

Técnicas utilizadas para o tratamento do lixiviado gerado por aterros sanitários

Andreia Freitas Silva^{1,*}, Jéssica Araújo Leite Martildes¹,
Janaína Aparecida Cezário¹, Tássio Jordan Rodrigues
Dantas da Silva¹, Maxsuel Bezerra do Nascimento¹, José
Ludemario da Silva Medeiros e William de Paiva²

¹Universidade Estadual da Paraíba. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental. Rua Juvêncio Arruda, S/Nº. Bodocongó. Campina Grande-PB, Brasil (CEP 58431-410). *E-mail: andreiafreitassilva@gmail.com.

²Universidade Estadual da Paraíba. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rua Juvêncio Arruda, S/Nº. Bodocongó. Campina Grande-PB, Brasil (CEP 58431-410).

Resumo. No âmbito dos resíduos sólidos urbanos (RSU) a metodologia mais indicada para a disposição final de resíduos são os aterros sanitários, que apesar das vantagens, tais como o baixo custo de implantação e operação em relação as outras técnicas, gera um subproduto líquido denominado lixiviado, o qual é caracterizado por ser um líquido altamente poluidor, necessitando de um tratamento adequado para sua disposição final em corpos hídricos. Portanto, foi realizada uma pesquisa descritiva-exploratória, comparando inicialmente os dados referentes à disposição final de resíduos sólidos urbanos nos anos de 2017 e 2018 no Brasil, e em seguida destacando-se a Região Nordeste e alguns aterros sanitários presentes, visando a conhecer a técnica de tratamento utilizada para tratar o lixiviado gerado. Assim, pode-se observar que o Brasil ainda enfrenta grandes dificuldades quanto à evolução de políticas públicas para o avanço da gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, e quando se destaca a Região Nordeste percebe-se que o crescimento da implantação de aterros sanitários foi de apenas 1% no período estudado. Sobre o tratamento do subproduto líquido gerado, têm-se as lagoas de estabilização e tratamentos biológicos, como o mais utilizado.

Palavras-chaves: Resíduos sólidos urbanos; Disposição final; Tratamento de lixiviado.

Abstract. *Techniques used to treat the leachate in the sanitary landfills.* In the scope of urban solid waste (MSW), the most suitable methodology for the final disposal of waste is landfill, which, despite the advantages, such as the low cost of implementation and operation in relation to other techniques, generates a liquid by-product called leachate, this liquid is

Recebido
26/07/2020

Aceito
20/10/2020

Disponível *on line*
25/10/2020

Publicado
31/12/2020



Acesso aberto



ORCID

0000-0002-3737-5856
Andreia Freitas Silva

0000-0003-0229-6426
Jéssica Araújo Leite
Martildes

pollutant level, requiring an appropriate treatment for its final disposal in water bodies. Therefore, a descriptive-exploratory research was carried out, comparing the data from a final list of the urban solid waste in the years 2017 and 2018 in Brazil, and then highlighting the Northeast region and some landfills present, studying the use of treatment techniques used to treat leachate. Thus, it can be seen that Brazil still faces great difficulties in terms of the evolution of public policies for the advancement of the urban solid waste management. The statistics in the Northeast region see that the growth in the implantation of landfills was only 1% in the period studied. Regarding the treatment of the produced liquid by-product, they have stabilization ponds and biological treatments, as the most used.

Keywords: Urban solid waste; Final disposal; Leachate treatment.

0000-0002-9866-4168
Janaína Aparecida
Cezário

0000-0002-1708-5472
Tássio Jordan
Rodrigues Dantas da
Silva

0000-0001-6381-2688
Maxsuel Bezerra do
Nascimento

0000-0002-7523-9601
José Ludemario da
Silva Medeiros

0000-0003-0220-1247
William de Paiva

Introdução

Atualmente, uma das grandes preocupações ambientais são os resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados pela sociedade moderna e consumista. Com o rápido processo industrial, associado ao elevado crescimento da população e à consequente demanda por bens de consumo, o homem acaba produzindo quantidades significativas de resíduos sólidos, os quais se gerenciados de forma inadequada, podem causar riscos e impactos negativos ao meio ambiente e a saúde humana (Ferreira, 2001).

