenientes de amostragens a trado até 1,0m de profundidade e os solos em profundidade foram coletados a partir de 1,5m. Na figura 1 foram apresentadas as etapas de seleção dos trabalhos utilizados. Não foi possível realizar o tratamento estatístico dos dados por se tratar de pontos de coleta e campanhas distintas, não sendo passível para médias ou desvio padrão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

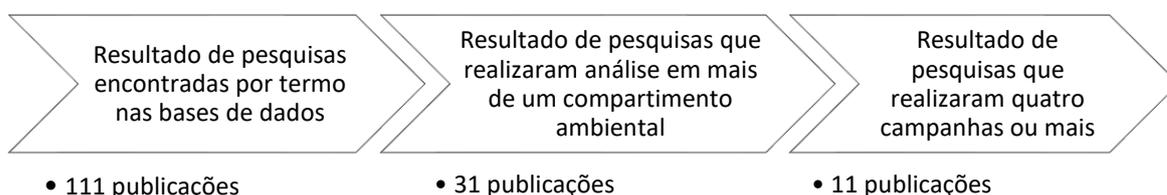
Os 111 trabalhos selecionados geraram 254 grupos de dados. Os grupos de dados são todos os valores de máxima e mínima concentração apresentados, referentes a cada um dos parâmetros analisados em cada trabalho para cada compartimento ambiental; águas

subterrâneas, lixiviado e solo. A divergência entre o número de trabalhos e grupos de dados se dá pela realização de análises em mais de um compartimento ambiental no mesmo trabalho (análise de água, lixiviado, solo) ou em mais de uma área de disposição de resíduos na mesma pesquisa. Os resultados das análises foram divididos em tabelas referentes aos parâmetros físico-químicos do lixiviado, das águas subterrâneas, águas superficiais e dos solos. Dentre as pesquisas selecionadas a água subterrânea foi o meio mais investigado, tendo resultados apresentados em todas as pesquisas.

O lixiviado foi analisado em oito trabalhos e o solo em cinco estudos. Dois autores realizaram ensaios tanto em amostras de solo superficial, quanto em amostras de solo em profundidade.

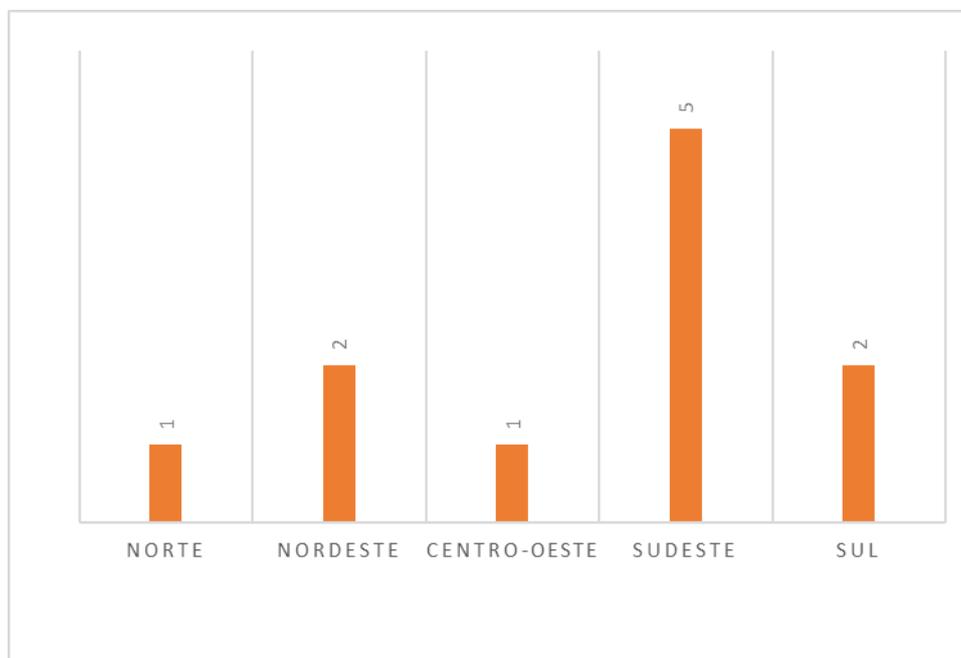
Na Figura 2 está apresentada a distribuição geográfica dos trabalhos selecionados com quatro campanhas ou mais que apresentaram análises em mais de um meio (lixiviado, solo e/ ou água subterrânea). A concentração de pesquisas realizadas na região Sudeste é superior em relação as outras regiões, tendo 2 trabalhos realizados no Estado de São Paulo e 3 no Rio de Janeiro.

**Figura 1-** Fluxograma das etapas de seleção dos trabalhos.



Fonte: A autora (2022).

**Figura 2-** Distribuição regional dos trabalhos selecionados.



Fonte: A autora (2022).

Dois aspectos em relação a esses resultados são relevantes: a região Sudeste foi a que mais realizou trabalhos integrados investigando mais de

um compartimento ambiental para identificar a contaminação gerada pelos resíduos sólidos; essa região também é a responsável pela maior

geração de resíduos no país, com consequente maior concentração de áreas de disposição final. Outro aspecto é que as porcentagens predominantes de áreas inadequadas de disposição final de resíduos que seguem em funcionamento estão localizadas nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste (SNIS, 2021); se observa que a realização de estudos foi inferior nessas regiões.

O número de teses representa 81,8% dos trabalhos, o que não surpreende visto que a execução de análises ambientais em meios variados requer tempo, recursos e a necessidade de uma discussão criteriosa dos resultados. Entre os trabalhos que atenderam ao filtro proposto nessa pesquisa, em sua maioria, monitoraram suas áreas de interesse durante alguns meses. A variação do índice pluviométrico da região é a razão dessa tomada de decisão e justifica a realização dessas coletas. No caso das 11 pesquisas selecionadas para a discussão dos resultados, 9 são teses de doutoramento, uma é dissertação de mestrado e uma é artigo científico. Isso demonstra que, o monitoramento de áreas de disposição de resíduos sólidos para gerar dados significativos, com coletas de múltiplos meios e elaboração de uma linha do tempo gerada pela pluma de contaminantes, não é frequente e acessível e sendo realizada predominantemente no meio acadêmico. Os órgãos públicos, gestores da disposição final na maioria das situações, deveriam exercer um controle mais efetivo.

