



A influência da relação lixiviado/esgoto na atividade microbiana da operação das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) para o tratamento conjugado de efluentes.

Palavras-chave: relação lixiviado/esgoto, tratamento conjugado; cotratamento; atividade microbiana, aeróbia, percolado, co-tratamento, tratamento biológico.

Anna Carolina Rosenburg Ferrari

Mariana Durante

Profa. Dra. Luana Mattos de Oliveira Cruz (orientadora)

INTRODUÇÃO

Como consequência da crescente atividade industrial no Brasil e no mundo, o tratamento dos resíduos provenientes dessas fontes torna-se pauta de grande relevância no ambiente científico, dado que o descarte do lixiviado de forma inadequada pode trazer sérios riscos à saúde pública e ao meio ambiente.

Nesse contexto, o tratamento conjugado de lixiviado e esgoto doméstico surge como uma alternativa mais sustentável e economicamente viável, uma vez que ao unir os resíduos, o tratamento pode apresentar vantagens relevantes. Entretanto, é necessário avaliar a influência da atividade microbiológica no tratamento conjugado com esgoto doméstico, visto que o mesmo é carregado de matéria orgânica e toxinas que podem prejudicar a atividade microbiana bactérias contidas nos reatores das ETEs (JAGABA et al., 2021). Dessa forma, como todo descarte de efluentes deve seguir os padrões e diretrizes estabelecidos pelas Resoluções 357/2005 e 430/2011 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), fica evidente que a funcionalidade ideal e otimizada do processo de tratamento torna-se de fundamental importância.

Dessa forma, ressalta-se, que o intuito deste trabalho é verificar por meio de teste em batelada descrito pelo *Experimental Methods in Wastewater Treatment* (VAN LOOSDRECHT, 2016), a influência da porcentagem de lixiviado diluído em esgoto no desempenho dos microrganismos provindos de reatores aeróbios. Também fez parte do estudo definir, qual a relação lixiviado/esgoto que fornece as melhores condições operacionais para o tratamento conjunto de esgoto sanitário e não doméstico. Assim, para a pesquisa foram utilizados lodos provindos de reatores UASB, com os quais foram realizados testes do tratamento conjugado, em diferentes proporções (0%; 2,5%; 5%; 7,5% e 10%) com lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico. Dessa forma, esse teste em batelada proposto para estudar o tratamento conjugado foi realizado de forma completa três vezes.

METODOLOGIA

Testes Aeróbios em Batelada

1) Caracterização do lixiviado

As amostras de lixiviado foram coletadas no Aterro Delta A, na cidade de Campinas, e imediatamente conservadas no laboratório de saneamento da Unicamp a 4°C. A cada nova coleta, foi realizada a caracterização dos seguintes parâmetros do efluente: pH, turbidez, alcalinidade, matéria orgânica

em termos de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Química de Oxigênio (DBO) e Nitrogênio amoniacal. As análises foram executadas de acordo com a metodologia do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012) e os resultados médios estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Valores da caracterização do lixiviado

Data	pH	Alcalinidade mgCaCO ₃ /L	Turbidez NTU	DQO mgO ₂ /L	Nitrogênio Amoniacal mgN/L	DBO mgO ₂ /L
03/03/2023	7,5	3272,08	15,25	531	284,08	10,32

Fonte: Autoral

2) Análise do lodo

As amostras de lodo foram coletadas a partir de um reator aeróbio de uma estação de tratamento localizada na cidade de Campinas. Posteriormente, as amostras eram submetidas a aeração no Laboratório de Saneamento da Unicamp. A cada coleta realizou-se a determinação de sólidos suspensos totais; sólidos suspensos voláteis e sólidos suspensos fixos pelo método do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012), a fim de determinar a concentração da amostra de lodo e padronizar a concentração a 4.000 mg SSV/L no interior dos frascos - concentração padrão do teste de batelada, segundo Van Loosdrecht (2016) como demonstra a Tabela 2.

Tabela 2: Resultados da Série de Sólidos

Data	Amostra	Volume(ml)	P0(g)	P1(g)	P2(g)	SST	SSF	SSV
02/06/2023	2	8	11,071	11,151	11,077	10000	750	9250

Fonte: Autoral

3) Esgoto Sintético

Preparou-se o efluente sintético a fim de reproduzir o efluente doméstico. O efluente proposto era constituído de soluções de micronutrientes e macronutrientes - subtrativo de cultivo. Como parte do esgoto sintético também foi realizada uma solução de sacarose para simular o material orgânico (concentração de 200mgO₂/L em termos de DQO).

