

## Avaliação da toxicidade de efluente de aterro sanitário utilizando semente de alface *Lactuca sativa*

Diante da preocupação com os impactos negativos que os percolados de aterros sanitários podem causar no meio ambiente, o presente estudo teve por objetivo caracterizar amostras de efluente bruto e tratado de aterro sanitário através de análises físico-químicas e avaliar a toxicidade utilizando semente de alface (*Lactuca sativa*) como organismo teste, verificando os efeitos na germinação. Para tanto, foram preparadas misturas lixiviado/efluente tratado a 3,125; 6,25; 12,5; 25; 50 e 100%. As sementes foram expostas tanto às misturas brutas quanto àquelas submetidas ao tratamento biológico, durante 7 dias, a fim de realizar testes de germinação e determinar as características morfológicas das plântulas. Com o efluente da lagoa de maturação foram realizados testes de coagulação/floculação utilizando três tipos de coagulantes, polícloro de alumínio (PAC), Tanfloc SG e aMoringa + KCl, nas dosagens de 1250 mg L<sup>-1</sup>, 1000 mg L<sup>-1</sup> e 5000 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. Os testes de toxicidade mostraram diferentes efeitos na germinação e no crescimento das plântulas para as diferentes lagoas de tratamento, a diluição da amostra foi diretamente proporcional ao crescimento das plântulas. O processo de coagulação/floculação mostrou-se eficiente na redução da toxicidade pelo fato de a *Lactuca sativa* apresentar altas taxas de germinação e crescimento da raiz em concentração de 100% (efluente bruto tratado), evidenciando a sua potencialidade como pré-tratamento ao processo biológico. Constatou-se que a semente de alface é um ótimo bioindicador, mostrando que mesmo utilizando o sistema de lagoas, o efluente ainda continua tóxico, sendo necessário o tratamento por coagulação/floculação. A execução deste trabalho pode auxiliar na identificação de oportunidades de melhorias e alternativas para a operação da estação de tratamento de efluentes de aterros sanitários em outros municípios.

**Palavras-chave:** Germinação; Raiz; Coagulação/Floculação; Lixiviado.

## Assessment of toxicity of landfilling effluent using lettuce seed *Lactuca sativa*

Given the concern with the negative impacts that leachates from landfills can cause on the environment, this study aimed to characterize samples of raw and treated landfill effluent through physicochemical analyzes and to evaluate the toxicity using lettuce seed (*Lactuca sativa*) as a test organism, verifying the effects on germination. For this purpose, leachate/treated effluent mixtures were prepared at 3.125; 6.25; 12.5; 25; 50 and 100%. The seeds were exposed both to crude mixtures and to those submitted to biological treatment, for 7 days, in order to carry out germination tests and determine the morphological characteristics of the seedlings. With the effluent from the maturation pond, coagulation/flocculation tests were carried out using three types of coagulants, polyaluminum chloride (PAC), Tanfloc SG and aMoringa + KCl, in the dosages of 1250 mg L<sup>-1</sup>, 1000 mg L<sup>-1</sup> and 5000 mg L<sup>-1</sup>, respectively. Toxicity tests showed different effects on germination and seedling growth for the different treatment ponds, the sample dilution was directly proportional to seedling growth. The coagulation/flocculation process proved to be efficient in reducing toxicity due to the fact that *Lactuca sativa* has high germination and root growth rates at a concentration of 100% (treated raw effluent), showing its potential as a pre-treatment to the process. biological. It was found that the lettuce seed is an excellent bioindicator, showing that even using the pond system, the effluent still remains toxic, requiring treatment by coagulation/flocculation. The execution of this work can help to identify improvement opportunities and alternatives for the operation of the sanitary landfill effluent treatment plant in other municipalities.


**Keywords:** Germination; Source; Coagulation/Flocculation; Leached.


Topic: Engenharia Ambiental


Received: 13/03/2022


Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Approved: 30/03/2022

Ítalo Gerald Almeida   
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/8184163004349814>  
<https://orcid.org/0000-0003-1511-0715>  
[italogerald@gmail.com](mailto:italogerald@gmail.com)

Milene Carvalho Bongiovani   
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/9040201951162163>  
<https://orcid.org/0000-0003-2779-4245>  
[milene.bongiovani@gmail.com](mailto:milene.bongiovani@gmail.com)

Karoline Carvalho Dornelas   
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7043408996525257>  
<https://orcid.org/0000-0003-3780-913X>  
[karolcdornelas@gmail.com](mailto:karolcdornelas@gmail.com)

Roselene Maria Schneider   
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/8131107157830285>  
<https://orcid.org/0000-0002-3167-5997>  
[roselenems@yahoo.com.br](mailto:roselenems@yahoo.com.br)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.003.0013

