



MONITORAMENTO AMBIENTAL DOS RECURSOS HÍDRICOS DA REGIÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO DO LITORAL NORTE/RS

Pâmela de Medeiros Engelmänn – pamelaengelmänn@hotmail.com
Instituto do Petróleo e dos Recursos Naturais
Av. Ipiranga, 6681, Prédio 96J
90619-900 – Porto Alegre – Rio Grande do Sul

Leticia Isabela Moser – leticia.moser@pucrs.br
Instituto do Petróleo e dos Recursos Naturais

Flávio Soares Goudinho – flavio.goudinho@pucrs.br
Instituto do Petróleo e dos Recursos Naturais

João Marcelo Medina Ketzer – jketzer@pucrs.br
Instituto do Petróleo e dos Recursos Naturais

Luiz Frederico Rodrigues – frederico.rodrigues@pucrs.br
Instituto do Petróleo e dos Recursos Naturais

Resumo: No Brasil, os aterros consistem na única forma de deposição final de lixo ainda permitida por lei. No entanto, esta técnica também apresenta riscos de poluição, principalmente, para as águas superficiais e subterrâneas que podem ser usadas para o consumo humano. Portanto, o monitoramento ambiental dos recursos hídricos se faz extremamente necessário na medida em que o lixiviado pode comprometer a qualidade e o uso das coleções hídricas superficiais e do lençol freático do entorno de aterros sanitários. Neste contexto, levando em consideração o potencial poluidor de um aterro sanitário, o presente trabalho tem por objetivo identificar possíveis pontos de contaminação nas águas subterrâneas e superficiais na área de influência do aterro em estudo. Os valores encontrados no PZ 3, são considerados alarmantes, pois indicam contaminação de água subterrânea no local. Além disso, as águas superficiais do entorno do aterro também apresentam variação com relação ao background. Desta forma, os resultados do presente estudo apresentam evidências da influência do chorume na qualidade das águas subterrâneas e superficiais da região.

Palavras-chave: Aterro-sanitário, Contaminação, Chorume, Águas.



ENVIRONMENTAL MONITORING OF WATER RESOURCES OF THE REGION OF A LANDFILL COASTAL NORTH / RS

Abstract: *In Brazil, landfills consist of one form of final disposal waste that still being permitted by law. However, this technique also presents risks of pollution, mainly, to surface water and groundwater that can be used for human consumption. Therefore, the environmental monitoring of water resources is extremely necessary because the leachate can compromise the quality and the use of surface water and groundwater close of landfills. In this context, considering the pollution potential of a landfill, this work has as main goal identify possible points of contamination in groundwater and surface water in the area of influence of landfill study.. The values of PZ 3 are considered alarming, because indicate contamination the groundwater regional. Moreover, surface waters also show variation where compared the background. Thus, the result of this study present evidences the influence of leachate on the quality of groundwater and surface water in the area.*

Keywords: *Landfill, Contamination, Leachate, Water.*

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a produção de resíduos sólidos urbanos aumentou consideravelmente devido ao crescimento dos centros urbanos e ao aumento do consumo de produtos industrializados (LANGE *et al.*, 2006). Como consequência, a disposição final do lixo tornou-se uma preocupação, devido principalmente à escassez de áreas para deposição, altos custos de tratamento, bem como problemas de saneamento público e contaminação ambiental (FILHO *et al.*, 2011).

Historicamente, existem três formas básicas para a disposição final de resíduos sólidos: lixão, aterro controlado e aterro sanitário (CASTILHOS *et al.*, 2003). No entanto, as práticas de disposição em lixões e aterros controlados são consideradas inadequadas por causarem sérios danos ambientais (IBGE, 2010). Desta forma, a acomodação dos resíduos em aterros sanitários representa a prática mais adequada do ponto de vista ambiental, consistindo na única técnica de disposição final permitida por lei no Brasil (CASTILHOS *et al.*, 2003). Os aterros sanitários são assim considerados, pois são projetados de modo a impedir que os resíduos e seus derivados poluam o meio e o seu redor. São caracterizados por apresentar impermeabilização do solo, cobertura diária das células e sistemas de coleta de gases e chorume (SANTOS, 2008). No entanto, sabe-se que ela também pode originar danos ambientais provenientes do lixiviado produzido pelo processo de decomposição do lixo (FEAM, 2006).

O lixiviado é um efluente muito complexo, pois é resultado da interação entre os processos de biodegradação da fração orgânica presente nos resíduos sólidos e a infiltração de águas pluviais que solubilizam componentes orgânicos e inorgânicos. Desta maneira, é muito difícil traçar a natureza exata do perfil desse líquido (BARROS, 2013). Os principais fatores que influenciam nos processos de biodegradação dos resíduos consistem na composição dos resíduos, idade do aterro, granulometria dos resíduos, umidade, peso específico e grau de compactação dos resíduos, aspectos quantitativos e qualitativos de nutrientes, pH e temperatura dos líquidos presentes no aterro (PARKER, 1983). De acordo com CEMPRE (2010) a composição do chorume se altera, dependendo principalmente da idade do aterro e da fase do processo de decomposição do lixo.

Apesar da dificuldade de estabelecer a composição exata do chorume, Christensen *et al.* (2001) afirma que o lixiviado pode ser caracterizado como uma solução composta por quatro frações de poluentes principais: (I) matéria orgânica dissolvida; (II) macrocomponentes inorgânicos (Ca, Mg, Na, K, NH_4^+ , Fe, Mn, Cl, SO_4^{2-} e HCO_3^-); metais pesados (Cd, Cr, Cu, Pb, Ni e Zn); compostos orgânicos xenobióticos (XOCs) proveniente de produtos químicos domésticos ou industriais. Outros



elementos, como B, As, Se, Ba, Li, Hg e Co, também podem ser encontrados no lixiviado de aterros sanitários, porém em concentrações menores.

O manejo e o tratamento do lixiviado dos aterros sanitários devem ser realizados corretamente, pois como visto anteriormente, o lixiviado é composto por substâncias altamente solúveis e tóxicas. A destinação inadequada pode ocasionar problemas de ordem sanitária, econômica e estética. Dentre os danos ambientais ocasionados pode-se mencionar a contaminação das águas superficiais e subterrâneas adjacentes ao aterro sanitário a partir da infiltração do lixiviado pelo solo (LABANOWSKI *et al.*, 2010). A escala desta ameaça depende de muitos fatores, como a concentração e a toxicidade dos contaminantes presentes no lixiviado, o tipo e a permeabilidade das camadas geológicas, a profundidade do lençol freático e a impermeabilização do aterro (CEMPRE, 2010).