Os processos de gestão e gerenciamento desses resíduos incluem a totalidade da participação de diversos setores, aplicações de leis, fiscalização de atividades potencialmente geradoras e poluidoras, programas de conscientização e educação ambiental, e o reconhecimento da responsabilidade do município de criar condições favoráveis para viabilizar as atividades de coleta eficiente e disposição final adequada dos resíduos.

Segundo a Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2019), a geração de RSU no Brasil em 2018 revela um total anual de 79 milhões de toneladas de resíduos, o que vem crescendo gradativamente a cada ano. Deste montante, 72,7 milhões de toneladas foram coletados. Entretanto, apesar da quantidade significativa de coleta, apenas 42,3 milhões de toneladas tiveram destinação final adequada, sendo dispostos em aterros sanitários.

No Brasil, a Região Nordeste destaca-se por obter menor índice de cobertura de coleta em todo país (ABRELPE, 2019). Os 1.794 municípios pertencentes a essa região geraram 53.975 t/dia de resíduos em 2018, das quais 81,1% foram coletadas. Entretanto, dos resíduos coletados, ao menos 6 em cada 10 t foram destinados a aterros controlados e lixões. Ou seja, mais de 28 mil toneladas por dia são dispostos em locais inapropriados, o que significa que ainda existem técnicas de disposição de resíduos irregulares, mesmo após a implantação da Lei nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), incluindo a erradicação dos lixões (Brasil, 2010). Diante disso, o percentual coletado e destinado adequadamente para os aterros sanitários foi de 35,6%, o que totaliza 15.580 t/dia dos RSU gerados na região (ABRELPE, 2019).

Atualmente, a técnica mais comum e indicada para a disposição final de RSU no Brasil são os aterros sanitários, isso devido aos custos reduzidos e a disponibilidade ainda razoável de áreas para implantação, bem como a fácil operação comparada a outros

métodos (Campos e Cazarini, 2010). Os aterros sanitários baseiam-se em princípios da engenharia para confinar os resíduos em uma menor área possível, e menor volume permissível (Renou et al., 2008). Porém, é indispensável constatar que apesar das vantagens encontradas, é necessário conhecer também as desvantagens que podem ser proporcionadas pelo confinamento dos RSU nas células dos aterros, como por exemplo, a geração de subprodutos.

O lixiviado é um subproduto líquido altamente poluidor, gerado a partir da umidade natural dos resíduos aterrados, dos produtos da degradação biológica e das águas pluviométricas infiltradas no aterro (Zhang et al., 2017). As suas características físicas, químicas e biológicas variam de acordo com diversos fatores como: fonte geradora, atividade realizada, local do aterro, grau de decomposição, clima, estação do ano, tipo de operação, idade do aterro, profundidade dos resíduos entre outros (Klein et al., 2017; Mohammad-Pajooch et al., 2017; Zhang et al., 2017).

Com a utilização dos aterros sanitários como técnica adequada para destinação final dos RSU, é imprescindível que nesses locais existam tecnologias adequadas para o tratamento dos subprodutos gerados na decomposição dos resíduos aterrados.

O lixiviado de aterro sanitário quando não tratado adequadamente e descartado de forma incorreta no meio ambiente, pode causar contaminação dos corpos hídricos, solo, ou trazer prejuízos para a saúde humana (Toufexi et al., 2013).

Por esta razão, são diversas as tecnologias de tratamento estudadas a fim de buscar alternativas para o tratamento desse subproduto, bem como atender os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 430/2011 (Brasil, 2011) para o lançamento de efluentes em corpos hídricos.

Basicamente, as tecnologias de tratamento incluem processos biológicos, físicos ou químicos, compostos de diversas técnicas de aplicação. Porém, o tratamento biológico tem sido o mais utilizado no Brasil e principalmente na Região Nordeste, devido ao baixo custo (Klein et al., 2017).