### Referencing this:

ALMEIDA, Í. G.; DORNELAS, K. C.; SCHNEIDER, R. M.; BONGIOVANI, M. C.. Avaliação da toxicidade de efluente de aterro sanitário utilizando semente de alface *Lactuca sativa*. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.13, n.3, p.163-172, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.003.0013>

## INTRODUÇÃO

A taxa de consumo aliado ao desenvolvimento econômico e industrial tem gerado alta produção de resíduos urbanos (RSU) (SCANDELA et al., 2021). O aterro sanitário é a forma mais utilizada de disposição e tratamento destes resíduos em diferentes países devido a suas vantagens econômicas (AHARONI et al., 2017).

No aterro sanitário há a geração de chorume ou lixiviado, resultante da degradação dos resíduos que sofrem ações físicas, químicas e biológicas e como consequência da percolação da água da chuva através dos resíduos (RENOU et al., 2008; KAWAHIGASHI et al., 2014).

O lixiviado se apresenta na forma líquida de cor escura e turva, apresentando cheiro desagradável, tendo grande quantidade de carga orgânica, substâncias tóxicas e recalcitrantes em sua composição (MORAIS et al., 2020), conferindo toxicidade ao efluente.

Testes de toxicidade utilizando organismos testes (bactéria luminescente (*Vibrio fischeri*), crustáceos (*Daphnia magna* e *Artemia salina*), alface (*Lactuca sativa*), peixe (*Brachydanio rerio*), entre outros) tem confirmado os perigos potenciais do lixiviado (HOLANDA et al., 2012; TAVARES et al., 2019).

Devido as características recalcitrantes e tóxicas encontradas em efluentes de aterros sanitários, torna-se indispensável estudos ambientais que visem controlar a toxicidade do efluente (GOMES et al., 2018; SILVA et al., 2020). A avaliação dos níveis toxicológicos é realizada por meio da utilização de organismos representativos, de modo que são expostos a várias concentrações do efluente, verificando-se os efeitos que os efluentes causam aos organismos teste (GERBER et al., 2017).

Trabalhos evidenciam que a utilização de sementes vegetais como a da alface (*Lactuca sativa*), constituem excelentes organismos para bioensaios de toxicidade em vários tipos de efluentes. As sementes submetidas a hidratação entram em seu processo de germinação, no qual sofrem mudanças fisiológicas de forma rápida e assim se tornam altamente sensíveis ao estresse ambiental (GERBER et al., 2017).

Os resultados das análises ecotoxicológicas podem servir de subsídios para ações de políticas públicas relacionadas ao uso da água e a preservação de mananciais, podendo ser uma ferramenta complementar em estudos de impactos ambientais adversos nos corpos hídricos (FILHO et al., 2018)

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar níveis toxicológicos de efluente de aterro sanitário, em diferentes etapas de tratamento pela utilização da semente da alface (*Lactuca sativa*), variedade manteiga, e verificar o potencial de redução da toxicidade utilizando a coagulação/floculação no tratamento de efluente da lagoa de maturação, como pós-tratamento.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Coleta do efluente

O lixiviado utilizado nos experimentos foi proveniente do aterro sanitário, localizado no distrito de Primavera – Sorriso MT, conforme apresentado na Figura 1. O aterro recebe resíduos sólidos urbanos proveniente de mais de 13 municípios da região norte do Mato Grosso. A estação de tratamento de efluentes

(ETE) do aterro é constituída por duas lagoas anaeróbias, seguida de uma lagoa facultativa e uma lagoa de maturação. Após a coleta do lixiviado bruto e em cada lagoa respectivamente, as amostras dos efluentes foram acondicionadas em recipientes de polietileno, armazenadas sob refrigeração e conduzidas para análise laboratorial.



Figura 1: a) Vista aérea do aterro sanitário; b) Vista aérea do sistema de tratamento de efluentes.

### Caracterização do efluente

A caracterização do lixiviado bruto e dos efluentes após cada etapa de tratamento foi realizada por meio de análises físicas e químicas para os parâmetros cor, turbidez, pH, absorvância em UV<sub>254nm</sub>, fósforo total, DBO, DQO, nitrito e nitrato conforme os procedimentos descritos pelo "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" 21st edition (APHA, 2005). Os testes foram realizados no Laboratório de água e resíduos da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus de Sinop.

### Teste de toxicidade e germinação

Os testes de toxicidade foram realizados em duas etapas, a primeira com amostras das lagoas do sistema de tratamento do aterro sanitário e a segunda com o efluente da lagoa de maturação tratado pelo processo de coagulação/floculação.