Na Tabela 1 estão apresentados os valores dos parâmetros físico-químicos analisados nas amostras de lixiviado. As concentrações que apresentaram resultados acima do descrito pela legislação, foram destacadas em vermelho. A Legislação CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), para águas de tipo 3, que se refere ao descarte de efluentes líquidos, foi adotada, para avaliar potencial hidrogeniônico (pH), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e nitrogênio amoniacal ( $N-NH_3$ ), na ausência de uma legislação específica para lixiviado. Em relação ao potencial hidrogeniônico (pH), com exceção de uma pesquisa, todos os valores ficaram na faixa estabelecida. Em SOUTO (2009) foi elaborada uma tabela com características do lixiviado brasileiro, baseada no compilado de 168 publicações referentes a 38 aterros no país. A faixa de pH apresentada varia de 5,64-9,27 abrangendo todos os resultados analisados.

Em relação à condutividade, a faixa verificada nos trabalhos analisados por SOUTO (2009) varia

de 100-45.000  $mS.cm^{-1}$ ; observa-se que é uma faixa muito ampla, e, consequentemente, todos os estudos apresentaram resultados dentro do esperado para amostras de lixiviado. Entre as pesquisas apresentadas na Tabela 1, a que encontrou o maior valor de condutividade foi a de RITTER et al. (2010); a condutividade ficou na faixa de 11.000-34.000  $mS.cm^{-1}$ . A autora ressaltou que a disposição de algas marinhas presentes em sedimento dragado da lagoa da região, e que foram vazadas no lixão localizado na cidade de São Pedro da Aldeia, no estado do Rio de Janeiro, pode ter potencializado os altos valores de condutividade. A área de disposição se trata de um lixão que operou de 1990 a 2008 e recebia cerca de 1.900 t/mês de resíduos sólidos. Em geral, altos valores encontrados para esse parâmetro estão diretamente relacionados à presença de íons em solução. Esses íons são abundantes no lixiviado e podem sofrer variação nas suas concentrações em relação à sazonalidade da área. Em períodos de chuva e com a infiltração de água no maciço de resíduos, ocorre a maior solubilização dos íons e o lixiviado apresenta valores mais baixos de condutividade.

Os valores descritos por SOUTO (2009) para demanda química de oxigênio (DQO) ficaram na faixa de 20-100.000  $mg.L^{-1}$  onde a maior concentração (32.208  $mg.L^{-1}$ ) e a menor (40  $mg.L^{-1}$ ) encontradas por TANDEL (1998) em um aterro controlado encerrado na cidade de Rio Claro (SP).

Os valores de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) demonstrados por SOUTO (2009) foram de 1 - 55.000  $mg.L^{-1}$ . O trabalho que apresentou o maior valor de DBO na Tabela 1 foi o de TANDEL (1998), com a concentração máxima medida de 26.900  $mg.L^{-1}$ . Todos os trabalhos apresentaram valores acima do permitido pela Legislação, que é igual a 10  $mg.L^{-1}$  para emissão de efluentes líquidos.

O cloreto na tabela de SOUTO (2009) variou nas concentrações de 20-6.900  $mg.L^{-1}$ . Neste trabalho a maior concentração foi apresentada por RITTER et al. (2010) e foi igual a 13.800  $mg.L^{-1}$ . Todos os valores apresentaram concentrações acima do estabelecido pela Legislação, de 250  $mg.L^{-1}$ , indicando mais uma vez a situação excepcional da presença das algas.

O nitrogênio amoniacal ficou na faixa de 0,03-3.000  $mg.L^{-1}$  (SOUTO, 2009), entre as pesquisas analisadas a que apresentou a maior concentração de 1.622,3  $mg.L^{-1}$  foi REY (2020), apresentando pesquisa realizada no Aterro Controlado do Jôquei Clube de Brasília, encerrado em 2018.

Magnésio, cálcio, sódio e potássio não possuem valores orientadores na CONAMA 357/2005 e não foram analisados por SOUTO (2009). Vale ressaltar que a presença desses íons em solução é um indicativo de contaminação, pois contribui para a elevação da salinidade. Por conta disso, o monitoramento das suas concentrações tem relevância no estudo ambiental de áreas impactadas pela disposição de resíduos sólidos.

Na tabela 1, as concentrações mais altas relatadas para esses íons foram de: 730 mg.L<sup>-1</sup> de Mg, 872,4 mg.L<sup>-1</sup> de Ca e 2.940 mg.L<sup>-1</sup> de K, encontrado por LIMA (2003), realizadas no lixão de São Pedro da Aldeia (RJ). Uma concentração maior de 5700 mg L<sup>-1</sup> referente ao sódio (RITTER et al.,2010), é encontrada em pesquisa realizada no mesmo lixão, indicando novamente a presença de algas.

**Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos analisados nas amostras de lixiviado.**

A <sup>1</sup>	SA <sup>2</sup>	AE <sup>3</sup>	E <sup>4</sup>	pH	C <sup>5</sup>	DQO	DBO	N-NH <sub>3</sub> <sup>+</sup>	Cl	Na	Ca	Mg	K
								13,3 para pH<7,5					
CONAMA 357, Águas Tipo 3				6,0- 9,0			10	5,6 7,5<pH<8,0	250				
								2,2 8,0<pH<8,5					
								1,0 pH>8,5					
TANDEL,1 998	ACE	1997	SP	8,15- 5,64	25.976- 13.248	32.208- 1.959,8	26.900- 90						
MORALES , 2002	L	2015	PA	8,8- 7,4	14.000- 5.400	4.000- 588	1.071- 376	88-50	1.259- 230	600- 252	102- 40	60- 11	731- 398
LIMA, 2003	L	2008	RJ	7,6- 6,38	19.340- 1.078				7.980- 5.880	5.680- 3.620	520- 352,3	362- 176	2.94 0- 920
RITTER et al., 2010	LE	2008	RJ	7,5- 7,2	34.000- 11.000				13.800- 8.000	5.700- 3.700			2.60 0- 900
MENDON ÇA, 2012	LE	2004	RN	8,3- 7,4		390,62- 290,69	323,66- 262,01						
SHINZATO , 2014	LE	2011	SP	8,1- 6,7	7.340- 4,77	1.432- 68	1.333- 399	171-18	530-161	357- 12	300- 46	39-8	368- 17
SILVA, 2019	LE	2010	AL	8,54- 7,13	16.021- 5.930	6.400- 52	2.860- 30	532-1,43					
REY, 2020	LE	2018	DF	8,54- 7,04	14.030- 1.940			1.622,3- 31,95	2.902,36- 1.19,49				

