



III-1187 - INFLUÊNCIA PLUVIOMÉTRICA NA CONCENTRAÇÃO DOS POLUENTES NO LIXIVIADO GERADO NO ATERRO SANITÁRIO DE TERESINA - PI

Nathália Sousa Silva ⁽¹⁾

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Piauí (UFPI).

Johnnatha Carlos Carvalho Noronha ⁽¹⁾

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Pós-graduando em Meio Ambiente e Saneamento Básico (Unimais). Pós-graduando em Projeto Estrutural (Unimais). Pós-graduando em Engenharia de Produção (Unimais).

Danilo Prado Pires ⁽¹⁾

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Mestre em Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas (FEC-UNICAMP). Doutorando no Programa da Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria (PPGEC-UFSM).

Carlos Henrique da Costa Braúna ⁽¹⁾

Docente no Departamento de Recursos Hídricos, Geotecnia e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Piauí (UFPI). Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Mestre em Saneamento Ambiental Pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Doutor em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

Endereço ⁽¹⁾: Campus Universitário Ministro Petrônio Portella - Ininga - Teresina - PI - CEP: 64049-550- Brasil - Tel: (86) 98138-8501 - e-mail: nathssousa@gmail.com

RESUMO

A partir da lei 12.305/2010 foi estabelecida a diretriz que determinou os aterros sanitários como local apropriado para disposição de resíduos sólidos, com respectiva coleta, armazenamento e tratamento dos lixiviados produzidos em seus compartimentos. O lixiviado varia a concentração de seus poluentes de acordo com características relacionadas com o tempo de depósito dos resíduos aterrados e com as condições climáticas locais. A quantificação do lixiviado formado é feita através de métodos empíricos e computacionais levando em consideração diversos fatores como, precipitação, evapotranspiração, infiltração, percolação de efluentes, dentre outros parâmetros. Para tratamento adequado, é necessário escolher o tipo de processo que mais se adequa a sua composição variada, objetivando a minimização dos riscos ambientais. O presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise por meio da influência direta da pluviometria na vazão de lixiviado, utilizando o Método Suíço e relacionar com respectiva concentração de poluentes, a fim de avaliar a eficiência do tratamento utilizado no Aterro Sanitário de Teresina. As informações foram obtidas por meio de dados secundários disponibilizados pelo Consórcio Teresina Ambiental (CTA). Observou-se que a linha de geração de lixiviado seguiu os índices pluviométricos locais, constatando a influência da precipitação. O aterro apresentou grande variabilidade nas concentrações dos seus parâmetros ao longo do tempo, principalmente de DBO e DQO, que apresentaram diluição em períodos chuvosos. O Nitrogênio Amônia e Fósforo Total não apresentaram influência da precipitação, estando relacionados com a fase de degradação anaeróbia do aterro. Quanto ao tratamento do lixiviado na ETE, observou-se a necessidade de melhorias com adição de etapas de pré/pós-tratamento juntamente com a coagulação/floculação, além de relacionar os poluentes tanto com os níveis pluviométricos quanto com nível de degradação do aterro.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro sanitário; resíduos sólidos; lixiviado; Método Suíço.

INTRODUÇÃO

A definição de lixiviado, vem da formação de fluidos característicos gerados no aterro sanitário que são resultantes de várias fontes, dentre elas a umidade dos resíduos depositados, a água da chuva que penetra nas células do aterro e o próprio chorume (BOCCHIGLIERI, 2010). Com isso, a coleta, armazenamento e

tratamento apropriado desses líquidos são de suma importância para minimizar os impactos ambientais causados por ele tanto no entorno quanto no próprio aterro, com sua classificação estabelecida na NBR 13463 (ABNT, 1995).

A vazão de lixiviado está correlacionada com os fenômenos hidrológicos locais, uma vez que mesmo apresentando uma concentração elevada de matéria orgânica, existe a possibilidade de haver diluição com águas pluviais infiltradas. Assim, a escolha de uma alternativa para tratamento de lixiviado deve ser considerada mais profundamente, em função, principalmente, da variação temporal da qualidade do chorume (HAMADA *et al.*, 2004).

Para essa estimativa de vazão, alguns métodos empíricos e computacionais podem ser adotados para a quantificação do lixiviado a ser tratado, como o Método Suíço. Porém, essa análise é feita de forma prévia fornecendo apenas parâmetros para dimensionamento de um sistema de drenagem eficaz, não levando em consideração a concentração existente de carga poluidora a ser tratada.

No estado do Piauí, o Aterro Sanitário de Teresina está em fase de adaptação, transpondo as áreas de aterro controlado em operação para a implantação de aterro sanitário e, atualmente, recebe os resíduos da coleta domiciliar, de serviços de limpeza pública e de conservação, de resíduos depositados pela população nos PRR's (Pontos de Recebimento de Resíduos), penas e vísceras, bem como aqueles provenientes dos serviços realizados por empresas particulares e grandes geradores (TERESINA, 2021).

A região de Teresina, por se tratar de uma localização com clima subúmido seco, possui uma pluviosidade muito irregular, com sua magnitude alterando bastante ao longo dos anos e essas oscilações da chuva se estabelecem em uma das características principais do regime pluviométrico da cidade (MENEZES *et al.*, 2016).