Os testes de germinação foram realizados com sementes de alface manteiga, espécie *Lactuca sativa*, adquiridas em um estabelecimento comercial de Sinop/MT. As sementes utilizadas foram da marca ISLA® com 99,9% de pureza e taxa de germinação de 90%. Os testes basearam-se nas diretrizes estabelecidas no EPA (1996) (Ecological Effects Test Guidelines- 850.4200).

Os tratamentos constituíram 6 diluições para cada amostra de efluente: 100%, 50%, 25%, 12,5%, 6,25% e 3,125% de efluente, que correspondem ao fator de diluição de 1, 2, 4, 8, 16 e 32, respectivamente. Para todos os tratamentos foram utilizadas 3 repetições.

Na condução do estudo, 20 sementes de alface (*Lactuca sativa*) foram alocadas em placa de Petri (9,5 cm de diâmetro) com substrato papel de filtro qualitativo (porosidade 1 µm) e umedecidas com volume equivalente aos tratamentos definidos. Para garantir a umidade ao longo de todo o ensaio, as placas de Petri foram envolvidas com plástico filme transparente e mantidas em uma estufa de DBO para germinação, em temperatura de 23 °C, por 7 dias.

Ao final do período experimental, avaliou-se o número de sementes germinadas, considerando para tal apenas aquelas que apresentaram protusão da raiz, mensurando-se o comprimento da raiz com auxílio de paquímetro (EPA, 1996; OECD, 2003).

A determinação da toxicidade aguda foi realizada pela média de cada repetição (placa) e, posteriormente, pela média geral da amostra para determinar o IC<sub>50</sub> (50% de inibição), ou seja, corresponde à dose capaz ocasionar a mortalidade de 50% dos organismos teste. Foram consideradas citotóxicas as amostras que apresentaram crescimento de raiz e germinação inferior à metade do crescimento do controle, ou seja, que estão abaixo da linha do IC<sub>50</sub>.

### Processo de coagulação/floculação

O processo de coagulação/floculação foi realizado utilizando como coagulantes o policloreto de alumínio (PAC), Tanfloc SG e Moringa + KCl em duas etapas: avaliação do ponto ótimo de eficiência de remoção de cor e turbidez pela variação do pH e concentração do coagulante (APHA, 2005) e determinação dos respectivos parâmetros. A definição do pH foi de 5, 7 e 9, respectivamente e variação das concentrações dos coagulantes foram de 750 mg L<sup>-1</sup> para o PAC, 1250 mg L<sup>-1</sup> para o Tanfloc e 5000 mg L<sup>-1</sup> para a Moringa+KCl.

O coagulante PAC foi preparado em solução 1% v/v. Os coagulantes Tanfloc SG e Moringa + KCl foram preparados em solução 0,5% m/v. Todos os ensaios foram realizados no Jar Test, com amostras de 0,25 L em diferentes condições de operação (Tabela 1).

**Tabela 1:** Condições de velocidade e tempo utilizados no equipamento *Jar- test*.

Parâmetros	PAC	Tanfloc	Moringa+KCl
Velocidade de mistura rápida (rpm)	200	120	95
Tempo de mistura rápida (min)	5	2,5	5
Velocidade de mistura lenta (rpm)	20	20	35
Tempo de mistura lenta (min)	5	20	30
Tempo de sedimentação (min)	60	20	60

### Análise estatística

Os dados obtidos pelos tratamentos de coagulação/floculação foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade através do software *Sisvar*.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização do Efluente

Os resultados de caracterização obtidos das amostras de lixiviado bruto e dos efluentes de cada lagoa estão apresentados na Tabela 2. Os resultados mostram que este lixiviado e os efluentes das lagoas de tratamento apresentam características de um efluente de difícil tratamento, em especial devido à elevada concentração de matéria orgânica recalcitrante (baixa relação DBO/DQO). Essa análise indica que o efluente precisaria passar por um pré-tratamento antes de ser tratado biologicamente, para aumentar a relação à biodegradabilidade.

**Tabela 2:** Caracterização química do lixiviado bruto e dos efluentes das lagoas de tratamento.

Parâmetros	Limites* Legislação	zBruto	Anaeróbia 1	Anaeróbia 2	Facultativa	Maturação
Turbidez (NTU)	100	593,27	268,5	211,16	200,9	213,83
Cor (uH)	75	23.200	9.500	9.035	7.586	7.016
pH	5 - 9	8,38	8,36	8,37	8,39	8,45
UV <sub>254nm</sub> (cm <sup>-1</sup> )	-	28,92	22,68	19,41	16,32	12,99
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	-	4866,6	5450,0	4833,3	2983,3	2583,3
DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	-	167,5	205	30	12	40
DBO/DQO	-	0,034	0,037	0,006	0,004	0,015
Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )	1,0	0,396	0,117	0,079	0,193	0,097
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	10,0	-	4,2	10,7	15,5	7,5
Fósforo Total (mg.L <sup>-1</sup> )	-	25,63	16,49	13,65	10,46	4,57

NTU: Unidades nefelométricas de turbidez. uH: unidades Hazen (mg.Pt.L<sup>-1</sup>). \*Resolução Conama 357.