Legenda: A<sup>1</sup>: Autor; SA<sup>2</sup>: Situação da área; AE<sup>3</sup>: Ano de encerramento; E<sup>4</sup>: Estado; C<sup>5</sup>: condutividade; pH: potencial hidrogeniônico; DQO: demanda química de oxigênio; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; N-NH<sub>3</sub><sup>+</sup>: nitrogênio amoniacal; Cl: cloreto; Na: sódio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; K: potássio; L: Lixão; LE: Lixão encerrado; AC: Aterro controlado e ACE: Aterro controlado encerrado.

\*Observação: Condutividade expressa em mS.cm<sup>-1</sup>; pH adimensional; os demais parâmetros expressos em mg.L<sup>-1</sup>.  
Fonte: A autora (2022).

Os valores indicados por EHRIG (1989) trazem algumas faixas características para esses íons. Em relação ao Magnésio, Potássio, Cálcio e Sódio as faixas de concentração foram: 40 - 1.150 mg.L<sup>-1</sup>; 10 - 2.500 mg.L<sup>-1</sup>; 10 - 2.500 mg.L<sup>-1</sup>; 50 - 4.000 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente. Dentre os valores discutidos anteriormente, tanto o Ca como o Na apresentaram resultados acima dos indicados pela tabela de EHRIG; magnésio e manganês ficaram dentro das faixas, o que corrobora as altas concentrações desses elementos no lixiviado e a necessidade do estabelecimento de valores de referência de qualidade (VRQ) desses parâmetros tanto pela CONAMA 357/2005, quanto pela CONAMA 420/2009.

Vale ressaltar que a concentração de alguns íons se altera em relação a fase de degradação do aterro. O cálcio, magnésio, manganês e o ferro geralmente apresentam valores mais altos de concentração na fase ácida, enquanto na fase metanogênica o aumento do pH favorece a

diminuição da sua mobilidade. Outros como cloreto (Cl<sup>-</sup>), sódio (Na), potássio (K) não apresentam alterações significativas nos seus valores durante a mudança de fases, e as altas concentrações desses íons são produto da lixiviação direta e das suas elevadas solubilidades (SANTO FILHO, 2001).

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados das análises de metais para o lixiviado; os valores foram comparados ao estabelecido pela CONAMA 357/2005. Na primeira linha da tabela estão indicados os VRQ e as concentrações que excedem o limite foram destacadas em vermelho.

Em relação ao alumínio, foram relatados quatro pesquisas apresentando valores acima do recomendado, sendo a maior concentração igual a 8,2 mg.L<sup>-1</sup>, encontrada por SHINZATO (2014) em um lixão desativado em São Carlos (SP); o Fe também apresentou a maior concentração nesse local (44mg.L<sup>-1</sup>).

**Tabela 2 –** Concentrações de metais analisados nas amostras de lixiviado.

A <sup>1</sup>	SA <sup>2</sup>	AE <sup>3</sup>	E <sup>4</sup>	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	Cd
CONAMA 357				0,2*	15,0	1,0	5,0	0,5	1,0	0,5	2,0	0,2
TANDEL, 1998	ACE	1997	SP				11,8-0,06	0,458-<0,05	0,140-ND			0,03-<0,01
MORALES, 2002	L	2015	PA		0,01 04-0,00 37	0,2-0,01	0,25-0,04	0,1-<1,0	0,1-0,01	0,1-0,03	0,1-0,01	0,09-0,002
LIMA, 2003	L	2008	RJ	0,025-0,0054	9,8-6,3	7,71-3,4						
SHINZATO, 2014	LE	2011	SP	8,2-0,5	44-0,6	1,54-0,2	1,38-nd	0,52-0,05	0,274-0,008	0,24-0,01	0,37-0,05	0,09-0,002
SILVA, 2019	LE	2010	AL	0,37-0,05	4,21-0,75 6	0,22-0,03 8	0,322-0,036		0,202-0,033	9-0,01 7	0,101-0,002	
REY, 2020	LE	2018	DF		4,03-0,04		3,43-nd					

Legenda: A<sup>1</sup>: Autor; SA<sup>2</sup>: Situação da área; AE<sup>3</sup>: Ano de encerramento; Al: alumínio; Fe: ferro; Mn: manganês; Zn: zinco; Pb: Chumbo; Cu: cobre; Cr: cromo; Ni: níquel; Cd: cádmio; E<sup>4</sup>: Estado; L: Lixão; LE: Lixão encerrado; AC: Aterro controlado e ACE: Aterro controlado encerrado.

\*Observação: Todos os parâmetros expressos em mg.L<sup>-1</sup>. Fonte: A autora (2022).

Em relação aos metais amplamente discutidos e analisados em lixiviado, as concentrações foram relativamente baixas, confirmando algumas referências (CHRISTENSEN, 2001 e KJELDSEN, 2002), que pode estar relacionado às fases de degradação dos resíduos sólidos das áreas estudadas. Tanto a sorção como a precipitação são mecanismos responsáveis pela diminuição na concentração dos metais presente no lixiviado. Valores de pH neutro e alcalino são um indicativo da fase metanogênica, que afeta diretamente na mobilidade dos metais favorecendo a formação de complexos insolúveis (KJELDSEN, 2002). A concentração elevada de matéria orgânica

proveniente da degradação dos resíduos também favorece a imobilização desses metais (MEURER et al., 2004).

