



AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO UTILIZANDO GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE MILHO

Alexandre Lioi Nascentes¹, Barbara Costa Pereira², Camila Ferreira de Pinho³, Leonardo Duarte Batista da Silva⁴, Everaldo Zonta⁵, João Alberto Ferreira⁶ e Juacyara Carbonelli Campos⁷

Resumo: Os bioensaios utilizando sementes são uma boa ferramenta para avaliação da toxicidade do lixiviado, buscando representar uma eventual aplicação no solo. Esses ensaios são de baixo custo, rápida execução e alta sensibilidade. A legislação ambiental impõe o tratamento do lixiviado antes de seu descarte no ambiente e o líquido tratado, por apresentar concentrações residuais de matéria orgânica e nutrientes, apresenta potencial para uso agrícola. Diante disso, este estudo avaliou a toxicidade do lixiviado utilizando germinação de sementes de milho. Para tanto, foram preparadas misturas lixiviado/esgoto sintético a 0, 0,5, 2, 5 e 100% que foram submetidas a tratamento biológico em reatores de lodo ativado. 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. Além disso, foram preparadas diluições de 0, 25, 50, 75 e 100% do lixiviado bruto, em água destilada, para determinação da CE50. A exposição das sementes às misturas 0,5, 2 e 5% tratadas foi benéfica para a germinação em todos os parâmetros morfológicos avaliados. O lixiviado bruto apresentou CE50 de 70,9% ao milho, de 14,3% ao *Allivibrio fischeri* e de 2,1% ao *Danio rerio*.

Palavras-chave: Fitotoxicidade. Germinação de sementes. Lixiviado. *Zea mays* L.

1 Introdução

A fertirrigação de culturas agrícolas é uma das possibilidades de disposição final de efluentes líquidos e, conforme apontam diversos estudos, pode contribuir para a redução da poluição ambiental e melhorar as características do solo e da cultura, desde que utilizada de forma criteriosa (SILVA et al., 2012; FREITAS et al., 2004).

Fuentes et al. (2004) destacam, no entanto, que, para se investigar a possibilidade de aplicação de uma água residuária no solo, é fundamental a avaliação de sua toxicidade e, neste caso, os organismos-teste mais adequados são plantas.

É reportado na literatura um grande número de plantas, cujas sementes podem

ser usadas em bioensaios de toxicidade, tais como quiabo, alface, milho, trigo, café, cebola, flores (balsamina e crista-de-galo), dentre outras (FAÇANHA et al., 2002; OECD, 2003; ALMEIDA et al., 2008; MORTELE et al., 2006).

A legislação ambiental impõe o tratamento do lixiviado de aterro sanitário antes de seu descarte no ambiente, sendo possível seu tratamento por diferentes processos biológicos ou físico-químicos implantados na própria área do aterro sanitário (*onsite*) ou mesmo seu tratamento em estações de tratamento de esgotos (*offsite*), com misturas lixiviado/esgoto geralmente inferiores a 5% (McBEAN; ROVERS; FARQUHAR, 1995; FERREIRA et al., 2009; MANNARINO et al., 2010; NASCENTES et al., 2015).

¹E-mail: alexandrelioi@gmail.com

UFRRJ, Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia. Rodovia BR 465, km 7. CEP: 23851970 - Seropédica, RJ - Brasil

²E-mail: barbaracosta16@yahoo.com.br

³E-mail: camilafepi@hotmail.com

⁴E-mail: irriga@ufrj.br

⁵E-mail: zontae@gmail.com

⁶E-mail: joaf.uerj@gmail.com

⁷E-mail: juacyara@eq.ufrj.br

No que diz respeito à toxicidade da mistura lixiviado/esgoto sintético, Mannarino et al. (2010) avaliaram o tratamento realizando ensaios de toxicidade com os organismos *Danio rerio* e *Daphnia similis*. Com uma mistura lixiviado/esgoto de 1,5% (em volume) os autores realizaram ensaios de toxicidade aguda mostrando que, apesar da elevada toxicidade do lixiviado bruto (CL50 4% ao *Danio rerio* e 5% a *Daphnia similis*), a toxicidade da mistura (CL50 57% ao *Danio rerio* e 12% a *Daphnia similis*) não diferiu estatisticamente da toxicidade do esgoto sem adição de lixiviado (CL50 62% ao *Danio rerio* e 22% a *Daphnia similis*).

Freitas et al. (2004) avaliaram o efeito da aplicação de águas residuárias de suinocultura sobre a produção do milho para silagem e verificaram que houve aumento significativo da altura de plantas, índice de espigas, altura de espigas e peso de espigas.