Quanto maior for esta razão, maior é a biodegradabilidade do efluente, diante aos resultados obtidos fica evidente a baixa biodegradabilidade dos efluentes em estudo, caracterizando-os como recalcitrante, como Amaral et al. (2008) em seu estudo onde evidenciaram uma relação DBO/DQO de 0,05 para o lixiviado de aterro sanitário e Vasconcelos et al. (2017) que obtiveram DBO/DQO = 0,23 para lixiviado de aterro controlado.

Campos et al. (2013) constataram que os lixiviados apresentam elevadas concentrações de matéria orgânica recalcitrante (acima de 2000 mg L<sup>-1</sup> de DQO), corroborando com os níveis encontrados nas amostras coletadas (Tabela 2).

A Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011) não especifica um limite legal para este parâmetro, quando se trata do lançamento de efluentes em corpos receptores. Porém se recomenda que o valor de DQO seja o menor possível quando lançado, pois isto trará menores impactos negativos nos cursos d'água ou no solo (MORAIS et al., 2020).

Tanto para o lixiviado bruto quanto para o efluente tratado, nas diferentes etapas de tratamento, foi observada uma baixa variação dos valores de pH (8,36 a 8,45). As amostras apresentaram tendência a um pH com características básicas, atendendo os limites estabelecidos na legislação (entre 5 e 9). Verifica-se também altos valores de turbidez, cor e UV<sub>254nm</sub>, os quais estão associados à presença de sólidos dissolvidos em altas concentrações.

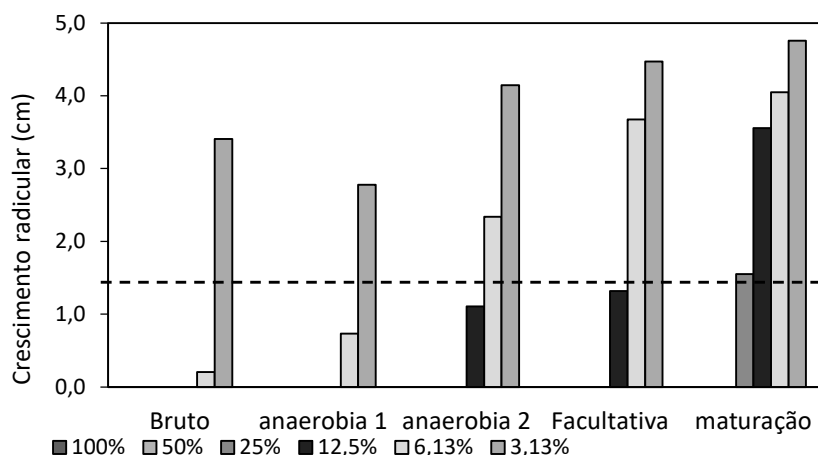
Os dados apresentados na Tabela 2 mostraram que apesar do lixiviado passar pelo processo biológico em lagoas, a adequação do sistema de tratamento deve ser planejada com antecedência de modo que se possa continuar operando com eficiência satisfatória, conforme os padrões da Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005).

### Teste de toxicidade

Na avaliação da toxicidade (Figura 2), identificou-se alto percentual de inibição em sementes de alface nas amostras com concentrações de 100% (sem diluição), 50 e 25%, assim como observado por Recio et al. (2019).

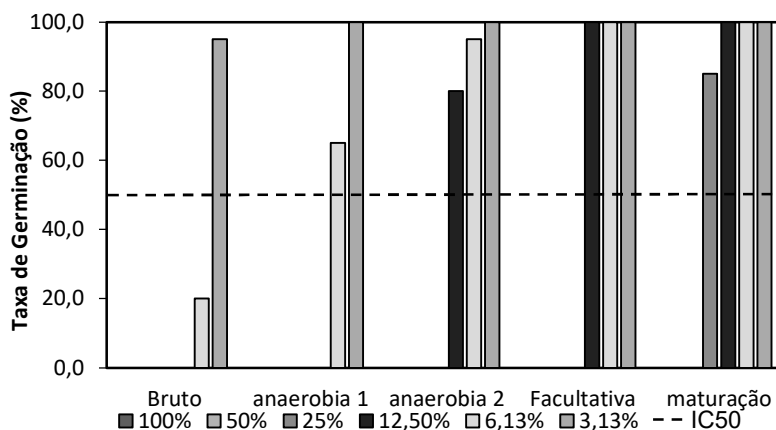
O comportamento se modifica, apresentando estímulos de crescimento da raiz à medida que a concentração de efluente é reduzida. Nota-se que o avanço no tratamento por lagoas fez os níveis tóxicos

mudarem de modo que as sementes se apresentaram menos afetadas quando expostas as amostras coletadas no final do sistema de tratamento (lagoa maturação) (Figura 2).