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados das análises em solos superficiais e em profundidade, e os valores foram comparados aos indicados pela Decisão de Diretoria n.º 125/2021/E, de 09 de dezembro de 2021 da CETESB. Na primeira linha tabela, e na cor azul, os VRQ, e na segunda linha e na cor vermelha os Valores de Prevenção (VP). Os parâmetros que apresentaram resultados acima do indicado pela Legislação estão destacados na cor correspondente.

**Tabela 3 – Concentração de metais analisados nas amostras de solo.**

A	SA	AE	E	S	pH	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Cd
VRQ CETESB								60	17	35	40	<0,5
VP CETESB								86	72	60	75	1,3
TANDEL, 1998	ACE	1997	SP	P				26,0- 1,0	<2,0			<0,1
SHINZATO, 2014	LE	2011	SP	S	6,8	38	0,1	0,1	0,08	0,02		0,045
SHINZATO, 2014	LE	2011	SP	P	8,1- 8,0	2,8-0,6	0,3- 0,2	1,3- 0,2	0,26 -		0,01	0,58- 0,082
ZANCHETTA, 2007	LE	2003	RS	S	6,5- 6,3	93.564, 2-8.556	3.033- 343,77	179,34 -	2,8- nd	249,04- 76,38	8,75- nd	0,2-nd
SALES, 2011	LE	2009	RJ	S	7,9- 4,8	37-26	36-6,0	70,3- 2,6		17-0,4		
BORBA, 2019	ASP	Ativo	RS	S	5,2- 4,4			55,8-0		107,1-0	618,5- 370,7	1.368- 0
BORBA, 2019	ASP	Ativo	RS	P	5,1- 4,7			69,4-0		257,4-0	641,8- 506	990-0

Legenda: A<sup>1</sup>: Autor; SA<sup>2</sup>: Situação da área; AE<sup>3</sup>: Ano de encerramento; E<sup>4</sup>: Estado; L: Lixão; LE: Lixão encerrado; AC: Aterro controlado e ACE: Aterro controlado encerrado; ASP: Aterro sanitário de pequeno porte; P: solo em profundidade e S: solo superficial; pH: potencial hidrogeniônico; Fe: ferro; Mn: manganês; Zn: zinco; Pb: Chumbo; Cu: cobre; Cr: cromo; Ni: níquel; Cd: cádmio. \*Observação: Todos os parâmetros expressos em mg.kg<sup>-1</sup>. Fonte: A autora (2022).

A pesquisa de ZANCHETTA (2007) se destacou por apresentar concentrações elevadas para alguns metais em um lixão situado em

Cáceres (RS); especialmente em relação ao Fe o valor encontrado foi de 93.564,82 mg.kg<sup>-1</sup>, nas amostras de solo superficial. A Legislação não

apresenta valores de referência para esse elemento. Por se tratar de um metal abundante nos solos brasileiros, as discussões que diferem a concentração proveniente da contaminação por resíduos e as condições naturais do solo ficam prejudicadas. As concentrações de Mn mais elevadas foram de  $3.033 \text{ mg.kg}^{-1}$ , nas amostras de solo superficial. Ambas não possuem VRQ. Segundo dados referentes a classificação de risco a saúde humana (ATSDR, 2005), valores que excedem a concentração de  $131 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Mn oferecem riscos. Os metais Zn e Cu aparecem em altas concentrações, que ultrapassam os VP e atingindo as concentrações máximas de ( $179,35 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e ( $249,04 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) respectivamente para esses metais no solo superficial. Os valores foram discutidos pela autora como provenientes da presença dos resíduos no local sem especificar se poderiam ter sido resíduos industriais.

BORBA (2019) pesquisou um aterro sanitário de pequeno porte no Rio Grande do Sul, que não utilizou geomembrana na camada de proteção da fundação. O trabalho apresentou as concentrações mais elevadas de cromo (Cr) e cádmio (Cd), tanto para amostras de solo superficial, quanto nas amostras em profundidade. Os valores mais elevados foram  $641,8 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Cr no solo em profundidade e  $1.368 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Cd no solo superficial. O autor relaciona os altos valores encontrados como sendo provenientes da percolação do lixiviado de resíduos sólidos.

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados das análises físico-químicas nas águas subterrâneas. Para confrontar os dados foi escolhida a Portaria 888/2021 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021), que trata da qualidade da água para consumo humano. Os parâmetros que apresentaram resultados acima do VRQ foram destacados em vermelho.

Em sete estudos o pH aparece com valores abaixo do indicado pela Legislação. Em relação a condutividade, todos os trabalhos analisados apresentaram valores acima de  $100 \text{ mS.cm}^{-1}$ . Isso indica que a qualidade da água foi afetada em todas as áreas amostradas. O trabalho que apresentou o valor mais elevado de condutividade foi RITTER et al. (2010),  $13.000 \text{ mS.cm}^{-1}$ .

Entre os valores encontrados para DQO e DBO, BORBA (2019) apresentou as maiores concentrações:  $1.140 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $381 \text{ mg.L}^{-1}$  respectivamente. O valor indicado pela Legislação para DBO é no máximo  $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ , o que evidencia a alteração gerada pelos resíduos na qualidade da água subterrânea.

A concentração mais elevada de nitrogênio amoniacal foi relatada por SILVA (2019) no lixão localizado na cidade de Maceió (AL), o equivalente a  $396,7 \text{ mg.L}^{-1}$ . O mesmo autor apresentou altas concentrações desse parâmetro nas amostras de lixiviado ( $532 \text{ mg.L}^{-1}$ ). A decomposição de proteínas é responsável pela sua geração e a lixiviação é a única forma dessa substância ser removida do sistema, posto que ela não sofre degradação na fase metanogênica. Sua concentração permanece alta ao longo do tempo e por conta disso é um dos principais parâmetros indicativos de contaminação por lixiviado (KJELDSEN, 2002).