Diante deste contexto, o objetivo desta pesquisa é estudar o cenário da disposição final dos RSU no Brasil, com destaque para a Região Nordeste, aprimoramento assim conhecimentos na temática dos RSU, servindo também de subsídio na busca por melhorias de gestão e gerenciamentos desses resíduos, principalmente quando a destinação final são os aterros sanitários, que também necessitam de monitoramento.

Metodologia

O presente estudo pode ser classificado como uma pesquisa descritiva-exploratória, baseada em fontes secundárias, ou seja, fontes coletadas nos principais sites de órgãos públicos e privados que possuem relevância quanto ao assunto de RSU no Brasil, bem como pesquisas em artigos acadêmicos sobre o tema, destacando, inicialmente, a comparação de dados referentes a disposição final de RSU nos anos de 2017 e 2018 no país, e em seguida, exemplificados alguns aterros sanitários presentes na Região Nordeste do Brasil, dando ênfase ao sistema de tratamento utilizado para tratar o subproduto gerado em cada um deles.

Portanto, os principais descritores buscados na coleta de dados foram resíduos sólidos, aterros sanitários, Nordeste, lixiviado e tratamento de lixiviado.

A Região Nordeste do Brasil, representada na Figura 1, possui uma área territorial de 1.561.177,80 km², o que corresponde a 18,27% do território nacional. É constituída por nove estados, sendo eles Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2010 a região contava com uma população de 53 milhões de habitantes (IBGE, 2011).

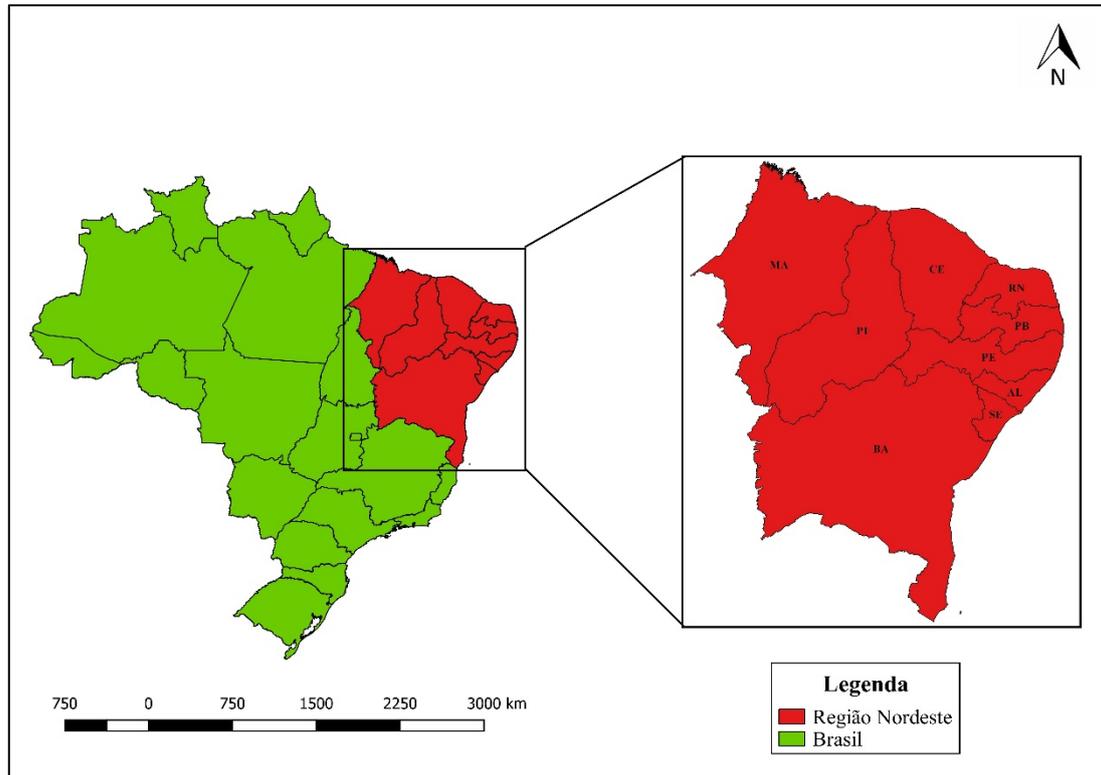


Figura 1. Localização da Região Nordeste do Brasil.