Assim, o aterro sanitário local deve adaptar-se a essas variações pluviométricas, já que afetam diretamente a quantidade e qualidade do lixiviado gerado, acarretando mudanças na estratégia e operação das unidades de tratamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

O Aterro Sanitário de Teresina, situa-se entre os bairros Santo Antônio e Parque Juliana, a aproximadamente 1,5 km da Rodovia BR-316, localizado na região metropolitana de Teresina – PI.

Atualmente, o Aterro Sanitário contempla dois setores, definidos em Célula 1 e Célula 2. O primeiro setor, localizado a oeste junto ao acesso pela BR-316 e destacado em vermelho, correspondente a Célula 1. E o segundo setor, destacado em azul, situado a leste e subdividido em etapas de execução destinados a implantação do aterro sanitário, denominada de Célula 2 (Figura 1).

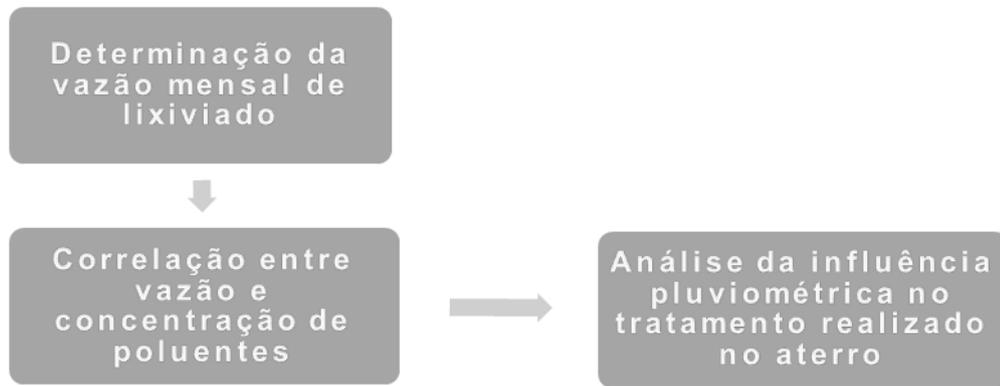
Figura 1 – Área total do terreno: Aterro Sanitário de Teresina - PI



Fonte: Adaptado de Google Maps, 2022.

A pesquisa foi premeditada com base na metodologia de quantificação de lixiviado gerado, levando em consideração os valores de concentração de poluentes e a vazão a partir de incidências pluviométricas (Figura 2).

Figura 2 – Etapas da pesquisa



Fonte: Autora, 2022.

Inicialmente, realizou-se a obtenção dos dados da variação pluviométrica mensal na região do aterro sanitário e após isso, a determinação da estimativa de vazão de lixiviado gerada mensalmente, tanto no período seco quanto no período chuvoso, utilizando o Método Suíço, uma vez que corresponde ao método que leva em consideração as características físicas reais da conformação dos resíduos.

A área (A) empregada no cálculo do método foi equivalente às áreas da Célula 1 e 2 representando, atualmente, os locais que possui geração de chorume em seus compartimentos, com valor métrico extraído da superfície topográfica levantada pela administradora do local.

O enfoque principal no desenvolvimento da quantificação da vazão de lixiviado foi concentrada na determinação do coeficiente k , com estimativa do valor desse coeficiente adotada de acordo com a execução da Célula 2, onde era feito o monitoramento do grau de compactação, e seu valor foi disponibilizado pelo Consórcio Teresina Ambiental (CTA).

O cálculo do volume dos líquidos lixiviados foi desenvolvido através da seguinte expressão empírica, apresentada pela Equação 1:

$$Q = \frac{A \cdot P \cdot k}{t} \quad (1)$$

Onde,

Q = vazão média do lixiviado ($L \cdot s^{-1}$);

A = área do aterro (m^2);

P = precipitação média anual (mm);

t = número de segundos em um ano (s);

k = coeficiente que depende do grau de compactação dos resíduos, com valores recomendados a partir de uma observação experimental.

Por conseguinte, foram feitas correlações entre vazão e concentração de poluentes com uso de associação estatística utilizando o Coeficiente de Correlação de Pearson considerando os parâmetros relacionados a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total.

RESULTADO DA PRIMEIRA ETAPA

Utilizou-se o período compreendido entre outubro de 2021 a julho de 2022 para a determinação mensal da vazão do lixiviado no aterro (Tabela 1).

Tabela 1 – Dados pluviométricos do período de realização da pesquisa

Ano/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46	108	170
2022	223	350	597	198	64	72	0	-	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de CTA.

Ressalta-se que no intervalo de análise a média pluviométrica mensal foi de 182,8 mm, apresentando valor aproximado aos encontrados nas médias de meses de alta pluviosidade. A área empregada foi de 30,7 ha ou 307.000 m², divididos em 26,7 ha equivalentes a Célula 1 e 4 ha pelas fases A e B em operação da Célula 2.

Com relação ao coeficiente de compactação k , durante a operação da fase A da Célula 2 do Aterro Sanitário de Teresina, foi medida em campo uma compactação média de 1,2 ton/mês, podendo ocorrer variações durante o período chuvoso. Esse valor foi utilizado de forma extrapolada para todas as áreas compreendidas pelo cálculo durante o trabalho para fins de estimação precisa, com adoção de $k = 0,20$, que equivale ao valor intermediário considerando que o aterro é fortemente compactado.