4) Preparação dos reatores

O procedimento experimental utilizou o total de 6 frascos de vidro comuns com capacidade de até 2l, identificados da seguinte forma: C1 - Controle 1, C2 - Controle 2 (Matéria Orgânica), F1 - Frasco 1 (Matéria Orgânica e 2,5% de lixiviado), F2 - Frasco 2 (Matéria Orgânica e 5% de lixiviado), F3 - Frasco 3 (Matéria Orgânica e 7,5% de lixiviado), F4 - Frasco 4 (Matéria Orgânica e 10% de lixiviado). O frasco C1 visou avaliar apenas a atividade endógena das bactérias. O frasco C2 visou avaliar o consumo da matéria orgânica pela biomassa. Os frascos F1 a F4 tiveram a contribuição de lixiviado acrescida gradualmente somada à contribuição fixada de matéria orgânica, a fim de avaliar o desempenho da atividade microbiana no tratamento conjugado. Este aparato pode ser verificado pela Figura 1.

Assim, após inseridos os volumes pré calculados de lodo, água, solução de micronutrientes e substrato de cultivo, como exemplificado pela Tabela 4, foram inseridas nos frascos pequenas bombas de ar (SB Mini Tipo A 60Hz 2W), para que fosse garantida a aeração e contato homogêneo entre a biomassa e substrato, fundamental para a atividade dos microrganismos. Dessa forma, os frascos foram alocados com as bombas ligadas dentro de uma incubadora a 28° para favorecer a atividade microbiana e padronizar o teste em relação a temperatura, visto que é um parâmetro que influencia o metabolismo microbiano.

O teste iniciou-se no tempo 0 e as coletas seguiram a cada 5 min nos 15 primeiros minutos (contabilizando 4 coletas). Em seguida, ao tempo 15, inseriu-se M.O no Frasco C2, e M.O e as diferentes

diluições de lixiviado nos Frascos F1 a F4. As coletas sucederam-se a cada 20 minutos (contabilizando 8 amostras nesta etapa). Ao final do teste, foram totalizadas 12 amostras coletadas.

Tabela 4: Volume de componentes utilizados em cada frasco

	C1	C2	F1 - 2,5% Lixiviado	F2 - 5% Lixiviado	F3 - 7,5%Lixiviado	F4 - 10% Lixiviado
Lixiviado	0	0	25	50	75	100
M.O	0	10	10	10	10	10
Micronutrientes	10	10	10	10	10	10
Substrato	46,4	45,4	42,9	40,4	37,9	35,4
Lodo	526	526	526	526	526	526
Água	417,6	408,6	386,1	363,6	341,1	318,6

Fonte: Autoral

5) Coleta de amostras

A cada coleta, foram retirados 5 ml de amostra dos frascos, como é visto pela Figura 2. Entre o tempo de uma coleta e outra, as amostras imediatamente coletadas eram em seguida submetidas a duas filtragens, sendo a primeira com o pré filtro de fibra de vidro (Macherey-Nagbl 47mm) e a outra no filtro fino (Milipore 0,45 μ m MCE Membrane) para obtermos as amostras com o mínimo de impurezas e interferentes possíveis.

7) Demanda Química de Oxigênio - DQO

Por fim, os tubos de ensaio foram digeridos pelo equipamento de DQO por 120 minutos a 150°C. Após a digestão, as leituras eram feitas através do espectrofotômetro (HACH DR/4000U Spectrophometer) e os dados plotados em Excel, que podem ser visualizados pela Figura 3.

Figura 1: Aparato Experimental



Figura 2: Coletas



RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisando os dados obtidos, em relação aos parâmetros de caracterização do lixiviado, podemos afirmar que o pH de 7,9 está alinhado ao indicado pelo autor Renou et al. (2008), assim como o teor de

matéria orgânica inferior a 4.000mg L⁻¹, em termos de DQO, o que revela uma baixa biodegradabilidade para o tratamento biológico.