A falta de critérios técnicos durante a implantação e a operação incorreta do aterro são os principais responsáveis pela geração dos ricos ambientais indesejáveis para um aterro sanitário (FEAM, 2006). Por ser considerado um efluente, o lixiviado oriundo de aterros sanitários somente poderá ser lançado diretamente no corpo receptor se obedecer às condições e padrões previstos na Resolução N° 430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2001). Tal resolução apresenta os parâmetros orgânicos e inorgânicos de lançamento de efluentes.

Considerando o grande potencial do chorume de provocar danos ambientais, o monitoramento da qualidade dos recursos hídricos próximos a aterros se torna extremamente importante a fim de garantir a qualidade dessas águas. As águas superficiais (rios, áreas alagadas, mar, nascentes) contaminadas com chorume podem provocar danos à flora e a fauna, levando à impactos no meio aquático com quebra do ciclo vital das espécies. Já as águas subterrâneas contaminadas, impedem que essas sejam usadas para o abastecimento humano (FERNANDEZ *et al.*; 2014).

A qualidade da água é dependente de seus parâmetros físicos, químicos e biológicos. De acordo com recomendações da NBR 13896 (ABNT, 1997) a qualidade das águas na área de influência dos aterros sanitários deve atender aos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente. A Resolução N° 396 do CONAMA (BRASIL, 2008) estabelece parâmetros necessários para o enquadramento da água subterrânea em quatro categorias distintas, entre elas o consumo humano. Já as águas superficiais devem seguir os padrões de qualidade estabelecidos na Resolução N° 357 do CONAMA, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005).

A detecção de metais pesados em águas é bastante importante, pois todas as formas de vida podem ser afetadas pela presença desses metais. Muitos metais são essenciais para o crescimento de todos os tipos de organismos, porém requerem baixas concentrações, pois quando em altas concentrações podem tornar-se tóxicas aos sistemas biológicos por apresentarem características bioacumulativas no organismo (KEMERICH, 2014).

Outro poluente bastante encontrado no chorume e que merece atenção é a amônia, pelo seu potencial tóxico. Concentrações consideráveis de nitrogênio na forma amoniacal em ambientes aquáticos são tóxicas para organismos. Além disso, o excesso de nitrogênio na água em forma de nutriente pode provocar a eutrofização. Esse fenômeno é fatal para os peixes e a vida aquática e ainda consiste num obstáculo para a desinfecção das águas para abastecimento (KIM *et al.*, 2005; BRITO-PELEGRINI *et al.*, 2009).

O cloreto é um bom indicador de águas contaminadas com chorume de aterros sanitários. Altas concentrações de cloreto são tóxicas para a maioria dos vegetais, inibindo o seu crescimento. Além disso, concentrações elevadas conferem gosto a água. O nitrato representa o estágio final de decomposição da matéria orgânica e teores acima de 5 mg/L podem indicar contaminação das águas pela ação humana. Altas concentrações de nitrato são altamente prejudiciais à saúde humana, e pode estar associado a ocorrência de câncer gástrico. Já a presença de sulfato em águas pode provocar distúrbios gastrointestinais e efeitos laxativos (FEITOSA & FILHO, 2000).

2. OBJETIVO

Identificar possíveis pontos de contaminação nas águas subterrâneas e superficiais na área de influência do aterro sanitário em estudo, por meio de parâmetros convencionais de monitoramento. Comparar os resultados encontrados com os valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA N° 396/08 (BRASIL, 2008), para as águas subterrâneas e pela Resolução CONAMA N° 357/05 (BRASIL, 2005), para as águas superficiais.

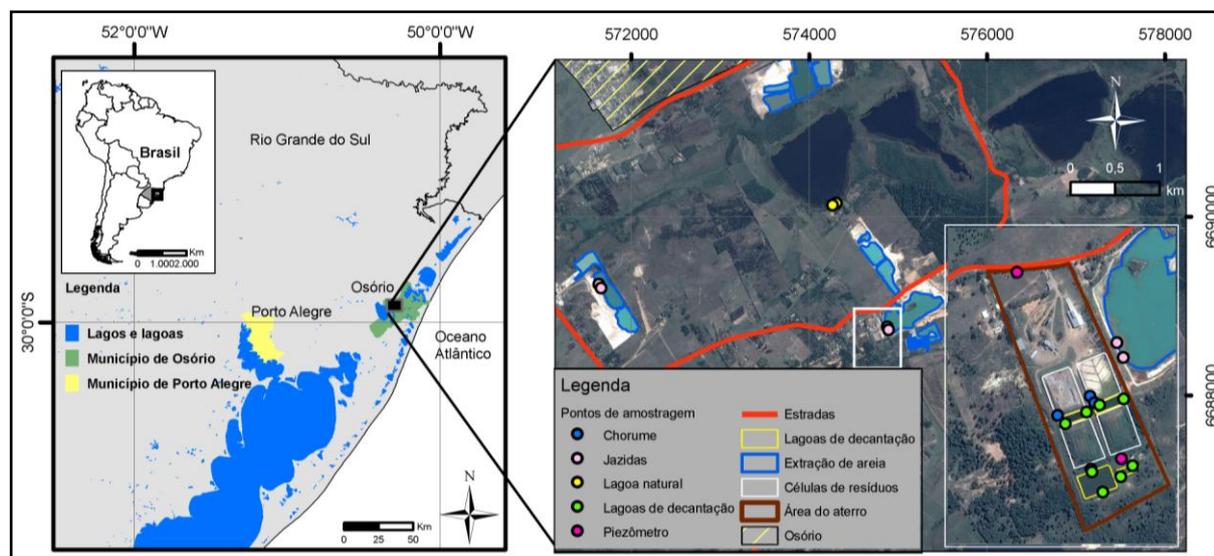
3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Local de estudo

O presente estudo foi realizado em um Aterro Municipal de Resíduos Sólidos localizado no litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil, conforme mostra a Figura 1. O local, onde desde 2006 está instalado o aterro sanitário municipal, foi utilizado até o ano de 2005 para disposição de resíduos a céu aberto.