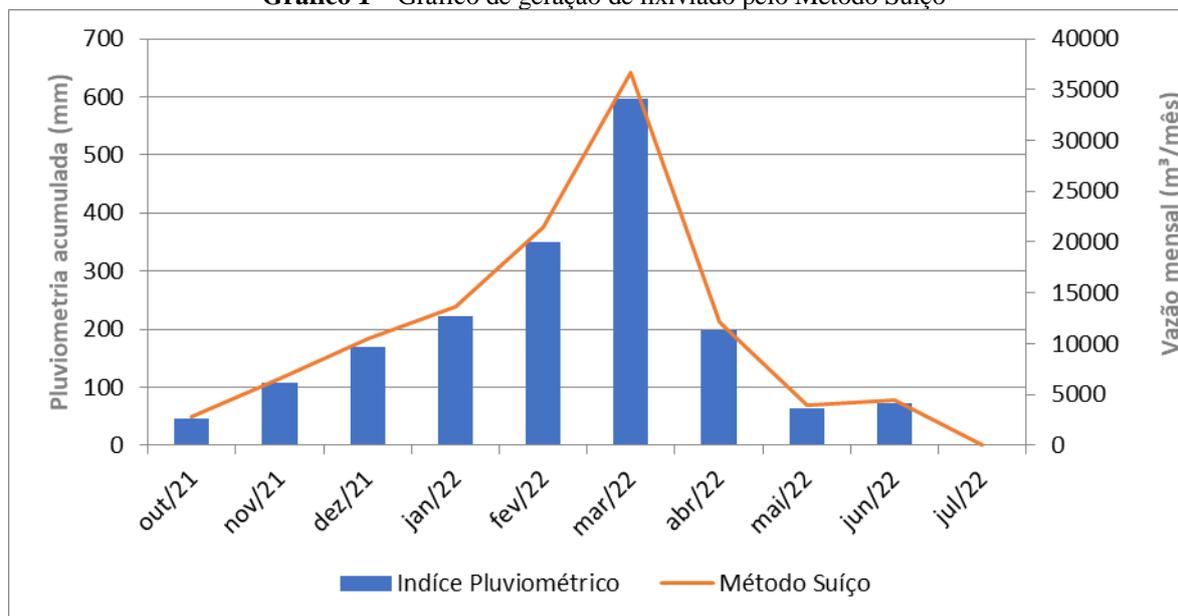
Os resultados correspondentes ao volume total estimado de lixiviado (Q_{mensal}) encontram-se discriminados mês a mês, como demonstrado na Tabela 2 e no Gráfico 1.

Tabela 2 - Estimativa de geração do volume de lixiviado

MÉTODO SUÍÇO				
Mês	Pluviometria (mm)	t (s)	Q (L/s)	Q_{mensal} (m ³ /mês)
out/21	46	2,68E+06	1,05	2824,40
nov/21	108	2,59E+06	2,56	6631,20
dez/21	170	2,68E+06	3,90	10438,00
jan/22	223	2,68E+06	5,11	13692,20
fev/22	350	2,42E+06	8,88	21490,00
mar/22	597	2,68E+06	13,69	36655,80
abr/22	198	2,59E+06	4,69	12157,20
mai/22	64	2,68E+06	1,47	3929,60
jun/22	72	2,59E+06	1,71	4420,80
jul/22	0	2,68E+06	0,00	0
TOTAL	-	-	-	112239,20
MÉDIA				11223,92

Fonte: Autora, 2022.

Gráfico 1 – Gráfico de geração de lixiviado pelo Método Suíço



Fonte: Autora, 2022.

Uma das falhas geradas pelo Método Suíço é a quantificação nula de lixiviado para meses que não apresentam precipitação, como é demonstrado no mês de julho de 2022. Essa ocorrência diverge do que de fato se observa na prática, já que a decomposição dos resíduos acontece de forma contínua, com a existência de acúmulo de água dentro dos compartimentos de deposição resultante das precipitações ocorridas em meses anteriores, ocasionando em um fluxo de lixiviação mensal mesmo quando há índices de chuva sobre o local.

De acordo com dados obtidos no Relatório de Operação do CTA, o volume gerado de lixiviado é medido em campo através da variação no nível da lagoa de equalização, levando em conta a cota atingida no dia. Dessa forma, as médias alcançadas diariamente giram em torno de 180 m³/dia ou 5.400 m³/mês, podendo triplicar em meses de período chuvoso.

Levando em consideração as quantificações feitas através do Método Suíço, nota-se que a diferença do volume médio estimado (Q_{mensal}) para o volume de lixiviado medido em campo corresponde a mais que o dobro das médias alcançadas, havendo uma superestimação da geração devido ao alto índice pluviométrico ocorrido durante o período trabalhado.

Em cenários onde a pluviosidade apresenta-se de forma distribuída, essa diferença percentual se manifesta de forma condizente com a alcançada em campo, evidenciando ainda assim uma linha de geração de lixiviado acompanhando o fluxo pluviométrico.

RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

Considerando a caracterização físico-química do lixiviado bruto proveniente do Aterro Sanitário de Teresina, a Tabela 3 apresenta os dados levantados a partir de análises laboratoriais do efluente. Especial atenção aos meses de outubro de 2021 e julho de 2022, onde os ensaios foram realizados em laboratórios diferentes do usado nos demais meses. Os espaços vazios correspondem a não realização ou não quantificação de análise do parâmetro no período em destaque.