**Figura 2:** Crescimento radicular da *Lactuca sativa* para as amostras de efluentes.

Os resultados da germinação relativa para as sementes de alface e os valores de  $IC_{50}$  estimados estão apresentados na Figura 3. A taxa de germinação das sementes, quando expostas as concentrações de 100 e 50%, mostraram-se nulas, indicando efluentes altamente tóxicos em todas as lagoas. As taxas de germinação foram observadas apenas na lagoa de maturação, em concentrações de 25 a 3,13%, com valores entre 85 e 100%.



**Figura 3:** Taxa de germinação da *Lactuca sativa* para as amostras de efluentes.

Os resultados apresentados neste trabalho são semelhantes aos resultados encontrados por Franco et al. 2017, no qual os autores analisaram a toxicidade do percolado de aterro sanitário utilizando a semente de *Lactuca sativa* e constataram que as taxas de germinação apresentaram-se inversamente proporcionais à concentração do percolado, ao passo que, a inibição da germinação das sementes de alface foi de 91% pelo fator poluente e 9% por outros fatores, como grande concentração de sais minerais no efluente.

Matias et al. (2020) relatam que um dos principais fatores que causam a inibição da germinação das sementes quando expostas a efluentes domésticos e industriais, se dá principalmente pela alta concentração de sais existentes no efluente, principalmente íons cloreto, diminuindo a absorção de água. Esses sais interferem diretamente nas funções metabólicas das sementes, levando à falência de organelas que são responsáveis pela osmorregulação.

Em contrapartida, Tigini et al. (2011) e Alvim et al. (2011) relataram que quando expostas a efluentes domésticos e indústrias, as plântulas de *Lactuca sativa* apresentaram estímulos quanto ao crescimento de suas raízes, possivelmente pelo fato de efluentes industriais como oriundos de frigoríficos, setor alimentício e domésticos apresentarem menores níveis toxicológicos e maior presença de nutrientes quando comparados a efluentes de aterros.

Teste de toxicidade para a amostra da lagoa maturação tratada pelo processo de coagulação/floculação

As Figuras 4 e 5 ilustram os resultados obtidos para crescimento radicular e taxa de germinação da *Lactuca sativa* após o processo de coagulação/floculação. Observa-se que para a alface, comparativamente ao grupo controle, os três coagulantes testados mostraram bons resultados (Figuras 4 e 5), todos os valores de crescimento radicular e germinação apresentaram valores acima da linha IC<sub>50</sub> quando comparado ao efluente sem tratamento. Comparando-se com os resultados da lagoa de maturação sem coagulação/floculação (Figuras 2 e 3), observa-se que os efeitos tóxicos do efluente reduziram.

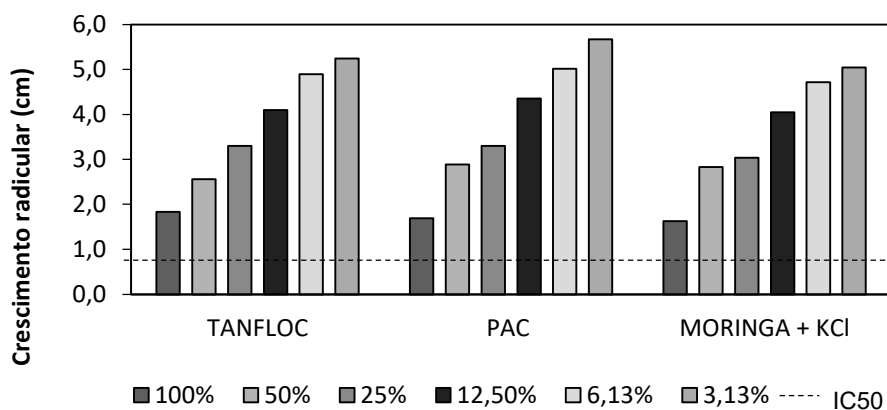


Figura 4: Crescimento radicular da *Lactuca sativa* após processo de coagulação/floculação.