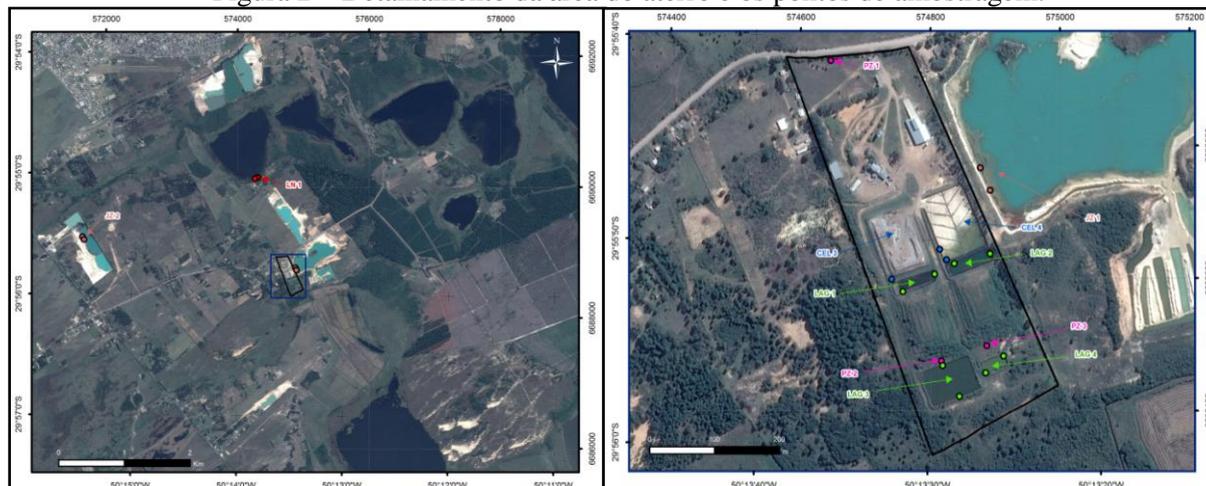
O aterro possui quatro células de deposição de lixo com aproximadamente 7.000 m² cada, sendo que a célula de número 1 foi praticamente toda utilizada com o material oriundo do antigo lixão. Atualmente existem três células inativas (célula 1, 2 e 3) e uma célula ainda em operação (célula 4), além de quatro lagoas de tratamento de chorume, observadas na Figura 2. As lagoas 1 e 2 consistem na primeira etapa de tratamento do chorume que posteriormente é enviado para a lagoa 3 para a decomposição final da matéria orgânica. A lagoa 4 possui a mesma função da lagoa 3, no entanto, é utilizada apenas quando se tem uma grande quantidade de chorume sendo produzido.

Figura 1 – Localização do aterro sanitário em estudo bem como os pontos de coleta de amostras.



A partir de uma visita realizada previamente ao aterro e com o auxílio de imagens de satélite, foram selecionados pontos de coleta de chorume, água superficial e subterrânea de modo a obter a melhor representatividade da região. A localização dos pontos de amostragem selecionados pode ser verificada na Figura 2. Na Figura é possível observar que foram coletadas duas amostras em cada local de coleta, a fim de encontrar um resultado mais característico do local a partir da média aritmética dos valores.

Figura 2 – Detalhamento da área do aterro e os pontos de amostragem.



3.2. Parâmetros de monitoramento

A fim de atingir o objetivo do presente estudo realizou-se coleta de amostras de água subterrânea e água superficial, assim como de chorume. A caracterização das amostras foi realizada a partir da determinação das concentrações de ânions (Cl^- , SO_4^{2-} e NO_3^-), metais (Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Zn), NH_3 , bem como a caracterização de parâmetros físico-químicos como, pH, oxigênio dissolvido (OD), potencial de oxidação-redução (ORP), condutividade elétrica, temperatura, salinidade.

3.3. Técnicas de coletas e preservação de amostra

As técnicas de coleta e preservação de amostras utilizadas neste trabalho foram baseadas no Standard Methods for the Examination of Water and wastewater (APHA, 1998). A amostragem das águas superficiais e de lixiviado foi realizada em um frasco de polipropileno de 500 mL e em seguida a alíquota coletada foi distribuída entre os recipientes de armazenagem. Para a coleta água subterrânea utilizou-se *bailers* descartáveis de 100 mL, Figura 3. Assim como as amostras de chorume e água superficiais, o conteúdo de água subterrânea presente nos *bailers* foi distribuído nos respectivos recipientes de armazenagem. Antes da coleta das águas subterrâneas todos os poços foram purgados com o objetivo de eliminar a água estagnada dentro do poço e assim possuir uma amostra mais representativa do local.

Figura 3 - Amostragem de água subterrânea utilizando Bailer.





A utilização de mais de um frasco foi necessária em decorrência das diferentes técnicas de preservação exigidas pelos parâmetros analisados, como se pode observar no Quadro 1. Três frascos de polipropileno de 100 mL foram utilizados para coleta de cada uma das amostras de água superficial e chorume. Para coleta de água subterrânea alterou-se apenas a capacidade dos frascos de armazenagem, 20 mL, devido ao pequeno diâmetro do piezômetro e conseqüentemente a capacidade do *bailer* utilizado. Os frascos, utilizados para estocar as amostras destinadas para análise de metais, foram descontaminados através do contato com uma solução de 5 % de ácido nítrico, por aproximadamente 72 h.

Quadro 1 – Técnicas de amostragem e preservação de amostras.

Frasco	Análise	Capacidade do Frasco		Técnica de Preservação	Armazenagem
		Água Superficial e Chorume	Água Subterrânea		
1	Metais	100 mL	20 mL	Adição de ácido nítrico concentrado até pH<2	4°C
2	Ânions	100 mL	20 mL	-	4°C
3	Amônia	100 mL	20 mL	Adição de ácido Sulfúrico concentrado até pH<2	4°C

3.4. Preparo de Amostras e Análise

Parâmetros físico-químicos

O pH, OD, ORP, condutividade elétrica, temperatura e salinidade, foram determinados diretamente *in loco*, a partir de uma sonda multiparâmetro, modelo QED MP20D. A determinação desses parâmetros nas águas subterrâneas ocorreu em superfície, pois o diâmetro dos piezômetros não permitiu a entrada do equipamento. Nas células de chorume e nas lagoas, onde há maior concentração de matéria orgânica, esses parâmetros não foram analisados pois poderia danificar o equipamento.

Ânions

As amostras para a determinação dos ânions foram filtradas em filtro de 0,22 µm e analisadas no cromatógrafo iônico, marca Thermo Scientific, modelo Dionex ICS-5000.