Tabela 3 – Análises laboratoriais de parâmetros encontrados no lixiviado

Parâmetros/Período	DBO (mgO ₂ /L)	DQO (mg/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)
out/21	2073	3776	42,4	-
nov/21	1304	3242	104	1,6
dez/21	1338	3683	153	0,43
jan/22	1195	3450	1364	2,1
fev/22	722	2250	810	0,75
mar/22	427	2375	619	4,7
abr/22	1880	5375	0,1	1,6
mai/22	29,31	86,28	543	3,5
jun/22	448	1204	50	5,3
jul/22	3960	7865	74,3	-

Fonte: Adaptado de CTA.

Observa-se que houve grande dispersão de resultados nas variáveis analisadas durante o período, em parte devido à troca de laboratórios e em outra pela variação de precipitação durante o intervalo. Essa grande variabilidade também pode ser atribuída ao fato do aterro sanitário está em operação, com a entrada de novos resíduos diariamente, juntamente com a contribuição da geração de chorume proveniente da Célula 1, ocorrendo, dessa forma, diferentes fases de degradação simultaneamente.

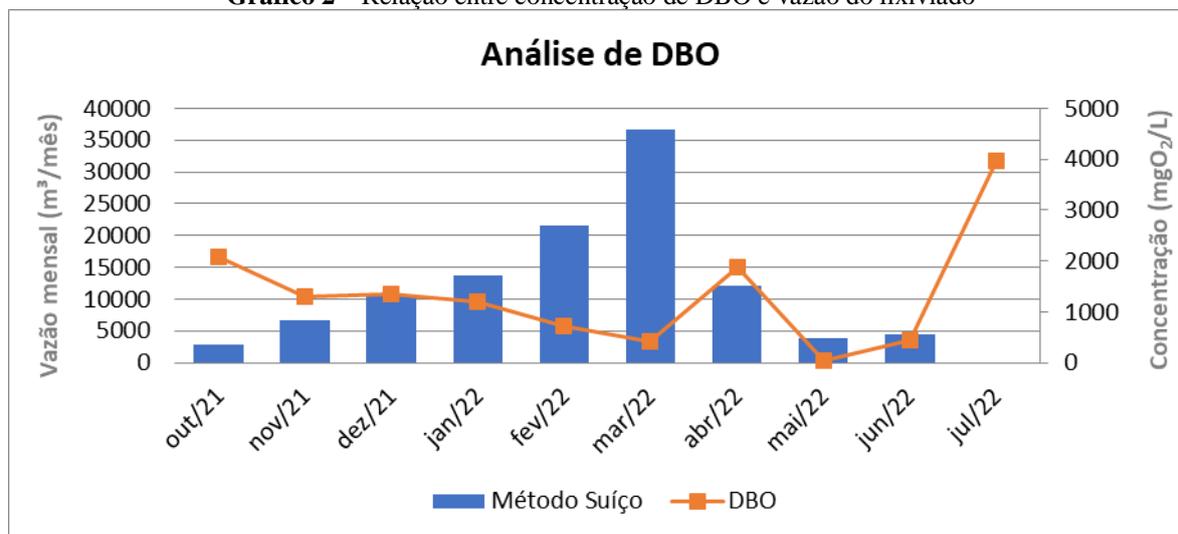
Em fato, os parâmetros analisados por Souto e Povinelli (2007), demonstraram a existência dessa grande faixa de variação, onde os valores médios obtidos neste estudo estão dentro dos intervalos das faixas expostas pelos autores, em que os valores mais prováveis apresentam frequência de até 89% de ocorrerem em aterros brasileiros.

A seguir, vemos a correlação entre a vazão gerada através do Método Suíço com o grau de concentração de poluentes nos efluentes durante o período estudado no trabalho.

DBO

O Gráfico 2 apresenta a relação entre DBO e a vazão encontrada através do Método Suíço.

Gráfico 2 – Relação entre concentração de DBO e vazão do lixiviado



Fonte: Autora, 2022.

A concentração de DBO para o período chuvoso foi consideravelmente menor do que o apresentado durante o período seco, demonstrando uma possível diluição do lixiviado proveniente das altas concentrações de líquido infiltrado nas camadas de detritos.

Para os meses de maio/22 e junho/22, ocorreram uma divergência dos resultados previstos para a época seca e esse fato pode ser ligado à alta variabilidade de resíduos que são confinados diariamente no aterro, alterando a quantidade de carga orgânica.

Utilizando o coeficiente de Pearson, chega-se ao valor de correlação negativa e moderada de 0,44, atenuando a conclusão de que estão inversamente relacionadas e demonstrando a influência na diluição por parte das precipitações.

O que se contradiz ao observado por Cintra *et al.* (2002) que tiveram como resoluções um aumento da concentração de DBO em períodos com altos índices pluviométricos no aterro controlado de Bauru em São Paulo e com os resultados encontrados por Maringonda (2004) que apresentou maiores concentrações de matéria orgânica, chegando à conclusão de que houve um aumento da atividade microbológica resultante do aumento das condições de umidade e lixiviação no aterro.