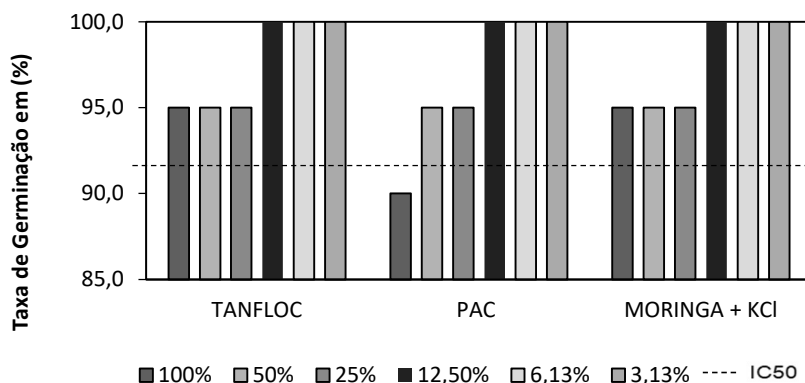


Figura 5: Taxa de germinação da *Lactuca sativa* após processo de coagulação/floculação.

No que tange à porcentagem de germinação (%) e o crescimento radicular (cm) em relação aos tratamentos e concentrações estudados, pode-se afirmar que não houve diferença significativa entre os três coagulantes utilizados (Tabelas 3 e 4). Em termos de eficiência do processo os resultados apresentados para os três coagulantes foram satisfatórios, corroborando com resultados encontrados por Oliveira et al. (2011).

Avaliando-se os resultados apresentados na Tabela 4, pode-se inferir que houve diferença significativa entre todas as concentrações do percolado em relação ao crescimento radicular, evidenciando que o aumento na concentração de percolado, proporcionava redução no crescimento das raízes.

**Tabela 3:** Comparação de porcentagem de germinação (%) em relação aos tratamentos e concentrações

Tratamentos	100%	50%	25%	12,50%	6,13%	3,13%
TANFLOC	95 <sup>aA</sup>	95 <sup>aA</sup>	95 <sup>aA</sup>	100 <sup>bA</sup>	100 <sup>bA</sup>	100 <sup>bA</sup>
PAC	90 <sup>aA</sup>	95 <sup>aA</sup>	95 <sup>aA</sup>	100 <sup>bA</sup>	100 <sup>bA</sup>	100 <sup>bA</sup>
MORINGA + KCl	95 <sup>aA</sup>	95 <sup>aA</sup>	95 <sup>aA</sup>	100 <sup>bA</sup>	100 <sup>bA</sup>	100 <sup>bA</sup>

Letras minúsculas (avaliação de germinação em cada concentração de efluente) e letras maiúsculas (avaliação de germinação para cada tipo de coagulante) (Scott-Knott,  $p < 0,05$ ).

**Tabela 4:** Comparação de médias de crescimento radicular (cm) em relação aos tratamentos e concentrações.

Tratamentos	100%	50%	25%	12,50%	6,13%	3,13%
TANFLOC	1,8 <sup>aA</sup>	2,6 <sup>bA</sup>	3,3 <sup>cA</sup>	4,1 <sup>dA</sup>	4,9 <sup>eA</sup>	5,2 <sup>dA</sup>
PAC	1,7 <sup>aA</sup>	2,9 <sup>bA</sup>	3,3 <sup>cA</sup>	4,4 <sup>dA</sup>	5,0 <sup>eA</sup>	5,7 <sup>dA</sup>
MORINGA + KCl	1,6 <sup>aA</sup>	2,8 <sup>bA</sup>	1,0 <sup>cA</sup>	4,1 <sup>dA</sup>	4,7 <sup>eA</sup>	5,0 <sup>dA</sup>

Letras minúsculas (avaliação de crescimento radicular em cada concentração de efluente) e letras maiúsculas (avaliação de crescimento radicular para cada tipo de coagulante) (Scott-Knott,  $p < 0,05$ ).

Ao passo que, para a taxa de germinação (Tabela 3) as concentrações de 100, 50 e 25%, não apresentarem diferença significativa entre si, assim como as concentrações de 12,5; 6,13 e 3,125%. Resultados encontrados em literatura (TALALAJ et al., 2019) mostraram assim, como neste estudo, que a utilização do tratamento de coagulação/floculação quando combinada a outro tipo de tratamento (tratamento biológico) demonstram bons resultados na diminuição da toxicidade do lixiviado de aterro sanitário. Coagulantes como PAC, Tanfloc e Moringa apresentam resultados satisfatórios no tratamento de efluentes de aterros sanitários, geralmente utilizados no pré-tratamento, podendo ainda serem empregados como um polimento final ao pré-tratamento para remoção da matéria orgânica não biodegradável (RENOU et al., 2008; ZORAYDE, 2010).