Amônia

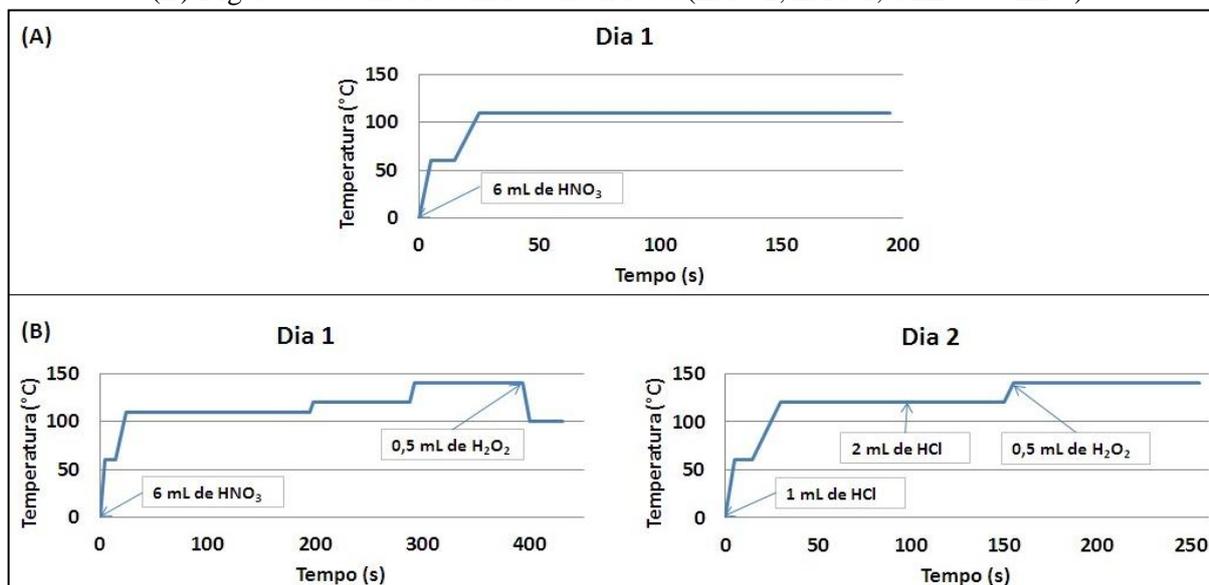
Realizou-se a determinação de amônia a partir de eletrodos de amônia, da marca digimed, modelo DM-23. Primeiramente neutralizou-se 5 mL de amostras com hidróxido de sódio e em seguida adicionou-se 0,1 mL de solução ISA a fim de aumentar o pH das amostras para aproximadamente 13. As leituras foram realizadas sob agitação constante.

Metais

Para a quantificação dos metais, as amostras passaram por um processo de digestão sendo posteriormente analisadas por espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), marca Perkin Elmer, modelo Optima 7000 DV. Primeiramente aqueceu-se 25 ml de amostra homogênea em uma chapa de aquecimento à 70°C, até a redução do volume para aproximadamente 3 ml. Após esse processo as amostras foram digeridas em um bloco digestor com 6 mL de ácido nítrico concentrado bidestilado. A melhor digestão da matéria orgânica das amostras mais concentradas foi obtida em 2 dias de digestão e com a adição de 3 mL de ácido clorídrico e 1 mL de peróxido de hidrogênio. A Figura 4 mostra o programa de temperatura e tempo utilizados na digestão das amostras. No final as amostras digeridas foram transferidas para um *falcon* e o volume aferido à

25 mL com água milli-Q. As amostras de água subterrânea não passaram pelo processo de digestão, pois não apresentavam coloração, sugerindo que não houvesse material particulado.

Figura 4 – (A) Digestão das amostras menos concentradas (JAZ 1, JAZ 2, LN 1, LAG 4, LAG 3).
(B) Digestão das amostras mais concentradas (LAG 2, LAG 1, CEL 3 e CEL 4).



3.5. Análise Multivariada

Os dados foram analisados utilizando análise de componente principal. A análise de componente principal (PCA) é uma técnica de projeção multivariada descritiva com base em uma combinação linear de variáveis para obter os componentes principais (PCs), que são representados graficamente ortogonalmente um com o outro, a fim de obter o máximo de variância explicada resultante da grande separação espacial das amostras em uma projeção gráfica (ROCHA *et al.*, 2012)

Os modelos foram construídos através do software O Unscrambler X 10.4 do CAMO Software Company. Os valores foram centrados na média, escalados pela divisão pelos respectivos desvios-padrão (A/SD.), sem rotação, validação *cross* e usando o algoritmo *Simple Value Decomposition* (SVD).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados do presente estudo foram comparados com os padrões máximos permitidos pela legislação vigente para os parâmetros averiguados em cada tipo de matriz estudada. Desta forma, a Tabela 1 apresenta um resumo dos níveis tolerados em cada resolução.



Tabela 1 - Níveis máximos tolerados pelas legislações de água subterrânea, superficial e efluente.

Parâmetro	Resolução N° 430 (BRASIL, 2011) – Chorume	Resolução 396 (BRASIL, 2008) – Água Subterrânea	Resolução N° 357 (BRASIL, 2005) – Água Superficial
Amônia (mg/L)	20	-	-
Temperatura (°C)	<40	-	-
OD (µg/L)	-	-	> 5000
pH	5-9	5-9	6-9
Cd (µg/L)	200	5	1
Cr (µg/L)	1100	50	50
Cu (µg/L)	1000	2000	9
Fe (µg/L)	15000	300	300
Mn (µg/L)	1000	100	100
Na (mg/L)	-	200000	-
Ni (µg/L)	2000	20	25
Pb (µg/L)	500	10	10
Cloreto (mg/L)	-	250	250
Nitrato (mg/L)	-	10	10
Sulfato (mg/L)	-	250	250

4.1. Caracterização do Chorume

As características do chorume (CEL 3 e CEL 4) e do efluente das lagoas de decantação (LAG 1, LAG 2, LAG 3 e LAG 4) coletados no aterro podem ser conferidas na Tabela 2.

Os resultados encontrados evidenciam uma melhora na qualidade do chorume bruto que sai das células até chegar na LAG 4. Esta afirmação pode ser confirmada pelos dados mostrados na Tabela 2, mas principalmente pelas concentrações dos metais alcalinos, amônia e ânions. A alta concentração de amônia existente no chorume é decorrente provavelmente da desaminação de aminoácidos durante a decomposição da matéria orgânica (MOR *et al*, 2006). Os valores encontrados para a amônia encontram-se muito acima dos limites estabelecidos pela legislação N° 430 do CONAMA de 2011 para lançamento de efluente diretamente em corpos receptores, o que representa uma forte ameaça aos recursos hídricos da região em casos de vazamento (BRASIL, 2011).

O chorume é um efluente bastante complexo que apresenta características intrínsecas as características e composição de cada aterro. Assim, a comparação dos resultados encontrados nesse estudo com estudos realizados em outros aterros não é uma forma eficiente de analisar os resultados. Mas observa-se que o chorume em estudo no presente trabalho, apresenta características semelhantes as encontradas no levantamento realizado por Souto & Paviole (2007) sobre a composição do chorume de aterros brasileiros.