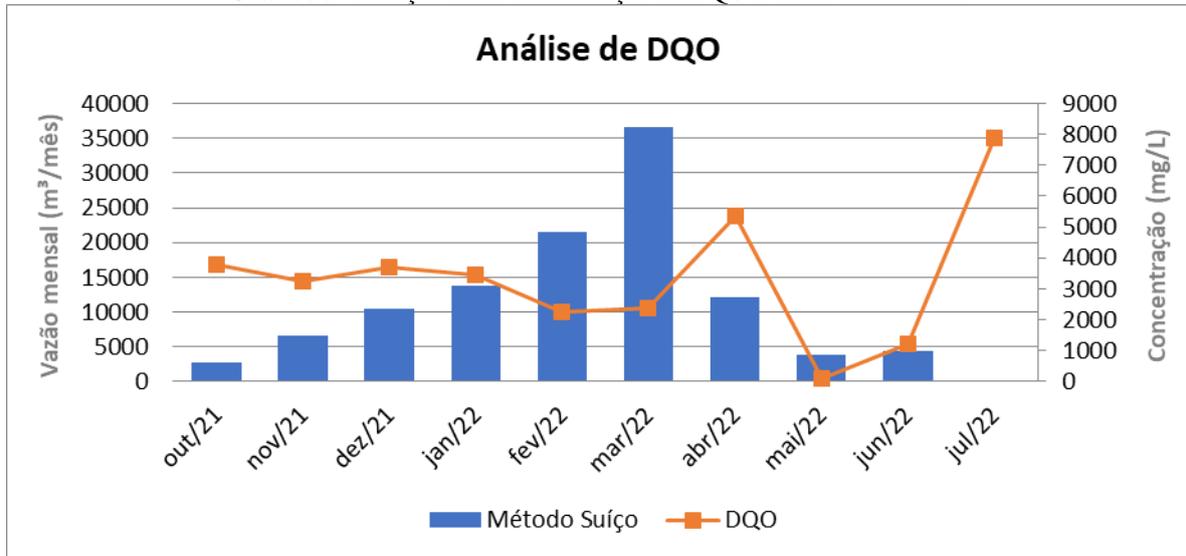
Já Santos Filho (2013) constatou situação semelhante a do presente estudo, também alcançando uma correlação negativa e atribuindo a diminuição dos valores de DBO a dissolvência do lixiviado, como Ibanez (2020) que atribuiu esse efeito da pluviometria ligada a interação com a diluição dos níveis de cloreto.

Em contrapartida, Catapreta (2017) não encontrou relações entre a variação dos parâmetros com a precipitação, além de pouca relação com a variação da vazão dos lixiviados.

DQO

O Gráfico 3 apresenta a evolução da carga poluente da DQO com valores obtidos da vazão.

Gráfico 3– Relação entre concentração de DQO e vazão do lixiviado



Fonte: Autora, 2022.

As concentrações de DQO seguiram o mesmo fluxo das relações encontradas entre a DBO e o período chuvoso, ocorrendo leve diluição nas análises com o aumento da pluviometria, sem alterações significativas, com coeficiente de Pearson negativo e com fraca correlação no valor de 0,23.

Em estudo, Bussman (2014) verificou que a precipitação pluviométrica não alterou de forma considerável as taxas de DQO no Aterro Sanitário de Lajeado, enquanto Santos Filho (2013) relacionou o aumento da pluviosidade com um decréscimo nos valores encontrados de DQO.

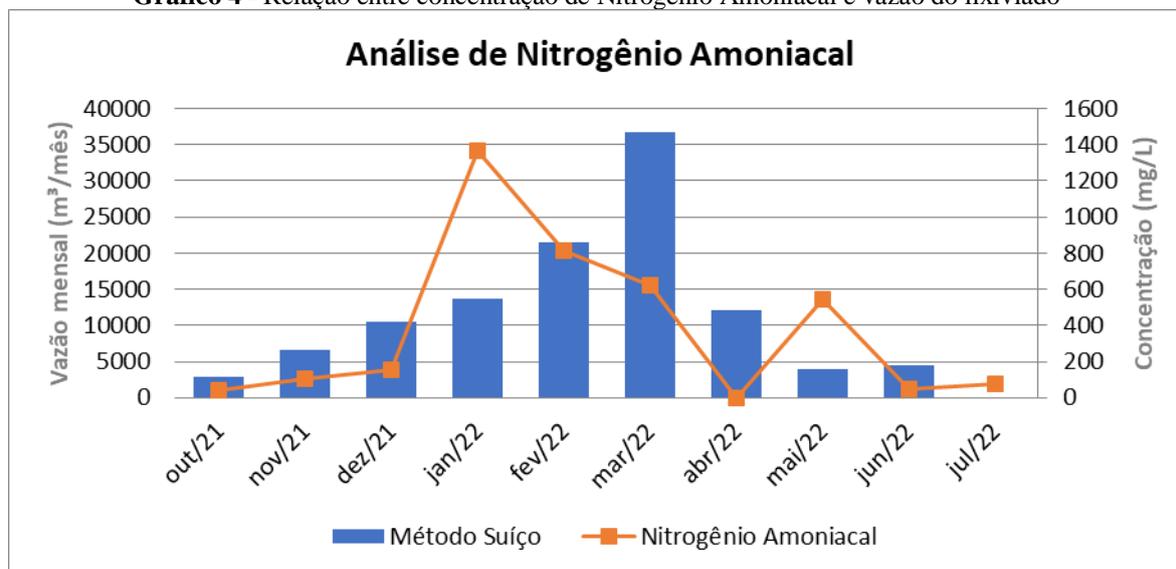
Em comparação a isso, Scheneider (2010) obteve variação considerável com aumento da DQO em relação ao aumento da vazão, evidenciando esse fato ao carreamento de matéria orgânica junto com o percolado.