Olivero et al. (2008), em suas análises notaram que a toxicidade do aterro sanitário estava relacionada diretamente com o aumento das taxas de DQO. Outros estudos realizados na Suécia e Lituânia (SVENSSON et al., 2005) atribuem a toxicidade do lixiviado à existência da presença de amônia e poluentes orgânicos, com resultados encontrados em aterros analisados no Brasil e na Itália (PIVATO et al., 2006).

Pode-se inferir que a técnica de coagulação/floculação apresentou sucesso na remoção do material orgânico recalcitrante, de modo que este material traz características tóxicas para o efluente. Em relação aos tipos de tratamento, observa-se que não há diferença entre eles, pois as plântulas apresentaram ótimas germinações e crescimento de raiz em todos os tratamentos.

## CONCLUSÃO

Em linhas gerais, os resultados obtidos a partir da investigação experimental permitiram concluir que para os ensaios de bancada, foi registrado redução no crescimento da plântula em relação a diluição das amostras, principalmente para o lixiviado bruto. Os resultados indicaram que o fluxo do efluente ao passar pelas lagoas de tratamento proporcionam diminuição dos níveis toxicológicos. O tratamento de coagulação/floculação com os três tipos de coagulantes analisados mostrou bons resultados, quando utilizados para tratamento do lixiviado após passar pelo sistema de tratamento de lagoas de estabilização. O nível de toxicidade das lagoas do aterro sanitário é alto, necessitando de tratamento físico-químico.

## REFERÊNCIAS

AHARONI, I.; SIEBNER, H.; DAHAN, O.. Application of vadose-

zone monitoring system for real-time characterization of



leachate percolation in and under a municipal landfill. **Waste Management**, Amsterdã, v.67, p.203-213, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.012>

ALVIM, L. B.; KUMMROALVIMW, F.; BEIJO, L. A.; LIMA, C. A. A.; BARBOSA, S.. Avaliação da citogenotoxicidade de efluentes têxteis utilizando *Allium cepa* L. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.6, n.2, p.255-265, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-água.198>

AMARAL, M. C. S.; FERREIRA, C. F. A.; LANGE, L. C.; AQUINO, S. F.. Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de lixiviados de aterro sanitários. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.13, n.1, p.38-45, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000100006>

APHA. American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21 ed. Baltimore, 2005.

BRASIL. **Resolução CONAMA Nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: DOU, 2005.

BRASIL. **Resolução CONAMA Nº 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõem sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a resolução nº357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Brasília: DOU, 2011.

CAMPOS, J. C.; MOURA, D.; COSTA, A. P.; YOKOYAMA, L.; ARAUJO, F. V. F.; CAMMAROTA, M. C.. Evaluation of pH, alkalinity and temperature during air stripping process for ammonia removal from landfill leachate. **Journal of Environmental Science and Health**, Londres, v.48, n.9, p.1105-1113, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1080/10934529.2013.774658>

EPA. **Ecological effects test guidelines**. Seed germination/root elongation toxicity test OPPTS 850.4200. Washington DC, 1996.

THODE, S. F.; FRANCO, H. A.. Avaliação ecotoxicológica do impacto do lixiviado de coco sobre *Artemia salina*. **Gaia Scientia**, João Pessoa, v.12, n.2, 2018.

FRANCO, H. A.; MARTINS, G. M. O.; MUSSEL, Y. L.; MORENO, S. C.; THODE, S.; MARQUES, M. R. C.. Ecotoxicidade de lixiviado de aterro sanitário na germinação de sementes de alface (*Lactuca sativa* L.) e pepino (*Cucumis sativus* L.). **Revista de estudos ambientais**, Blumenau, v.19, n.1, p36-43, 2017. DOI: <https://doi.org/10.7867/1983-1501.2017v19n1p36-43>

GERBER, M. D.; LUCIA, T. J.; CORREA, L.; PEREIRA, J. E. N.; CORREA, E. K.. Phytotoxicity of effluents from swine slaughterhouses using lettuce and cucumber seeds as Bioindicators. **Science of the Total Environment**, Amsterdã, v.592, p.86-90, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.075>

GOMES, L. P.; SCHOENELL, E. K.. Aplicação de ozônio e de ozônio + peróxido de hidrogênio para remoção de compostos recalcitrantes em lixiviados de aterros sanitários. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.23, n.1,

p.113-124, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018155758>

HOLANDA, J. N.; MACIEL, A. P.; SANTOS, R. L.. Avaliação ecotoxicológica da água de lavagem da purificação de biodiesel de soja metílico utilizando *Danio rerio* como organismo-teste. **Boletim do Laboratório de hidrobiologia**, São Luís, v.25, n.1, p.13-20, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.18764/>