Esta região apresenta particularidades que diferem das outras, principalmente, devido às condições climáticas e elevadas taxas de evapotranspiração. Também é considerada uma das regiões semiáridas de maior contingente do planeta, apresentando clima em sua maioria do tipo semiárido, tendo como principais características: solos rasos e pedregosos, estacionalidade climática acentuada, elevada taxa de evapotranspiração e relevo variável (Araújo, 2011).

A base econômica da Região Nordeste é destinada a criação de caprinos e ovinos, apesar de apresentar solos rasos e pedregosos e baixos índices pluviométricos, essa região apresenta grande potencial para a pecuária nacional (IBGE, 2011).

Resultados e discussão

O Brasil enfrenta diversas dificuldades quando se trata do manejo e disposição final dos RSU gerados e coletados. Na Tabela 1 apresenta-se um comparativo de dados da disposição final de RSU nas cinco regiões do Brasil nos anos de 2017 e de 2018.

É possível verificar que a taxa de crescimento dos aterros sanitários como técnica de disposição final de RSU cresce lentamente em quase todas as regiões.

A Região Sul, por exemplo, mostrou um grande avanço na destinação final RSU, apresentando uma taxa de crescimento em torno de 48% na disposição em aterros sanitários e uma taxa de decréscimo de 69% em aterros controlados e de -68% em lixões. Essa região gastou cerca de R\$ 3 bilhões e empregou nessa área mais de 40 mil pessoas no ano de 2018 (ABRELPE, 2018).

Tabela 1. Taxa de variação da disposição final dos estados entre os anos de 2017 e 2018.

Região	Período/Taxa	Tipo de disposição			
		Aterro Sanitário	Aterro Controlado	Lixão	Total
Norte	2017	90	108	252	450
	2018	93	110	247	450
	Taxa	3%	2%	-2%	-
Nordeste	2017	449	484	861	1.794
	2018	454	496	844	1.794
	Taxa	1%	2%	-2%	-
Centro-Oeste	2017	159	159	149	467
	2018	162	152	153	467
	Taxa	2%	-4%	3%	-
Sudeste	2017	817	634	217	1.668
	2018	820	641	207	1.668
	Taxa	0,40%	1%	-5%	-
Sul	2017	703	357	131	1.191
	2018	1.040	109	42	1.191
	Taxa	48%	-69%	-68%	-

Fonte: Adaptado de ABRELPE (2017; 2018).

A Região Nordeste, assim como outras regiões do país, vem intensificando os investimentos em relação ao gerenciamento dos RSU, principalmente depois da PNRS. No entanto, o Tabela 1 mostra a fragilidade deste setor, que entre 2017 e 2018 a taxa de aterro sanitário aumentou apenas em 1%.

Porém, apesar dos investimentos governamentais, é comum alguns municípios, principalmente aqueles de pequeno porte, apresentarem dificuldades de acesso a créditos para viabilizar os investimentos e financiamentos, assim como o enfrentamento de alguns obstáculos que são agravados pela falta de escala para implantação de soluções de aproveitamento econômico, e pela baixa capacidade técnica e institucional do titular. Por isto, muitos municípios optam por realizarem consórcios, a fim de diminuir os custos e gerir os RSU de maneira conjunta.

Além da importância do gerenciamento adequado dos resíduos sólidos, é necessário também, o monitoramento dos locais de disposição final desses resíduos, como no caso dos aterros sanitários. A preocupação com o lixiviado gerado nos aterros sanitários torna-se outro problema a ser estudado.

Portanto, a Tabela 2 traz informações de alguns aterros sanitários nordestinos e o tipo de tratamento utilizado no lixiviado gerado.