A maior concentração de cloreto foi apresentada por SILVA (2019), e seu valor foi  $534.800 \text{ mg.L}^{-1}$ . A discussão desse valor, que extrapola em mais de 2.000 vezes o limite estabelecido pela Legislação de  $250 \text{ mg.L}^{-1}$ , relaciona à contaminação gerada pelos resíduos e à proximidade da área em relação ao mar. No entanto, análises realizadas em outro poço próximo ao lixão indicaram medidas em junho 2015 de  $200 \text{ mg.L}^{-1}$  e em junho 2016 o valor era de  $174.945 \text{ mg.L}^{-1}$ . O cloreto é considerado o principal traçador de contaminação proveniente de lixiviado de aterro por não reagir quimicamente e biologicamente com nenhuma substância. É um bom parâmetro para analisar a diluição do lixiviado. Esse íon percola por todas as camadas do aterro sem sofrer atenuação (HEAVEY, 2003). Quando maior for a geração de lixiviado, maior será a concentração de cloreto dissolvido e retirado do sistema (EHRIG, 1983).

O sódio tem limite de  $200 \text{ mg.L}^{-1}$  definido no padrão de potabilidade da água. O valor indicado por LIMA (2003) é mais de 17 vezes o limite da Legislação. Em SILVA (2019) os valores de Na foram altíssimos,  $478.800 \text{ mg.L}^{-1}$ .

Em relação aos íons Mg, Ca, Na e K, LIMA (2003) foi quem apresentou as maiores concentrações:  $497 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $724 \text{ mg/L}$ ,  $3.563 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $2.514 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente. Esses resultados corroboram os altos valores de condutividade também apresentados por LIMA (2003).

Na Tabela 5 foram apresentados os valores das concentrações dos metais nas amostras de água subterrânea, os resultados foram comparados aos VRQ estabelecidos pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. Valores acima do VRQ foram indicados em vermelho.

O alumínio teve a concentração mais alta medida por SILVA, (2019), o equivalente a  $7.970$

mg.L<sup>-1</sup>. Esse valor é preocupante considerando que o ponto de coleta é bem próximo a área residencial que circunda o lixão. Análises foram realizadas em alguns poços de abastecimento da população do entorno e encontraram uma concentração máxima de 34,53 mg.L<sup>-1</sup> indicando que a contaminação gerada pelo lixão está migrando e podendo afetar

diretamente a população. Evidências científicas verificaram que o Al intervém em diversos processos neurofisiológicos responsáveis pela degeneração característica da Doença de Alzheimer (FERREIRA, 2008).

**Tabela 4 - Parâmetros físico-químicos analisados nas amostras de águas subterrâneas.**

A <sup>1</sup>	SA <sup>2</sup>	AE <sup>3</sup>	E <sup>4</sup>	pH	Condutividade	DQO	DBO	N-NH <sub>3</sub> <sup>+</sup>	Cl	Na	Ca	Mg	K
<b>Portaria 518</b>				<b>6,0 - 9,5</b>	<b>100*</b>		<b>5,0*</b>	<b>1,5</b>	<b>250</b>	<b>200</b>			
TANDEL, 1998	ACE	1997	SP	6,12-4,64	270,5-18,3	64,8-1,6		1,8-0,2	1,0-<0,05	8,0-2,0	15,7-0,5	7,0-0,1	6,8-0,7
MORALES, 2002	L	2015	PA	7,48-3,8	2.860-22,4				410-1,2	294-1,0	45-0,1	12-0,1	450-0,1
LIMA, 2003	L	2008	RJ	7,8-5,8	17.560-470				7.020-54	3.563-90	724-11,2	497-8,1	2.514-6,8
ZANCHETTA, 2007	LE	2003	RS		4.380-60,5	93,8-2,35	35,6-1,1	1,92-nd		424-3,8	239,2-5,2		431-0,7
RITTER, 2010	LE	2008	RJ	7,6-6,5	13.000-4.000				18.500-0	4.500-10			3.750-<1,0
SALES, 2011	LE	2009	RJ	6,34-6,06					840-610	580-430			
MENDONÇA, 2012	LE	2004	RN	7,2-4,2		46,87-7,69	1,2-0,19						0,015-0
SHINZATO, 2014	LE	2011	SP	7-6,8	2.084-1.067	206-118	19-11,0		235-70	76-35	57-18	17-8,0	77-38
BORBA, 2019	AC	Ativo	RS	8,51-3,41	2.288-63,6	1.140-1,09	381-0,5		424,9-1,82				
SILVA, 2019	LE	2010	AL	8,05-5,62	7.110-660	1.000-<0,02	23,2-1,9	396,7-<1,0	534.800-63.980	478.800-86.260	47-15,2	16-5,59	482-4,05
REY, 2020	LE	2018	DF	7,27-5,96	2.630-135,3			44,79-0	245,75-nd				

Legenda: A<sup>1</sup>: Autor; SA<sup>2</sup>: Situação da área; AE<sup>3</sup>: Ano de encerramento; E<sup>4</sup>: Estado; L: Lixão; LE: Lixão encerrado; AC: Aterro controlado e ACE: Aterro controlado encerrado; pH: potencial hidrogeniônico; DQO: demanda química de oxigênio; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; N-NH<sub>3</sub><sup>+</sup>: nitrogênio amoniacal; Cl: cloreto; Na: sódio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; K: potássio

\*Observação: Condutividade expressa em mS.cm<sup>-1</sup>; pH adimensional; os demais parâmetros expressos em mg.L<sup>-1</sup>.

Fonte: A autora (2022).

O Fe foi relatado por SHINZATO (2014) em maiores concentrações, e o valor máximo obtido foi de 74 mg.L<sup>-1</sup>. A autora relaciona esses valores a presença desse metal na composição dos solos locais.

A única pesquisa com valores de Zn acima do limite permitido pela Legislação de 5,0 mg.L<sup>-1</sup>, foi a de SILVA (2019). O trabalho indicou a concentração de 303 mg.L<sup>-1</sup>. Essa pesquisa também obteve os valores mais altos de

concentração de Pb, Cu e Cr: 66 mg.L<sup>-1</sup>, 64 mg.L<sup>-1</sup> e 69 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente demonstrando que a contaminação por metais na área de lixão encerrado é preocupante.