NITROGÊNIO AMONIACAL

O nitrogênio amoniacal é considerado como a soma do gás amônia (NH_3) e do íon amônia (NH_4) que está sempre presente nos produtos resultantes dos processos aeróbio e anaeróbio que ocorrem nos aterros durante a estabilização da fração orgânica dos resíduos (TCHOBANOGLOUS *et al.* 1993).

A caracterização do lixiviado levando em consideração os níveis de Nitrogênio Amoniacal e sua relação com a vazão estimada anteriormente apresenta-se no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Relação entre concentração de Nitrogênio Amoniacal e vazão do lixiviado



Fonte: Autora, 2022.

De forma geral, não se observa relação entre a precipitação e as concentrações de nitrogênio amoniacal. Reforçado pelo conceito de que esse parâmetro está diretamente atrelado ao processo de degradação anaeróbia do aterro, sem efeitos considerados pela pluviometria da região.

De acordo com Abbas (2009), à medida que a idade do aterro aumenta, a concentração de DBO e DQO diminui e há um aumento na concentração de nitrogênio amoniacal, apontando ainda que lixiviados de aterros de locais antigos são geralmente altamente contaminados com amônia resultante da hidrólise e fermentação de frações contendo nitrogênio de substratos de resíduos biodegradáveis.

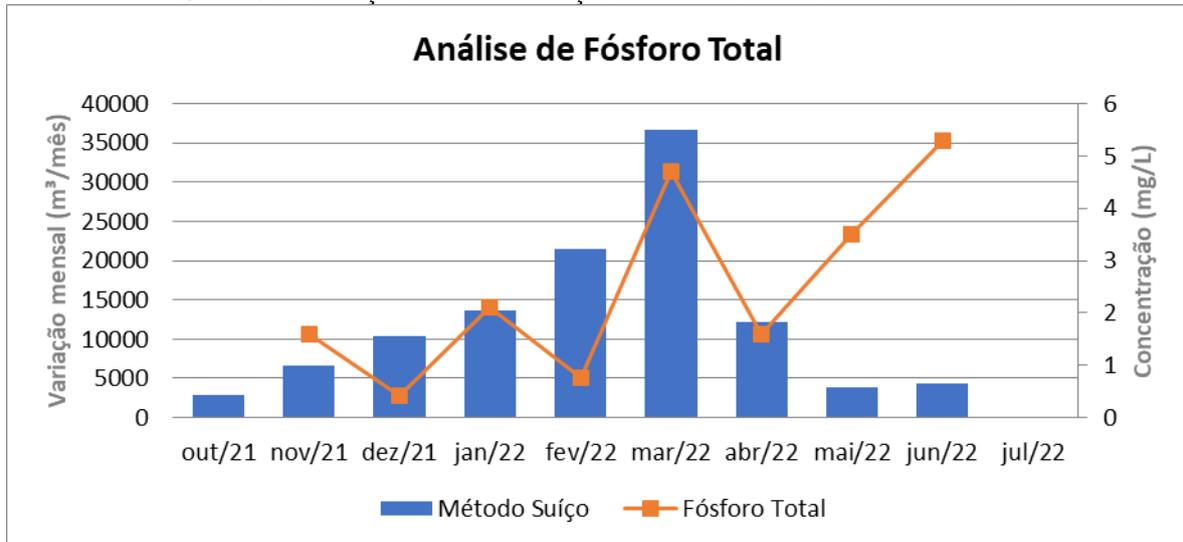
Os resultados alcançados mostram que ocorrem processos de amonificação em intervalos espaçados, podendo ser atribuído esses valores a mistura entre o lixiviado mais antigo da Célula 1, que provavelmente já está em fase metanogênica e o da Célula 2 em operação, com detritos recentes e que se encontra em fases iniciais.

FÓSFORO TOTAL

Fósforo é um nutriente consumido em função ao crescimento dos microrganismos associados à produção de ácidos (POHLAND & HARPER, 1986 *apud* Santos Filho, 2013).

Levando em consideração os parâmetros de Fósforo Total, temos a relação explicitada pelo Gráfico 5 abaixo. Para os meses de outubro/21 e julho/22 não foram realizadas análises que levassem em conta a quantificação destes parâmetros.

Gráfico 5 - Relação entre concentração de Fósforo Total e vazão do lixiviado



Fonte: Autora, 2022.