As concentrações de Fe e Mn nas células de deposição de lixo encontram-se muito próximas ou até mesmo acima dos limites máximos permitidos pela legislação (BRASIL, 2011). Significando que a presença de vazamentos de chorume das células de deposição de lixo irá influenciar nas características de potabilidade do meio aquático regional. As concentrações menos elevadas, dentro dos limites da legislação, encontradas para o Cd, Cr, Cu, Ni e Pb podem ser justificadas pela baixa solubilidade destes metais nas condições prevalentes (pH alcalino, elevado teor de matéria orgânica, redução de sulfato), uma vez que podem precipitar como hidróxidos e/ ou como sulfetos. As baixas concentrações também podem ser atribuídas aos mecanismos de retenção pelo solo, sedimentos e material em suspensão, à complexação dos metais com a matéria orgânica ou até mesmo pela baixa concentração desses metais nos materiais dispostos no aterro estudado (BUSCHINELLI, 1985; SININHO & MOREIRA, 1996).

A legislação para lançamento de chorume em águas não apresenta valores máximos para os ânions estudados no presente trabalho (BRASIL, 2011). Os valores médios encontrados para cloreto, nitrato e sulfato estão dentro da faixa apresentada por Souto e Povinelli (2007). Altas concentrações de cloreto são comuns em lixiviados e contribuem para a elevada toxicidade do lixiviado (RODRIGUES, 2004).

Tabela 2 – Características do chorume e do efluente das lagoas de decantação.

Local	Amônia (mg/L)	Metais Alcalinos (mg/L)			
		Ca	K	Mg	Na
CEL 3	1208	1999,73 ± 16,07	6770,49 ± 17,39	708,47 ± 17,39	9608,27 ± 16,07
CEL 4	578	3379,64 ± 73,88	6264,74 ± 22,62	1050,03 ± 0,61	7546,90 ± 22,90
LAG 1	72,6	67,65 ± 4,61	289,09 ± 4,61	34,55 ± 0,27	401,70 ± 4,61
LAG 2	104,2	119,38 ± 7,45	386,29 ± 16,14	60,60 ± 0,38	481,00 ± 13,80
LAG 3	0,2	32,39 ± 1,27	42,30 ± 0,63	10,57 ± 0,63	57,00 ± 2,10
LAG 4	0,1	24,12 ± 1,09	40,85 ± 0,75	8,85 ± 0,06	58,62 ± 2,29

Local	Metais Pesados (µg/L)						
	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb
CEL 3	<0,5	26,1±4,3	50,3±1,7	42796,2±607,7	967,0±7,6	284,4±10,0	217,2±47,2
CEL 4	<0,5	745,0±4,3	66,2±1,3	9335,1±40,7	1495,9±12,7	127,7±1,5	201,5±5,5
LAG 1	<0,5	170,5±1,9	27,9±2,1	3836,8±25,6	376,2±1,5	86,6±2,1	98,7±5,8
LAG 2	<0,5	404,0±3,3	42,4±1,2	3849,6±18,4	667,1±8,0	83,6±3,2	119,2±10,1
LAG 3	<0,5	<1,1	16,4±1,9	1928,8±10,6	174,5±0,8	<3,6	35,1±3,8
LAG 4	<0,5	<0,4	17,6±2,5	305,0±4,5	51,9±1,1	<1,4	34,0±13,3

Local	Ânions (mg/L)		
	Cloreto	Nitrato	Sulfato
CEL 3	3537,835	< L.D.	851,7
CEL 4	2,141,1	< L.D.	792,3
LAG 1	1188,4	< L.D.	237,5
LAG 2	1253,3	< L.D.	309,6
LAG 3	149,1	< L.D.	33,9
LAG 4	154,2	< L.D.	21,1

4.2. Caracterização das Águas

A Tabela 3 apresenta os resultados dos parâmetros utilizados neste estudo para caracterização dos recursos hídricos da região do aterro. Coletou-se três amostras de água subterrânea, PZ 1 (branco), PZ 2 e PZ 3, além de água superficial de uma jazida de extração de areia existente ao lado do aterro (JAZ 1). As amostras JAZ 2 e LN 1 foram coletadas de modo a obter um *background* da região.

As águas superficiais investigadas são classificadas pela Resolução N° 357 do CONAMA (BRASIL, 2005) como águas doces, pois possuem salinidade inferior a 0,5 %. Esse mesmo parâmetro não é avaliado em águas subterrâneas. Os valores de pH das águas encontram-se dentro dos limites estabelecidos. Nas resoluções não constam os valores máximo de temperatura e amônia (BRASIL, 2005; BRASIL, 2008). No entanto observa-se um valor mais elevado para amônia na JAZ 1 quando comparado aos resultados encontrados nos outros locais de coleta de água superficial. Desta forma, acredita-se que o valor encontrado na JAZ 1 não é característico da região, o que pode ser forte indício da presença de contaminação no local.

Tabela 3 - Características dos recursos hídricos regional.

Local	Parâmetros Físico-Químicos						
	Amônia (mg/L)	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	Condutividade elétrica (mS/cm)	pH	ORP (mV)	Salinidade (g/Kg)
PZ 1	0,45	24,62	2,17	0,100	5,05	+80	0,05
PZ 2	0,20	24,76	2,11	0,074	6,39	+81	0,04
PZ 3	0,20	24,67	3,11	0,332	7,28	+122	0,01
JAZ 1	1,15	30,39	7,09	0,179	7,35	+50	0,09
JAZ 2	0,10	28,35	6,70	0,049	7,73	+131	0,03
LN 1	0,00	29,26	7,35	0,068	7,62	+103	0,04
Local	Metais Alcalinos (mg/L)						
	Ca	K	Mg	Na			
PZ 1	1,42 ± 0,04	1,98 ± 0,01	0,72 ± 0,01	8,70 ± 0,12			
PZ 2	1,56 ± 0,04	1,87 ± 0,01	0,65 ± 0,01	5,70 ± 0,09			
PZ 3	46,18 ± 1,35	111,23 ± 1,89	10,03 ± 0,05	170,35 ± 2,55			
JAZ 1	7,35 ± 0,22	6,53 ± 0,42	4,08 ± 0,06	10,93 ± 0,57			
JAZ 2	1,64 ± 0,06	1,39 ± 0,02	1,02 ± 0,006	5,09 ± 0,20			
LN 1	3,31 ± 0,16	1,62 ± 0,04	1,43 ± 0,007	6,03 ± 0,23			
Local	Metais Pesados (mg/L)						
	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb
PZ 1	<0,5	<0,06	<4,0	653,1±2,2	18,3±0,70	024,2±1,5	12,5±4,9
PZ 2	<0,5	<0,06	<4,0	694,4±11,1	628,0±24,7	117,5±1,1	<6,9
PZ 3	<0,5	<0,06	<12,0	63,2±0,7	137,1±5,3	441,3±0,8	26,0±8,0
JAZ 1	<0,5	<0,06	<4,6	359,3±2,0	144,6±0,9	< 1,40	<10
JAZ 2	<0,5	<0,06	<4,6	56,1±1,6	12,6±0,1	< 1,40	<10
LN 1	<0,5	<0,06	<4,6	582,3±4,9	10,4±0,1	< 1,40	<10
Local	Ânions						
	Cloreto	Nitrato	Sulfato				
PZ 1	14,04	< L.D.	7,55				
PZ 2	11,92	< L.D.	< L.D.				
PZ 3	166,86	8,90	8,44				
JAZ 1	18,25	< L.D.	4,59				
JAZ 2	8,20	< L.D.	< L.D.				
LN 1	17,96	39,10	5,67				

O OD apresenta valores acima do mínimo exigido pela legislação vigente para águas superficiais. A legislação de águas subterrâneas não apresenta valores referentes ao OD, no entanto as amostras apresentaram resultados dentro do valor normalmente encontrado em águas subterrâneas (zero a 5 mg/L) (Feitosa & Filho, 2000).