A alcalinidade do lixiviado é responsável por formar complexos e precipitados com os metais: Ca, Mg, Fe e Mn. Carbonatos e Sulfetos também são capazes de formar precipitados com: Cádmiio, Zn, Chumbo, Níquel e Cobre (CHRISTENSEN,

2000). A solubilidade dos carbonatos metálicos em muitos casos é superior à dos sulfetos metálicos. Isso gera uma atenuação dos metais diretamente influenciado pela precipitação dos sulfetos frente aos agentes de complexação. O Cromo se comporta de forma distinta; não forma precipitado de sulfeto insolúvel, mas sim com o hidróxido (BJERG, 2014) (CHRISTENSEN et al. 2001).

**Tabela 5 – Concentrações de metais analisados nas amostras de águas subterrâneas.**

A <sup>1</sup>	SA <sup>2</sup>	AE <sup>3</sup>	E <sup>4</sup>	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	Cd
Portaria 518				0,2	0,3	0,1	5,0	0,01	2,0	0,05		0,005
TANDEL, 1998	ACE	1997	SP	6,12- 4,64	17,6- 1,2	1,9- 0,2	<0,02	0,3- <0,1	<0,05	<0,05	<0,02	<0,05
SHINZATO, 2014	LE	2011	SP	0,6	74-18	1,8- 0,5	0,2- 0,1	0,33- 0,14	0,012	0,1- 0,05	0,3- 0,2	0,202- 0,051
SILVA, 2019	LE	2010	AL	7.970- 1.552	11,2- 2,9	57- 28	303- 121	66- 22	64- 24	49- 8,0		
LIMA, 2003	L	2008	RJ	1,10- <0,05	40-0,1	5,8- 0,08		<0,03				
MENDONÇA, 2012	LE	2004	RN		0,285- 0,045		0,043- 0,01		0,15- 0,007		0,05- 0	0,03- 0,01
ZANCHETTA, 2007	LE	2003	RS	12,43- nd	23,6- 0,14	5,12- nd	0,32- nd		0,25- nd			
SALES, 2011	LE	2009	RJ	0,11- 0,085	0,12- 0,085		0,18- 0,1		0,1- 0,05			

Legenda: A<sup>1</sup>: Autor; SA<sup>2</sup>: Situação da área; AE<sup>3</sup>: Ano de encerramento; E<sup>4</sup>: Estado; Al: alumínio; Fe: ferro; Mn: manganês; Zn: zinco; Pb: Chumbo; Cu: cobre; Cr: cromo; Ni: níquel; Cd: cádmio; L: Lixão; LE: Lixão encerrado; AC: Aterro controlado e ACE: Aterro controlado encerrado; P: solo em profundidade e S: solo superficial.

\*Observação: Todos os parâmetros expressos em mg.L<sup>-1</sup>. Fonte: A autora (2022).

Um parâmetro eficiente para indicar a contaminação gerada pelo lixiviado de resíduos sólidos deve: não apresentar altas concentrações no ambiente natural, ser abundante nos resíduos, ter alta solubilidade na água, não interagir físico-quimicamente com o solo e ser facilmente analisado. O cloreto, o sódio e a condutividade atendem aos critérios e são considerados bons indicativos da presença de contaminantes no ambiente.

Mesmo a condutividade tendo apresentado valores acima do recomendado para águas subterrâneas em todos os trabalhos, a discussão a respeito desse parâmetro como indicativo de

contaminação não é usual. A consolidação de VRQ pela Legislação é uma forma de assegurar que essas discussões ganhem força e os resultados gerados em campo sejam analisados com maior critério.

A identificação dos parâmetros analisados que excederam os limites previstos na Legislação são preocupantes e evidenciam a necessidade de um controle mais rigoroso em relação as áreas de disposição final encerradas no Brasil. A necessidade do estabelecimento de VRQ nos Estados não é um assunto trivial e permitiria que os dados fossem discutidos com maior rigor.

## Conclusões

A compilação e comparação com os valores de referência indicados pela Legislação de dados sobre a presença de contaminantes de lixiviado em solo e águas subterrâneas apresentados em teses, dissertações, artigos e trabalhos de congresso que realizaram trabalho de campo foi realizada a partir de 111 pesquisas selecionadas.

A maior porcentagem de pesquisas foi realizada na região Sudeste, o que já era esperado considerando a densidade demográfica e a geração de resíduos muito superior em comparação ao restante do país. Uma questão relevante é considerar que as demais regiões, com exceção da Sul e Sudeste, dispõe a maior parte dos seus resíduos de maneira inapropriada. O incentivo em estudos que analisem essas áreas contribuiria significativamente na elaboração de um panorama a nível nacional a respeito da contaminação ambiental gerada por áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos.

Os parâmetros selecionados para a discussão foram aqueles que mais apareceram nas pesquisas. Em relação ao lixiviado foram encontradas altas concentrações de condutividade, o pH foi predominantemente alcalino, a DQO, DBO, o cloreto e o nitrogênio amoniacal apareceram em altas concentrações. Isso reforça o alto potencial de contaminação dessa substância. As amostras de solo apresentaram alterações quando comparadas com a legislação indicando a alteração da sua qualidade em contato com o lixiviado. As águas subterrâneas apresentaram altos valores de condutividade e cloreto, indicando que apesar da atenuação realizada pelos solos, a presença de lixiviado impacta diretamente na sua qualidade, considerando que altas concentrações de íons provocam a salinização dessas águas. Fica evidente a necessidade do estabelecimento de VRQ para alguns íons relevantes para o monitoramento ambiental, como: K, Na, Ca e Mg. As altas concentrações desses íons em alguns locais ficaram demonstradas nessa pesquisa.

A existência de passivos ambientais provocados pela existência de lixões ativos e não remediados, a precária fiscalização dessas áreas, a inexistência de VRQ específicos para a análise desse tipo de área estabelecido pela Legislação e o abandono desses locais são temas de grande relevância. O presente trabalho reforça que a presença de contaminantes provenientes do lixiviado pode alterar a natureza dos solos e das

águas subterrâneas com possíveis impactos aos ecossistemas locais e a saúde pública.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programas Institucionais de Bolsas de Iniciação Científicas da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (PIBIC/UERJ) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelas bolsas de iniciação científica.

## Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESA DE LIMPEZA PÚBLICA (ABRELPE). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. São Paulo, **ALBREPE**, 2020.

ALZAMORA, Bruno Ribas; BARROS, Raphael Tobias de V. Review of municipal waste management charging methods in different countries. **Waste Management**, v. 115, p. 47-55, 2020.

BARROSO, Larissa Gomes; VIMIEIRO, Gisele Vidal. Avaliação dos impactos socioambientais da disposição da disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos no entorno- estudo de caso de um município de pequeno porte em Minas Gerais. **31º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Curitiba, 2021. Disponível em: <<https://icongresso.abesdn.itarget.com.br/anais/index/index/cc/9>>.

BJERG, Poul Løgstrup et al. The biogeochemistry of contaminant groundwater plumes arising from waste disposal facilities. In: **Treatise on geochemistry**. Elsevier, 2014. p. 573-605.

BORBA, Willian Fernando. **Avaliação da contaminação ambiental em um aterro sanitário de pequeno porte, sem utilização de geomembrana, na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente Resolução CONAMA nº. 357/2005**, 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 2005. Disponível em <[http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO\\_CONAMA\\_n\\_357.pdf](http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf)>.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria GM/MS 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, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 07

mai. 2021, seção 1, ed.58, p. 127. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>>.

BRASIL, P. (2010). **Política nacional de resíduos sólidos**. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/18501>>.

CARDOSO, LF, 2005. **Análise de potencial de contaminação de águas sólidas: Estudo de caso da lixeira de Morro Agudo, São Paulo**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Carlos-SP, Brasil, 2005. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/102890>>.

CARVALHO, RCPS, 2015. **Análise geoambiental dos resíduos sólidos área de disposição: estudo do aterro controlado de Teresina, (PI)**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco). Recife, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/29352>>.

COLARES, BA, 2013. **Diagnóstico socioambiental da área do aterro sanitário em município de Quixadá-CE**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2013. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/16321>>.

COSTA, Walter Duarte. **Caracterização das condições de uso e preservação das águas subterrâneas do município de Belo Horizonte-MG**. 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. doi: 10.11606 /T.44.2016.tde-16022016-105058.

CHRISTENSEN, T. H., BJERG, P. L., BANWART, S. A., JAKOBSEN, R., HERON, G., & ALBRECHTSEN, H. J. Characterization of redox conditions in groundwater contaminant plumes. **Journal of Contaminant hydrology**, v. 45, n. 3-4, p. 165-241, 2000.

CHRISTENSEN, Thomas H.; BJERG, Paul L.; KJELDSEN, Peter. Natural attenuation: a feasible approach to remediation of ground water pollution at landfills. **Groundwater Monitoring & Remediation**, v. 20, n. 1, p. 69-77, 2000.

CHRISTENSEN, Thomas H. et al. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. **Applied geochemistry**, v. 16, n. 7-8, p. 659-718, 2001.

DEUSDARÁ, Mariana Coelho. Avaliação da qualidade da água do Córrego Sombrio a jusante do depósito de resíduos sólidos urbanos de Ponte Nova MG. 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <<https://locus.ufv.br/handle/123456789/3767>>.

EHRIG, H.-J. Quality and quantity of sanitary landfill leachate. **Waste Management & Research**, v. 1, n. 1, p. 53-68, 1983.

FORTUNATO, Janaina Mara. **Comportamento de íons chumbo, cobre, níquel e zinco em área de manguezal associado a antigo lixão no Município de Santos-SP**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GILBERTO, TJ, 2007. **Estudo de voçorocas aterradas por resíduos**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Ribeirão Preto. Ribeirão Preto-SP, Brasil, 2007.

HEBER, Florence; SILVA, Elvis M. D. Institucionalização da Política Nacional de Resíduos Sólidos: dilemas e constrangimentos na Região Metropolitana de Aracaju (SE). **Rev. Adm. Pública**, Rio de Janeiro, v. 48, n. 4, p. 913-937, jul./ago. 2014.

IAMONDI, GV, 2009. Geofísica aplicada no diagnóstico preliminar de o antigo lixão da cidade de Rio Claro – SP. Relatório de Graduação, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro-SP, Brasil, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/119437>>.

ISWA (International Solid Waste Association) (2016). A roadmap to close garbage dumps: the most polluted places in the world.

KJELDSEN, P., BARLAZ, M. A., ROOKER, A. P., BAUN, A., LEDIN, A., & CHRISTENSEN, T. H. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. **Critical reviews in environmental science and technology**, v. 32, n. 4, p. 297-336, 2002.

KUCHARSKI, S., BARBOSA, R., NUNES, F., BRITO, F. D. O., & da SILVA, E. F. Avaliação dos níveis de metais pesados em solos e sedimentos do Grupo Barreiras sob depósito de resíduos sólidos urbanos-caso de Canabrava-Salvador-Bahia. **Embrapa Solos-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2011. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/105209/1/BPD-199-Metals-Pesados-Bahia.pdf>>.

HEAVEY, M. Low-cost treatment of landfill leachate using peat. **Waste Management**, v. 23, n. 5, p. 447-454, 2003.

LIMA, JS, 2003. **Avaliação da contaminação do lençol freático no entorno do lixão do município de Pedro da Aldeia-RJ**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 2003. Disponível em: <<http://www.peamb.eng.uerj.br/producao.php?id=120>>.

LOPES, AA, 2007. **Estudo da gestão integrada de sólidos urbanos**

**resíduos na Bacia do Tietê Jacaré.** Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. São Carlos-SP, Brasil, 2007. doi: 10.11606 /T.18.2007.tde-04032008-125517

MARQUES, Mayara Cristina Santos; PIERANGELI, Maria Aparecida Pereira; ROCHA, Geilson Xavier. Elementos-traço em solo de área de disposição final de resíduos sólidos urbanos. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 3, p. 161-173, 2018.