Segundo Sá (2008), o Aterro da Muribeca é o maior em operação no estado de Pernambuco, e fica localizado na Estrada da Integração Prazeres, em Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco. Possui 62 ha de área territorial e tem capacidade de receber em média 3.000 t por dia de RSU gerados nos Municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes. No que se refere ao lixiviado para atender as normas técnicas de controle da Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos (CPRH) e a Resolução CONAMA nº 430/2011 (Brasil, 2011), foi construída a Unidade de Contenção e Tratamento de lixiviado no Aterro Muribeca. A operação da estação começou a funcionar em outubro de 2002. O tratamento consiste em um sistema de lagoas de estabilização, bem como também ocorre a recirculação do líquido para as células de resíduos. A sequência de lagoas é disposta em série, sendo uma lagoa de decantação, uma anaeróbica e três facultativas, além de um sistema bioquímico que utiliza o conjunto solo-plantas-barreira reativa e microrganismos na remoção e degradação de contaminante.

Tabela 2. Aterro Sanitário e tipo de tratamentos de lixiviado.

Aterro	Cidade	Estado	Tipo de tratamento do lixiviado	Referência
Aterro Muribeca	Jaboatão dos Guararapes	Pernambuco	Lagoas de estabilização/recirculação	Sá (2008)
Aterro Sanitário de Caruaru	Caruaru	Pernambuco	Digestão Anaeróbia e um charco artificial	Jucá (2003)
Aterro da Ribeira (Desativado)	São Luís	Maranhão	Aterro controlado (não tratado)	Campos et al. (2008)
Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa	João Pessoa	Paraíba	Lagoas de Estabilização	Batista (2016)
Aterro Sanitário em Campina Grande (ASCG)	Campina Grande	Paraíba	Lagoas de Evaporação/recirculação	Ribeiro (2019)
Aterro Municipal de Caucaia (ASMOC)	Jurema, Caucaia	Ceará	Lagoas de estabilização	Oliveira (2011)
Aterro Sanitário ou Centro de Gerenciamento de resíduos de Sergipe	Rosário do Catete	Sergipe	Equalização, tanque de aeração e decantadores	Lessa (2017)
Aterro Metropolitano Centro-Salvador	Salvador	Bahia	Bacia de acumulação	Souza (2008)

Nos estudos realizados por Jucá (2003), observa-se um levantamento de aterros sanitários no Brasil e algumas características referentes a estes, avaliando nas cinco regiões existentes, nesse estudo foi possível ter o conhecimento da metodologia de tratamento de lixiviado utilizada no Aterro Sanitário de Caruaru, Pernambuco, que acontece por meio de processos de digestão anaeróbia e um charco artificial.

Outro aterro que teve grande importância na Região Nordeste foi o Aterro Ribeira localizado no Estado do Maranhão, atualmente desativado, tendo sua operação finalizada no ano de 2015, devido a problemas ambientais gerados pela falta de tratamento de lixiviado (Campos et al, 2008). Atualmente, os resíduos produzidos e coletados na capital São Luís, no Maranhão, são descartados na Central de Tratamento de Resíduos Titara, pertencente ao Aterro Sanitário de Rosário, que fica localizada no povoado Buenos Aires, no Município Rosário (a 75 km de São Luís). Este aterro tem capacidade média para receber 2.200 t por dia de RSU e industriais, com uma vida útil de 32 anos. Neste caso, o lixiviado gerado pelo aterro é encaminhado para uma estação de tratamento de efluentes (ETE), que é composta por um processo físico e químico primário, seguido de processo biológico e por fim ultrafiltração por membranas, até ser considerado efluente final sem características poluentes.

O Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa, Capital da Paraíba, está em operação desde 2003, possui uma capacidade total de receber e tratar 1.172 t de resíduos por dia, e é dotado de uma área de 100 ha. O tratamento de lixiviado deste aterro consiste em lagoas de estabilização, no qual existem três lagoas projetadas para funcionar como tratamento terciário (charcos artificiais), porém são usados apenas para reserva do efluente advindo das lagoas facultativas, ocorrendo também a recirculação do lixiviado nas células do aterro (Batista, 2016).