Condutividade elétrica, ORP são padrões de qualidade não encontrados nas legislações de águas subterrâneas e superficial (BRASIL, 2005; BRASIL, 2008). Águas com baixa condutividade, menores que 0,2 mS/cm, podem ser potáveis por apresentarem concentrações baixas de sais dissolvidos (QUIMLAB, 2016). Desta forma, observa-se que o PZ 3 apresenta valores de condutividade acima do valor considerado para águas potáveis, indicando provável contaminação nesse ponto por chorume oriundo do aterro. Além disso, salienta-se que a condutividade elétrica é uma medida da concentração total de sais dissolvidos presentes na água, o que é evidenciado pela alta concentração de cloreto encontrada no local (QUIMLAB, 2016).

A legislação brasileira para águas superficiais não apresenta valores máximos permitidos para nenhum dos metais alcalinos analisados (BRASIL, 2005). Na legislação para águas subterrâneas consta apenas a concentração máxima permitida de sódio (200 mg/L) e neste caso, os resultados estão



abaixo do limite (BRASIL, 2008). Porém, de um modo geral, nota-se um enriquecimento de todos os metais no PZ3 e na JAZ 1, indicando provável interação entre o chorume e essas águas.

Todos os metais pesados pesquisados estão inseridos nos padrões de qualidade exigidos pelas legislações de água subterrânea e superficial (BRASIL, 2005; BRASIL, 2008). As concentrações de Cd, Cr, Cu estão dentro do limite máximo permitido em todos os locais de amostragem. Os níveis de ferro estão abaixo do limite admitido apenas no PZ 3 e JAZ 2. Nota-se, no entanto, que o branco de água subterrânea (PZ 1) e os locais JZ 1 e LN 1 também apresentam alterações no nível de Fe. Desta forma, é provável que a concentração de Fe encontrada no PZ 2 não é proveniente da influência do aterro sanitário. A concentração de Mn na JAZ 1 atende a legislação. Porém encontra-se níveis elevados e acima do permitido no PZ 2 e PZ 3, indicando atuação do chorume nessas águas. A concentração de Ni encontra-se alterada no PZ 1 e PZ 3 e muito próxima do limite no PZ 2. Mas os resultados apontam contaminação no PZ 3, pois a concentração deste piezômetro é quase o dobro da encontrada no PZ 1. Na JAZ 1 a concentração de Ni está dentro do permitido pela legislação. Com relação as Pb foi identificado níveis maiores que o permitido no PZ 1 e PZ 3, entretanto a concentração do PZ 1 foram mais elevadas eliminando a possibilidade da concentração elevada encontrado no PZ 3 ser proveniente do chorume. Na JAZ 1 a concentração de Ni e Pb estão dentro do permitido pela legislação. Analisando os níveis de metais, de uma maneira geral, nota-se que a maioria das concentrações de metais alteradas representa muito mais uma característica da região do que contaminação. Com exceção nos níveis de Mn, no PZ 2 e PZ 3, e de Ni, no PZ 3.

Com relação aos níveis de ânions encontrados tanto em águas subterrâneas como superficiais observa-se que todos os parâmetros analisados estão dentro do limite máximo permitido pelas legislações vigentes (BRASIL, 2005; BRASIL, 2008). O nível de cloreto encontrado no PZ 3 encontra-se dentro do limite máximo permitido pela legislação, no entanto, quando esse valor é comparado aos outros piezômetros e a background regional observa-se um valor significativamente superior que pode indicar interação do chorume com a água subterrânea do local.

4.3. Análise Multivariada

A fim de facilitar a interpretação das características da área do aterro os dados foram submetidos à análise de componente principal (PCA). O PCA foi aplicado para a análise exploratória dos locais presentes dentro da área do aterro (CEL 3, CEL4, LAG 2, LAG 2, LAG 3, LAG 4, PZ 1, PZ 2 e PZ 3) e os seguintes parâmetros: Ca, Na, K, Mg, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, cloreto, sulfato e amônia. Os resultados do PCA mostraram que apenas dois componentes são suficientes e adequados para representar as características da área do aterro e explicar 95% da variância total.

Três conjuntos principais de amostra podem ser observados no gráfico de Scores, Figura 5. A primeira zona representa os locais dentro do aterro com maiores concentrações de poluentes que são as células de deposição de lixo, ou seja, onde foi coletado o chorume puro. Pelo gráfico de loadings, Figura 5, é possível afirmar que é nesses locais que estão as maiores concentrações de todos os poluentes estudados. A zona dois composta pelas LAG 1 e 2 caracteriza os locais, que depois das CEL 3 e 4, apresentam as maiores ocorrência de poluentes.

Na terceira zona os locais estão bastante aglomerados e por esse motivo foi gerado um novo gráfico de Scores a fim de observar melhor a relação existente entres esse locais. O gráfico de Scores, apresentado na Figura 6, mostra duas zonas bastante distintas, sendo a primeira composta pelas LAG 3 e 4 e a segunda pelo PZ 1 e 2. Desta forma, é possível comprovar que o PZ 2 se aproxima do PZ 1, branco do local, evidenciando que não existe contaminação neste local. Com relação ao PZ 3 nota-se que ele se aproxima mais das LAG 3 e 4. Isto é justificado pelas altas concentrações de metais alcalinos e de cloreto encontrado neste local, Figura 6.

Figura 5 – (A) Gráfico de Scores gerado para todas as amostras. (B) Gráfico de Loadings gerado para todas as amostras.