KAWAHIGASHI, F.; MENDES, M. B.; ASSUNÇÃO, V. G.; GOMES, V. H.; FERNANDES, F.; HIROOKA, E. Y.; KURODA, E. K.. Pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário com carvão ativado. **Engenharia sanitária e ambiental**, Rio de Janeiro, v.19, n.3, 235-244, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000000652>

MATIAS, G. A.; MOTTA, M. A.. Tratamento e refuncionalização de solo contaminado por lixiviado de aterro sanitário. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.25, n.5, p.677-689, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020190108>

MORAIS, M.; MORAIS, C. D. N.; FURTADO, C. M.; MENEZES, R. S.; REBOUÇAS, F. S.; TORRES, O. S.; CARVALHO, C. M.; CHAVES, H. P.. Análise físico-química e microbiológica do lixiviado do aterro sanitário de Rio Branco (AC). **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, Rio Branco, v.7, n.1, p.282-292, 2020.

OLIVEIRA, A. B.; ALENCAR, N. L. M.; PRISCO, J. T.; GOMES, E. F.. Accumulation of organic and inorganic solutes in NaCl-stressed sorghum seedlings from aged and primed seeds. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.68, n.6, p.632-637, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162011000600004>

OLIVERO, J. V.; PADILLA, C. B.; DE LA ROSA, O.. Relationships between physicochemical parameters and the toxicity of leachates from a municipal solid waste landfill. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Amsterdã, v.70, n.2, p.294-299, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2007.05.016>

OECD. Organization for Economic Cooperation and Development. **Terrestrial Plant Test: 208: Seedling Emergence and Seedling Growth Test**. Paris: OECD Publishing, 2006.

RECIO, L. V.; PEREIRA, N. R.; ARANTES, E. J.; GOMES, S. D.; CASTRO, T. M.. Fitotoxicidade em sementes de alface na codigestão anaeróbia de lixiviado de aterro industrial e glicerina. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v.2, n.3, p.982-989, 2019.

RENOU, S.; GIVAUDAN, J. G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P.. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdã, v. 150, n.3, p.468-493, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.077>

SCANDELAI, A. P. J.; MARTINS, D. C. C.; SYLLOS, R. S.; TAVARES, C. R. G.. Ozonização como tratamento de lixiviado de aterro sanitário: um estudo de revisão. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v.4, n.3, p.3404-3417, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n3-048>

SILVA, M. C. C. P.; LEITE, V. D.; ALBUQUERQUE, M. V. C.; CARTAXO, A. S. B.; RAMOS, R. O.; LOPES, W.. Tratamento de lixiviados de aterro com aplicação de *Chlorella* sp. imobilizado em diferentes matrizes poliméricas. **Research, Society and Development**, v.9, n.12, p.e7691210865, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i12.10865>

SVENSSON, B. M.; MATHIASSEN, L.; MÅRTENSSON, L.; BERGSTRÖM, S.. *Artemia salina* as test organism for assessment of acute toxicity of leachate water from landfills. **Environmental Monitoring Assessment**, Berlim, v.102, p.309-321, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-005-6029-z>

TALALAJ, I. A.; BIEDKA, P.; BARTKOWSKA, I.. Treatment of landfill leachates with biological pretreatments and reverse osmosis. **Environ Chem Lett**, Berlim, n.17, p.1177-1193, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00860-6>

TAVARES, R. G.; MOTTA SOBRINHO, M. A.; PEREIRA, L. J. R.;

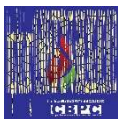
CÔRREA, M. M.; ARRUDA, V. C. M.; MEL, R. R. C.. Avaliação da toxicidade do lodo de estação de tratamento de água e esgoto, antes e após vermicompostagem, usando teste de germinação com semente de alface (*Lactuca sativa*). **Revista DAE**, São Paulo, v.218, n.67, p.156-167, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.040>

TIGINI, V.; GIANANTI, P.; MANGIAVILLANO, A.; PANNOCCHIA, A.; VARESE, G. C.. Evaluation of toxicity, genotoxicity and environmental risk of simulated textile and tannery wastewaters with a battery of biotests. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Amsterdã, v.74, p.866-873, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.12.001>

VASCONCELOS, D. V.; SILVA, L. L. S.; GUERRA, I. L.; CAMPOS, J. C. Estudo da tratabilidade de lixiviado gerado em um aterro controlado, **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.12, n.3, p.457-467, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1957>

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea ([https://opensea.io/HUB\\_CBPC](https://opensea.io/HUB_CBPC)), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

*The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).*



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749cce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157798905755205633/>