Outro aterro importante presente no Estado da Paraíba é o Aterro Sanitário em Campina Grande (ASCG), que teve sua operação iniciada em julho de 2015 e atualmente recebe aproximadamente 500 t de RSU/dia, provenientes de 18 municípios do Estado da

Paraíba. O lixiviado gerado no ASCG é encaminhado para lagoas de evaporação, estas funcionam como lagoas de acúmulo, recirculação e tratamento por evaporação natural do lixiviado, possuem dimensões de 30 m x 30m e 3m de profundidade, e são revestidas por uma geomembrana de polietileno de alta densidade. Portanto, parte do lixiviado é evaporado pela técnica de evaporação natural e outra parcela é utilizada para irrigar as células de resíduos (Ribeiro, 2019).

Em Fortaleza, Capital do Ceará, atualmente são coletadas cerca de 3.000 t de RSU por dia, dos quais a grande maioria é destinado ao maior aterro do estado, o Aterro Sanitário do Oeste de Caucaia, que recebe resíduos de origem doméstica, industrial e pública. Nesse aterro, o tratamento do lixiviado gerado está diretamente relacionado ao grau de biodegradabilidade encontrado, o qual é composto por um conjunto de lagoas de estabilização, que utiliza da ação de microrganismos (anaeróbios e aeróbios) para atingir a depuração deste líquido residual (Oliveira, 2011).

O Aterro Sanitário ou Centro de Gerenciamento de Resíduos de Sergipe, no Estado de Sergipe, está localizado na Rodovia BR 101, Rosário do Catete. Neste aterro são gerados cerca de 200 m³ por dia de lixiviado que são armazenados em bacias de acumulação compostas por uma torre de equilíbrio e dois tanques horizontais, um coberto e outro sem cobertura. O volume armazenado é encaminhado para Central de Tratamento de Efluentes Líquidos, uma empresa de proteção ambiental, para tratamento e disposição final em Camaçari-BA, onde o subproduto líquido passa por uma sequência de pré-tratamento, bacia de equalização, tanque de aeração e decantadores e, por fim, é destinado a um corpo receptor da região (Lessa, 2017).

No Aterro Metropolitano Centro Salvador, localizado no Estado da Bahia, o lixiviado é coletado e transportado para uma bacia de acumulação próximo as células do aterro sanitário (Souza, 2008).

O modelo consolidado por décadas em estações de tratamento de esgoto serviu como base para o desenvolvimento das técnicas de tratamento do lixiviado gerado nos aterros sanitários. Portanto, pode-se observar que os processos biológicos são os mais utilizados atualmente, uma vez que, o tratamento biológico é considerado simples, econômico e efetivo, atingindo valores eficientes na remoção de carga orgânica, por exemplo Gotvajn e Pavko (2015). As lagoas de estabilização, são amplamente utilizadas em áreas rurais, devido as condições climáticas favoráveis e a disponibilidade de área (Maia et al., 2015).

Conclusão

Os aterros sanitários continuam sendo o método de disposição final de RSU mais utilizado no Brasil, apesar do crescimento dessa técnica não ocorrer de forma proporcional em todas as regiões. A Região Sul teve maior avanço com relação à taxa de crescimento, alcançando 48% entre 2017 e 2018, já a Região Nordeste ainda cresce em passos lentos, com uma taxa de crescimento de 1%.