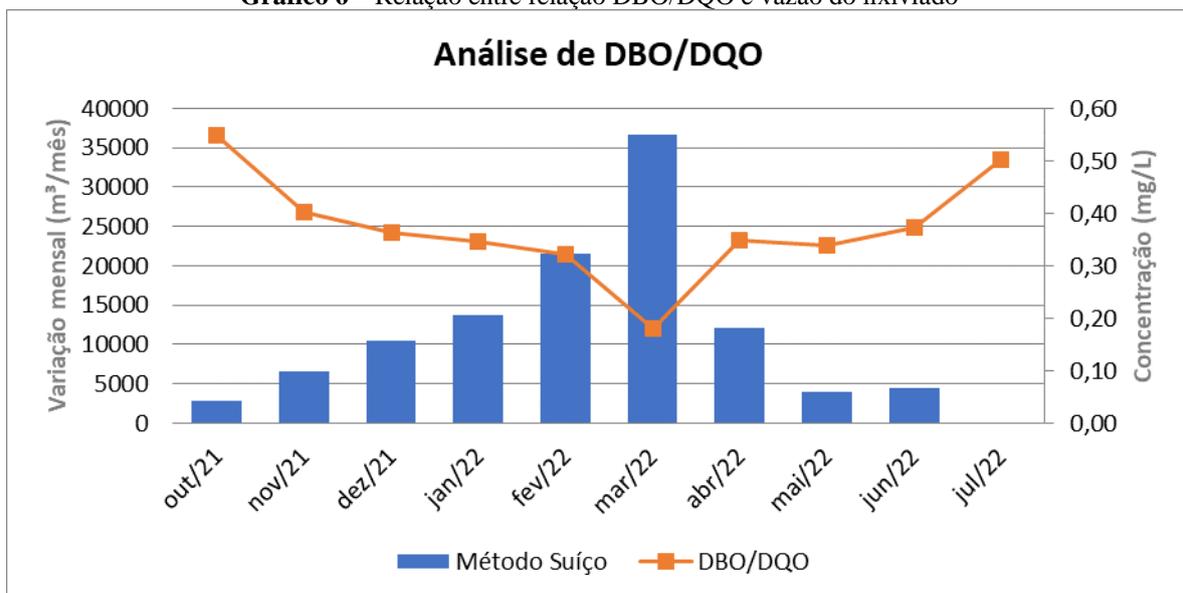
Como demonstrado, também não se notou relação com a influência da precipitação, corroborado por uma correlação fraca de 0,11, obtida através do coeficiente de Pearson. Santos Filho (2013) também obteve resultados semelhantes a este, com correlação negativa e aproximada.

RESULTADOS DA TERCEIRA ETAPA

Levando em consideração a relação DBO/DQO, as amostras apresentaram uma razão média de 0,37, demonstrando um aterro sanitário em fase de estabilização, com degradação intermediária de seus detritos, verificando-se a presença tanto de resíduos com ação biodegradável, quanta a presença de material recalcitrante.

Ao realizar análise estatística entre a relação DBO/DQO e vazão de lixiviado, obteve-se um valor de correlação negativa e forte igual a 0,84, ou seja, com o aumento da precipitação, houve um decréscimo existente na razão DBO/DQO (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Relação entre relação DBO/DQO e vazão do lixiviado



Fonte: Autora, 2022.

A partir disso, pode-se inferir que com a diluição do lixiviado das chuvas, houve uma diminuição na fração orgânica, tornando-se menos biodegradável e dificultando o uso de tratamentos biológicos para tratamento correspondente.

Em conjunto com essa análise, nota-se a suposição associada anteriormente com a elevação das taxas de concentração de nitrogênio amoniacal no lixiviado, onde Máximo (2007), aponta como uma possível consequência da degradação biológica dos aminoácidos e outros compostos orgânicos nitrogenados durante a fase acetogênica.

Com relação ao tratamento desses poluentes, atualmente o Aterro Sanitário de Teresina realiza tratamento através do uso de coagulantes que, de acordo com Abbas (2009), consiste no tipo de tratamento usado com sucesso em lixiviados de aterros antigos, com mais de 85% de remoção de ácido húmico, produzido por matéria orgânica não biodegradável.

O principal objetivo da coagulação/floculação é a remoção de uma parcela da matéria orgânica recalcitrante, representada em parte pela medida da DQO, porém a eficiência de remoção é variável, em função da variação das características do lixiviado ao longo do tempo (MAXIMO, 2007).

Em estudo já realizado no Aterro Sanitário de Teresina em época de alta pluviosidade, tendo relação DBO/DQO baixa com valor de 0,05, Noronha (2022) aferiu que o tratamento com os agentes químicos responsáveis pela coagulação/floculação não apresentou grande variação de DQO após o tratamento com diferentes concentrações de coagulante. Além disso, foi possível observar eficiência no aumento da remoção de DBO conforme acréscimo na dosagem de sulfato de alumínio. Em contrapartida, os níveis de amônia apresentaram aumento na concentração do composto e não foram feitos testes com relação à remoção de fósforo do lixiviado.

Para os casos em que há baixa pluviometria, a relação DBO/DQO apresenta-se de forma mais elevada com valores aproximados de 0,5, indicando maior biodegradabilidade do lixiviado. Quando aplicado o tratamento utilizando a coagulação, há uma tendência a melhores remoções de DQO e DBO com o uso de concentrações elevadas de coagulantes, porém essa condição inviabiliza o uso em excesso para remoção de matéria orgânica, uma vez que, além dos custos envolvidos, resulta na produção excessiva de lodo, como aponta Hamada *et al.* (2002) em seus estudos.

Esses resultados confrontam o esperado em relação à eficiência de tratamento, levando em consideração a diluição dos poluentes em meio à pluviosidade acentuada e em cenários onde os poluentes se apresentam de forma mais concentrada, demonstrando a necessidade de adição de etapas no pré/pós-tratamento para aumentar a eficácia do processo, além de uma análise temporal da geração do lixiviado com base na idade do aterro e fase atual de degradação dos detritos para uso de tratamento adequado.