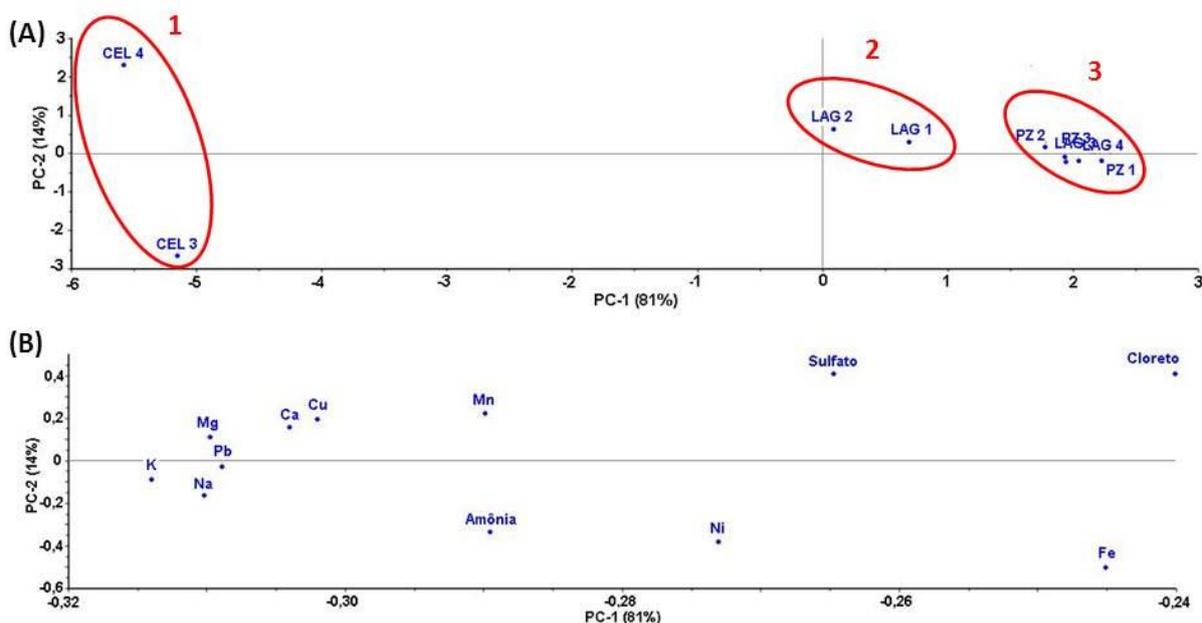
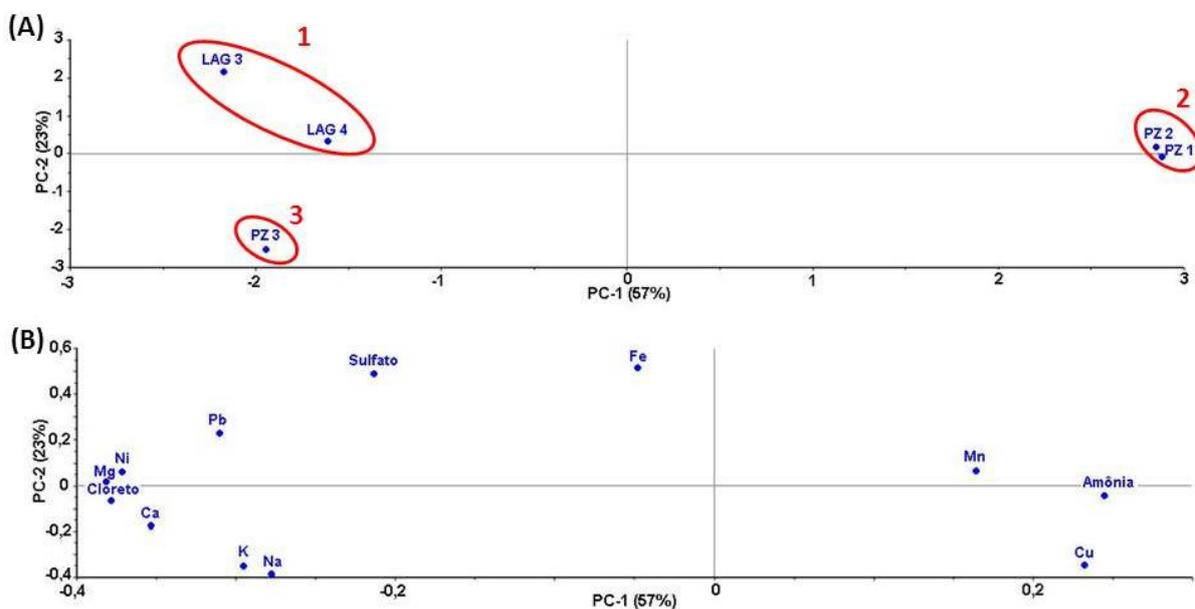


Figura 6 – (A) Gráfico de Scores gerado apenas para os locais presentes na Zona 3. (B) Gráfico de Loadings apenas para os locais presentes na Zona 3.



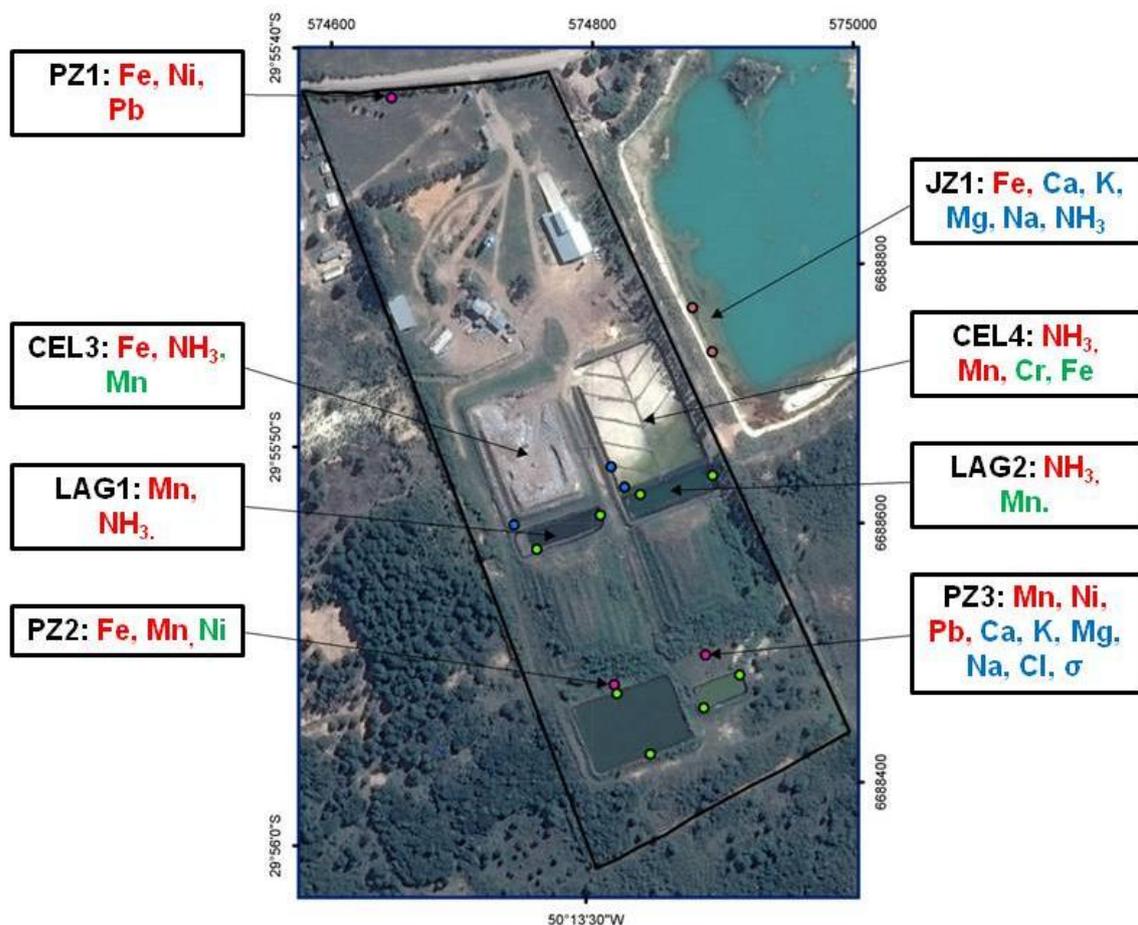
5. CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo demonstram que o chorume coletado e estudado no presente trabalho apresenta grande potencial poluidor em caso de vazamentos e contato com as águas do seu entorno. Além disso, é possível notar a partir da análise dos resultados que as águas subterrâneas e a jazida apresentam influência do lixiviado. O que significa que atualmente ou em algum momento