Por sua vez, em relação ao valores de matéria orgânica em termos de DQO obtidos pelo espectrômetro, é possível afirmar que as retas obtidas pela adaptação da metodologia (Van Loosdrecht et al. (2016)), explicitada pela Figura 1, são usadas para calcular a taxa de remoção de matéria orgânica em relação aos valores de DQO, segundo a Equação 1, a qual é uma adaptação da Equação 2.4.40 (Van Loosdrecht et al. (2016), que revela dois momentos distintos do teste de cada frasco, uma fase endógena (até os 15min) e uma fase exógena (dos 15 aos 155 min). Na Figura 3, são apresentadas todas as equações de reta para as fases endógenas e exógenas de cada frasco, além das linhas de tendência geradas pelos valores de DQO medidos em cada coleta.

Figura 3: Teste Aeróbio Batelada 2



Equação 1: $q_{DQO} = 60 \cdot (q_{exo} - q_{endo}) / X_{VSS}$, em que:

q_{DQO} = Máxima taxa específica de remoção de matéria orgânica em termos de DQO.

q_{exo} : Taxa de remoção exógena de matéria orgânica em termos de DQO (Coeficiente angular da equação da reta para região exógena).

q_{endo} : Taxa de remoção endógena de matéria orgânica em termos de DQO (Coeficiente angular da equação da reta para região endógena).

X_{VSS} (g/L): Concentração biomassa em termos de Sólidos Suspensos Voláteis (4g SSV/L)

Assim, utilizado da Equação 1, os resultados obtidos são explicitados pelas Tabelas 5

Tabela 5: Taxa de Remoção - Batelada 2

	C1(mgSSV/h)	C2(mgSSV/h)	F1(mgSSV/h)	F2(mgSSV/h)	F3(mgSSV/h)	F4(mgSSV/h)
q_{DQO}	5,8965	-221,642	-11,3445	-30,597	-65,4975	-7,6365

Dessa forma, analisando os resultados obtidos para os testes do lodo aeróbio, é possível verificar que de fato, concordando com a literatura, valores de taxa positivos significam que há adição de matéria orgânica, enquanto valores negativos explicitam a remoção da mesma. Assim, quanto maior o valor da taxa, maior remoção ocorre no frasco, ou seja, o lodo é capaz de remover maior quantidade de matéria orgânica por mgSSV/h. Logo, analisando os valores mostrados na Tabela 5 e retas da Figura 3, é possível inferir que o frasco que demonstrou a melhor taxa de remoção foi o Controle 2, o que já era esperado, uma

vez que neste não havia a interferência do lixiviado. Já nos frascos que em houve a adição de lixiviado, a maior taxa é observada no Frasco 3 (7,5% de lixiviado), o que confirma que nesta proporção de lixiviado em esgoto doméstico, o tratamento conjunto é possível e viável. Já no Controle 1, como só havia lodo aeróbio, naturalmente a fase endógena supera a exógena, o que gera a taxa positiva.

CONCLUSÕES

Portanto, depois de realizado todo o teste em batelada para o lodo aeróbio, em triplicata, é possível concluir que a relação lixiviado/esgoto ideal para o tratamento conjugado é a diluição do Frasco 3, igual a 7,5% de lixiviado, uma vez que este apresentou a maior taxa de remoção de $-65,4975$ (mgSSV/h). Logo, surge a possibilidade da avaliação técnico-econômica para o tratamento conjunto desses resíduos nas ETEs, com o lodo aeróbio, nessa faixa de diluição, favorecendo o processo de forma econômica e ambiental, ponto central do objetivo deste estudo. Dessa forma, ainda é necessário destacar que a repetição dos testes nas mesmas condições operacionais e a análise estatística torna-se imprescindível, uma vez que a variação da biomassa pode influenciar a atividade das bactérias envolvidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA - American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22th ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2012. Disponível em: <<https://www.standardmethods.org/doi/book/10.2105/SMWW.2882>>
- VAN LOOSDRECHT, M.C.M. et al. **Experimental Methods in Wastewater Treatment**. Online: IWA Publishing. 2016. 362 p.
- RENOUE, S. et al. **Landfill leachate treatment: Review and opportunity**. *Journal of Hazardous Materials*, v. 150, n. 3, p. 468–493, 2008.
- JAGABA, A. H. et al. **Sequencing batch reactor technology for landfill leachate treatment: A state-of-the-art review**. *Journal of Environmental Management*. 2021. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33486234/>>