CONCLUSÕES

A distribuição pluviométrica irregular existente na cidade de Teresina afeta diretamente a quantidade de água incidida sobre o Aterro Sanitário local, determinando o dimensionamento necessário para captação do volume de lixiviado formado.

O levantamento obtido através da quantificação da geração de lixiviado em função dos índices pluviométricos, através do Método Suíço, indicou que em épocas com elevadas taxas de pluviosidade houve aumento significativo na vazão do lixiviado do Aterro Sanitário de Teresina, demonstrando dessa forma que a precipitação é um dos principais fatores que influenciam na oscilação de efluente gerado.

Quanto aos dados analisados analogamente a vazão, utilizando o modelo de correlação entre as variáveis, os parâmetros DBO e DQO obtiveram relativa diminuição nas suas concentrações devido à diluição de seus compostos, afetando a quantidade de matéria orgânica presente nas análises. Enquanto os dados de Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total não demonstraram relação com a precipitação, sendo influenciados pela fase de degradação anaeróbia que aterro se encontra.

Utilizando a relação DBO/DQO e os níveis encontrados dos poluentes com o grau de eficiência do tratamento de coagulação/floculação utilizado no aterro, inferiu-se que os resultados encontrados confrontam o esperado

em relação à eficiência de tratamento de acordo com o grau de precipitação, demonstrando a necessidade de adição de etapas no pré/pós-tratamento para aumentar a eficácia do processo.

Além disso, mostrou-se a necessidade de uma análise temporal da geração do lixiviado com base na idade do aterro e fase atual de degradação dos detritos para uso de tratamento adequado, que pode ser alternado entre biológicos e físico-químicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABBAS, Abdulhussain A. *et al.* Review on Landfill Leachate Treatments. *Journal of Applied Sciences Research*. China, v. 5, p. 534-545, 2009.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13463: Coleta de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 1995.
3. BUSSMAN, Josué. Variação da carga orgânica relacionado ao volume do lixiviado gerado em aterro sanitário. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário UNIVATES. Lajeado, 2014.
4. BOCCHIGLIERI, Miriam Moreira. O lixiviado dos aterros sanitários em estações de tratamento dos sistemas públicos de esgotos. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública. Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, 2010.
5. CATAPRETA, Cícero A. A. *et al.* Avaliação da influência da vazão na evolução temporal das características dos líquidos lixiviados gerados em um aterro sanitário. Congresso ABES FENASAN. 2017.
6. CINTRA, Fabrício Henrique *et al.* Fatores que afetam a qualidade do chorume gerado em aterro controlado de resíduos sólidos urbanos. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2002.
7. HAMADA, Jorge *et al.* Aplicabilidade de processos físico e físico-químico no tratamento do chorume de aterros sanitários. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vitória, 2002.
8. HAMADA, Jorge; DA SILVA, Celso Luiz; GIACHETI, Heraldo Luiz. Análise crítica de sistemas para tratamento de chorume de aterros para resíduos sólidos urbanos. ICTR 2004 – Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. Florianópolis, 2004.
9. IBANEZ, Franz G. M; NAZARETH, Roberto M. A chuva modula as características químicas do chorume de aterros sanitários no Rio de Janeiro. 2020.
10. MARINGONDA, Audinil Jr; LOPES, Deize D. Caracterização físico-química do chorume do Aterro Sanitário de Resíduos Sólidos Urbanos de Rolândia – PR. ICTR 2004 - Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. Florianópolis, 2004.
11. MÁXIMO, Vivian Alves. Tratamento por coagulação-floculação dos lixiviados do aterro sanitário da região metropolitana de Florianópolis. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, 2007.
12. MENEZES, Hudson Ellen Alencar; DE MEDEIROS, Raimundo Mainar; SANTOS, José Lucas Guilherme. Climatologia da pluviometria do município de Teresina, Piauí, Brasil. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, Pombal, v. 11, nº 4, p. 135-141, 2016.
13. NORONHA, Johnnatha Carlos C. Influência da concentração do coagulante e da aeração no tratamento do lixiviado do Aterro Sanitário de Teresina. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Piauí (UFPI). Teresina, 2022.
14. SANTOS FILHO, Derovil Antonio. Avaliação temporal do lixiviado da Muribeca. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Pernambuco (UFPE). Recife, 2013.
15. SCHNEIDER, Simone Beatris. Avaliação da influência da precipitação pluviométrica no Aterro Sanitário de Lajeado – RS. Tese de Mestrado. Centro Universitário UNIVATES. Lajeado, 2010.
16. SOUTO, G. D. B., e POVINELLI, J. Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil. In 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, 2007. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental., 2007.
17. TCHOBANOGLIOUS, George; THEISEN, Hilary; VIGIL, Samuel. *Integrated solid waste management: engineering principles and management issues*. McGraw-Hill International Editions. ISBN 0- 07-063237-5. 978p. 1993.
18. TERESINA. Relatório de Estudos de Engenharia, Logística e Afins. 2021. Disponível em: <<https://semplan.pmt.pi.gov.br/wp-content/uploads/sites/39/2021/05/Relatorio-de-Estudos-Engenharia-Logistica-e-Afins.pdf>>. Acesso em: 13 de julho de 2022.