houve vazamento ou percolação do chorume e que esse atingiu os recursos hídricos do entorno. Esta constatação fica evidente ao observar a caracterização do PZ 3 e da JAZ 1. A contaminação do PZ 3 pode ser evidenciada por parâmetros como, cloreto, condutividade elétrica, metais alcalinos. Já a contaminação da JAZ 1 é constatada a partir da comparação de resultados como, amônia e metais alcalinos, com o background regional. Assim salienta-se a importância da realização deste tipo de estudo a fim de identificar danos ao meio ambiente e evitar que os problemas atinjam maiores proporções.

As conclusões citadas acima podem ser resumidas a partir da Figura 7. A figura apresenta todos os pontos de monitoramento e os parâmetros que se encontram acima do limite máximo permitido, próximo do limite assim como os parâmetros que se encontram alterado em relação ao background regional.

Figura 7 – Resumo dos pontos de amostragem com parâmetros de monitoramento.



Vermelho: Parâmetros acima do limite máximo; Azul: Parâmetros alterados em relação ao *background*; Verde: parâmetros próximos do limite máximo.

Agradecimentos

Ao Instituto do Petróleo e dos Recursos Naturais e a CAPES.



REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13896**: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.

APHA. American public Health Association. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 20ª ed. Washington: APHA, 1998.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005. Brasília: CONAMA, 2005. 27 p.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430**, de 13 de maio de 2011. Brasília: CONAMA, 2011. 9 p.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 396**, de 03 de abril de 2008. Brasília: CONAMA, 2008. 11 p.

_____. **Política Nacional de Resíduos Sólidos** (Lei nº 12.305/2010). Brasília: Diário Oficial da União, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 01 de ago. 2015.

BARROS, M. J. G. **Utilização de Wetlands no Tratamento de Lixiviado de Aterros Sanitários**. Rio de Janeiro, 111p., 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

BRITO-PELEGRINI, N. N., *et al.* Ensaio biológicos com sementes para avaliar a redução da toxicidade do chorume tratado por processo fotoquímico. **Minerva**, v. 6, n. 3, p. 219-228, 2009.

BUSCHINELLI, C. C. A.. **Contaminação do Solo, Plantas e Água Subterrânea por Cd, Pb, Cr, Cu e Zn em Área de Aterro com Lixo em Porto Alegre, RS**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1985.

CASTILHOS, A. B. *et al.* **Resíduos Sólidos Urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. 294p.

CEMPRE. COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento integrado**. São Paulo: CEMPRE, 2010.

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

FEAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Orientações básicas para Operação de Aterro Sanitário**. Belo Horizonte: FEAM, 2006. 36p.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M. (Coordenadores). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID/UFPE, 2 Ed, 391p, 2000.

FERNÁNDEZ, D. S. *et al.* Identification and assessment of water pollution as a consequence of a leachate plume migration from a municipal landfill site (Tucumán, Argentina). **Environ Geochem Health**, v. 36, p. 489–503, 2014.



FILHO, J. L. et al. Aspectos de saneamento ambiental da baixa do CAIC no bairro lagoa seca na cidade de Apodi-RN. **Revista Científica do IFAL**, v. 1, n. 2, 2011.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

KEMERICH, P. D. C. Caracterização do solo em área submetida a derramamento de lixiviado decorrente de aterro sanitário. **Revista Monografias Ambientais**, v. 14, n. 1, p. 2950–2959, 2014.

KIM, K. W. et al. The electrolytic decomposition mechanism of ammonia to nitrogen at an IrO₂ anode. **Electrochimica Acta**, v. 50, p. 4356-4364, 2005.

LABANOWSKI, J.; Pallier, V.; Feuillade-Cathalifaud, G. Study of organic matter during coagulation and electrocoagulation processes: Application to a stabilized landfill leachate. **Journal of hazardous materials**, v. 179, n. 1, p. 166-172, 2010.

LANGE, L. C. *et al.* Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado empregando reagente de Fenton. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 175-183, 2006.

MOR, S. *et al.* Leachate characterization and assessment of groundwater pollution near municipal solid waste landfill site. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 118, p. 435-456, 2006.

PARKER, A. **In: Practical Waste Management**. Behavior of wastes in landfill methane generation. Chichester: John Wiley & Sons, 1983. p.223-234.

QUIMLAB. **QUIMLAB Soluções em Química**. Disponível em:
<http://www.quimlab.com.br/guiadoselementos/variaveis_fisicas.htm>. Acesso em: 14 jul. 2016.

ROCHA, W. F. C. *et al.* Chemometric Techniques Applied for Classification and Quantification of Binary Biodiesel/Diesel Blends. **Analytical Letters**, v. 45, n. 16, p. 2398-2411, 2012.

RODRIGUES, F. S. F. **Aplicação da ozonização e do reativo de Fenton como pré-tratamento de chorume com os objetivos de redução da toxicidade e do impacto no processo biológico**. Rio de Janeiro. 90 p., 2004. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

SANTOS, A. A. **Qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do aterro sanitário de Cuiabá-MT**. Cuiabá. 112 p., 2008. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Programa Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

SOUTO, G. B.; POVINELLI, J. Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. ABES. Belo Horizonte, 2007.

SISINNO, C. L. MOREIRA, J. C. 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.