MEDEIROS, Gerson Araujo et al. Diagnóstico da qualidade da água e do solo no lixão de Engenheiro Coelho, no Estado de São Paulo. 2008. **Eng. Amb: Pesqui. e Tecnol.** 5 (2), 169-186. Disponível em: <<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=135>>.

MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo. 2.ed. Porto Alegre: Gênese, 2004.

MENDONÇA, JMS, 2012. **Avaliação da ecotoxicidade do lixiviado em áreas de disposição de resíduos na região metropolitana de Natal / RN.** MSc. Tese, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/12494>>.

MORALES, GP, 2002. **Avaliação ambiental dos recursos hídricos, solos e sedimentos na área de abrangência do depósito de resíduos sólidos do Aurá - Belém - PA.** Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará. Belém, 2002. Disponível em: <<http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/8163>>.

MORITA, A. K., IBELLI-BIANCO, C., ANACHE, J. A., COUTINHO, J. V., PELINSON, N. S., NOBREGA, J., WENDLAND, E. Pollution threat to water and soil quality by dumpsites and non-sanitary landfills in Brazil: A review. **Waste Management**, v. 131, p. 163-176, 2021.

MORITA, Alice Kimie Martins; WENDLAND, Edson Cezar. Caracterização Hidrogeoquímica de área impactada por depósito de resíduos desativado em zona de recarga do aquífero guarani. **Geociências** (São Paulo), 2020, 38.4: 1017-1028.

NASCIMENTO, Sílvia Cremonez. **Influência de resíduos sólidos contendo Mn, Zn, Cr e Pb na qualidade do sistema água/solo/sedimento do Córrego da Anta-São José do Rio Preto-SP.** 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. doi: 10.11606 / D.44.2002.tde-22102015- 150640.

NASCIMENTO, Daniele. **Estudo químico do solo e lixiviado do aterro controlado do Botuquara.** 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Disponível em: <<http://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/2058>>.

OLIVEIRA, Fernando Jorge Santos; JUCÁ, José Fernando Thomé. Acúmulo de metais pesados e capacidade de impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma célula de um aterro de resíduos sólidos. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 9, n. 3, p. 211-217, 2004.

REY, Giovanna Orletti Del. **Metanogênese e variações isotópicas do carbono em ambiente de deposição de resíduos sólidos: o aterro controlado do Jockey Club de Brasília-DF.** 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Disponível em: <[https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/38786/1/2020\\_GiovannaOrlettiDelRey.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/38786/1/2020_GiovannaOrlettiDelRey.pdf)>.

RITTER, E., Ferreira, J. A., Porto, R. C., & da Silva Lima, J. Contaminação de recursos hídricos: estudo de caso do lixão de São Pedro da Aldeia (RJ). **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 6, n. 2, p. 82-93, 2010.

RITTER, E., Ferreira, JA, Mannarino, C., 2011. Diagnóstico de contaminação da cava do depósito de lixo de Altamira. **Anais do VII Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental e VI Simpósio Brasileiro de Geossintéticos.** Belo Horizonte, 2011.

RODRIGUES, Cristiane Lorena. **Influência da disposição de resíduos sólidos domésticos e infiltração do chorume na região do lixão de Ilhabela-SP.** 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. doi: 10.11606 / D.44.2002.de-11092015-094309.

SALES, CW, 2011. **Avaliação da contaminação do solo e das águas subterrâneas em Área do Aterro São Francisco de Itabapoana - RJ.** Dissertação de Mestrado. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Campo de Goytacazes, 2011. Disponível em: <http://portal1.iff.edu.br/pesquisa-e-inovacao/pos-graduacao-strictosensu/mestrado-em-engenharia-ambiental/dissertacoes-demestrado/2011/avaliacao-da-contaminacao-do-solo-e-da-agua-subterranea-na-area-dolixao-de-sao-francisco-de-itabapoana-rj>.

SCHENATO, Flávia; SCHRÖDER, Nádia T.; MARTINS, Flávia B. Assessment of contaminated soils by heavy metals in municipal solid waste landfills in southern Brazil. **WSEAS Transactions on environment and development**, v. 4, n. 9, p. 746-755, 2008. Disponível em: <<http://www.wseas.us/e-library/transactions/environment/2008/27-683.pdf>>.

SILVA, Celene Alves da. **Panorama do antigo lixão de Maceió após 8 anos de encerramento.** 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/34080>>.

SISINNO, Cristina LS; MOREIRA, Josino Costa. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 12, n. 4, p. 515-523, 1996. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-311X1996000400010>>.

SHINZATO, Marjolly Priscilla Bais. Mobilização de poluentes no maciço de resíduos de lixão desativado. 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-27012015-085018/en.php>.  
SNIS (2021). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

SOUTO, Gabriel D. Lixiviado de aterros sanitários brasileiros: estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (stripping). 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-19022009-121756/publico/TeseGabrielSouto.pdf>>.

TANDEL, Roque Yuri. **Contribuição ao estudo da poluição provocada no aquífero freático e no solo pelo aterro controlado da cidade de Rio Claro, SP.**

1998. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: doi: 10.11606 /T.44.1998.tde-18112015-160841.

VACCARI, Mentore; TUDOR, Terry; VINTI, Giovanni. Characteristics of leachate from landfills and dumpsites in Asia, Africa and Latin America: an overview. **Waste Management**, v. 95, p. 416-431, 2019.

VACCARI, Mentore; VINTI, Giovanni; TUDOR, Terry. An analysis of the risk posed by leachate from dumpsites in developing countries. **Environments**, v. 5, n. 9, p. 99, 2018.

VAN TURNHOUT, AG et al. Análise teórica do tratamento de resíduos sólidos urbanos por recirculação de lixiviados em condições anaeróbias e aeróbicas. **Gestão de Resíduos**, v. 71, p. 246-254, 2018.

ZANCHETTA, Grazielle Simone Boscato. Avaliação do grau de poluição do solo, águas, plantas e resíduos sólidos do lixão Linha Rincão do Engenho de Lagoa Vermelha, RS. 2007. Dissertação de mestrado. Universidade de Passo Fundo. Disponível em: <http://tede.upf.br:8080/jspui/handle/tede/218>.