No que se refere ao tratamento do lixiviado gerado nos aterros nordestinos estudados, pode-se perceber que as lagoas de estabilização, e os processos biológicos, são os mais utilizados para tratar esse subproduto.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de resíduos sólidos no Brasil - 2016**. São Paulo: ABRELPE, 2017.
- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de resíduos sólidos no Brasil - 2018**. São Paulo: ABRELPE, 2018.
- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de resíduos sólidos no Brasil - 2019**. São Paulo: ABRELPE, 2019.
- Araújo, S. M. S. A Região Semiárida do Nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Rios Eletrônica - Revista Científica da FASETE**, n. 5, p. 89-98, 2011.
- Batista, M. M. **Eficiência do processo foto-fenton solar em um fotorreator piloto nos pós tratamento do lixiviado do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa**. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2016. (Dissertação de mestrado).
- Brasil. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 26 mar. 2020.
- Brasil. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 06 jan. 2020.
- Campos, V. R.; Cazarini, E. W. Estudo dos critérios de decisão para localização de aterros sanitários para auxiliar na avaliação de impactos ambientais. Anais do 3º Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos e 2º Seminário da Região Nordeste sobre Resíduos Sólidos, João Pessoa, 2010.
- Campos, A. E. L., Nunes, G. S., Oliveira, J. C. S., Toscano, I. A. S. Avaliação da contaminação do Igarapé do Sabino (Bacia do Rio Tibiri) por metais pesados, originados dos resíduos e efluentes do Aterro da Ribeira, em São Luís, Maranhão. **Química Nova**, v. 32, n. 4, p. 960-964, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000400025>
- Ferreira J. A.; Anjos L. A. Aspectos de saúde coletiva e ocupacional associados à gestão dos resíduos sólidos municipais. **Caderno de Saúde Pública**, v. 17, n. 3, p. 689-696, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2001000300023>
- Gotvajn, A. Ž.; Pavko, A. Perspectives on biological treatment of sanitary, landfill leachate. In: Samer, M. (Ed.). **Wastewater treatment engineering**. Londres: InTech, 2015. <https://doi.org/10.5772/60924>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico população de habitantes. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-2020-censo4.html>>. Acesso em: 26 mar. 2020.
- Juca, J. F. T. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. Anais do 5º Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2003.

Klein, K.; Kivi, A.; Dulova, N.; Zekker, I.; Mölder, E.; Tenno, T.; Trapido, M.; Tenno, T. A pilot study of three-stage biological-chemical treatment of landfill leachate applying continuous ferric sludge reuse in Fenton-like process. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 19, n. 2, p. 541-551, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1245-5>

Lessa, A. C. V. **Caracterização do chorume do Centro de Gerenciamento de Resíduos de Sergipe**. Aracaju: Instituto Federal de Sergipe, 2017. (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Tecnólogo em Saneamento Ambiental).

Maia, I. S.; Restrepo, J. J. B.; Castilho Jr, A. B.; Franco, A. B. Avaliação do tratamento biológico de lixiviado de aterro sanitário em escala real na Região Sul do Brasil. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 665-675, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020040140926>

Mohammad-Pajoo, E.; Weichgrebe, D.; Cuff, G. Municipal landfill leachate characteristics and feasibility of retrofitting existing treatment systems with deammonification: A full scale survey. **Journal of Environmental Management**, v. 187, p. 354-364, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.061>

Oliveira, C. A. A. **Análise do fluxo de gases na camada de cobertura do Aterro Sanitário Municipal Oeste de Caucaia (ASMOC)**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2011. (Dissertação de mestrado).

Renou, S.; Givaudan, J. G.; Poulain, S.; Dirassouyan, F.; Moulin, P. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. **Journal of Hazardous Materials**, v. 150, n. 3, p. 468-493, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.077>

Ribeiro, V. R. A. **Análise comparativa do lixiviado bruto gerado em um aterro sanitário e o acumulado em uma lagoa de tratamento por evaporação natural**. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2019. (Dissertação de mestrado).

Sá, L. F. **Evaporação natural do lixiviado do Aterro de Muribeca através de um destilador solar**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2008.

Souza, M. A. **Impactos socioambientais no entorno do Aterro Metropolitano Centro, Salvador, Bahia**. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2008. (Dissertação de mestrado).

Toufexi, E.; Tsarpali, V.; Efthimiou, I.; Vidali, M.-S.; Vlastos, D.; Dailianis, S. Environmental and human risk assessment of landfill leachate: An integrated approach with the use of cytotoxic and genotoxic stress indices in mussel and human cells. **Journal of Hazardous Materials**, v. 260, p. 593-601, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.05.054>

Zhang, C.; Liu, J.; Yang, X.; Cao, W.; Qiana, G. Degradation of refractory organics in biotreated landfill leachate using high voltage pulsed discharge combined with TiO₂. **Journal of Hazardous Materials**, v. 326, p. 221-228, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.12.034>



Informação da Licença: Este é um artigo Open Access distribuído sob os termos da Licença Creative Commons Attribution, que permite uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que a obra original seja devidamente citada.