Franco et al. (2017) avaliaram a toxicidade do lixiviado de aterro sanitário bruto sobre a germinação de sementes de alface e pepino e observaram que mesmo pequenas doses do lixiviado bruto influenciaram negativamente a germinação das sementes, concluindo que estas espécies possuem baixa tolerância ao lixiviado bruto.

Já Leigue et al. (2013) investigaram a irrigação de culturas destinadas à produção de biodiesel (soja e girassol), também com lixiviado bruto, e verificaram que além do crescimento das plantas não ter sido afetado negativamente, quando utilizada uma diluição de 20% de lixiviado em água, as plantas irrigadas se desenvolveram melhor do que as plantas controle, especialmente o girassol.

Assim, a investigação dos efeitos tóxicos de efluentes sobre plantas pode servir de base para se avaliar a possível aplicação dos mesmos no solo e os efeitos sobre determinadas culturas.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a toxicidade de misturas lixiviado/esgoto sintético brutas e biotratadas no milho (*Zea mays* L.) e determinar a toxicidade aguda (CE50 e CL50) do lixiviado bruto em organismos-teste de diferentes níveis tróficos.

2 Metodologia

2.1 Etapa 1 – Bioensaios com misturas lixiviado/esgoto sintético brutas e biotratadas

Na Etapa 1, os tratamentos consistiram em cinco diferentes misturas de

lixiviado e esgoto sintético (0, 0,5, 2, 5 e 100%) e duas condições (bruto e biotratado), totalizando dez tratamentos e caracterizando um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial de 5 X 2, com trinta repetições.

O esgoto sintético utilizado foi produzido com base nas recomendações de Bou et al. (2015) e Bou et al. (2018), de modo a se obter características físico-químicas semelhantes às do esgoto doméstico.

O lixiviado foi coletado no aterro sanitário Dois Arcos, latitude 22°49'33" e longitude 42°03'14", no Sítio do Pau Ferro (São Pedro da Aldeia, RJ, Brasil).

Foram preparados cinco tratamentos lixiviado/esgoto sintético (volume/volume), 0% (somente esgoto sintético), 0,5, 2, 5 e 100% (somente lixiviado), que foram caracterizados quanto aos parâmetros turbidez, cor, demanda química de oxigênio (DQO) e nitrogênio amoniacal.

As misturas foram submetidas a tratamento biológico por processo de lodo ativado variante aeração prolongada. Foram utilizados reatores em bateladas sequenciais (RBS) em escala de bancada com volume útil de 1L, em ciclos de 24h, utilizando lodo já adaptado ao tratamento de misturas contendo lixiviado e esgoto sanitário.

Os ensaios de toxicidade com o organismo-teste milho foram realizados no LSP - Laboratório de Estudo das Relações Solo-Planta, do Instituto de Agronomia da UFRRJ. Para o ensaio, foi utilizado milho *Zea mays* L., variedade BRS 4157 (Sol da Manhã) que apresenta grãos duros (tipo *flint*) e avermelhados. Essa variedade foi desenvolvida pela Embrapa.

As sementes foram enroladas em papel filtro germitest® próprio para ensaios de germinação e cada rolo de papel foi preparado com 10 sementes para cada tratamento. Os rolos foram colocados em tubos *falcon* contendo o tratamento.

Os ensaios de germinação do milho duraram 7 dias e seguiram as recomendações de MAPA (2009).

Após preparadas, as amostras foram incubadas em estufa (Estufa de Fotoperíodo QUIMIS - Q315F25) à temperatura de 28°C, conforme recomendações de MAPA (2009). Diariamente era verificado o nível do líquido nos recipientes, repondo-se amostra, caso necessário.

No sétimo dia após a incubação procedeu-se a avaliação dos seguintes parâmetros morfológicos das plântulas: Comprimento de Raiz Primária (CRP);

Comprimento de Parte Aérea (CPA)
Comprimento Total de Raiz (CTR); Área Superficial de Raiz (ASR); Volume de Raiz (VR); Diâmetro Médio de Raiz (DMR). Foi avaliado também o percentual de sementes germinadas.

Para se determinar os parâmetros Comprimento de Raiz Primária (CRP) e Comprimento de Parte Aérea (CPA), os rolos de papel foram abertos e procedeu-se a medição de seus comprimentos.

Para realizar a análise dos outros parâmetros utilizou-se o sistema WinRHIZO® 2012b (Regent Instr. Inc.) acoplado a um *scanner* profissional Epson XL 10000 equipado com unidade de luz adicional. Foi utilizada uma definição de 400 dpi para as medidas de morfologia de raiz, conforme recomendações de Bauhus e Messier (1999).

As raízes foram, então, separadas da plântula e da parte aérea e dispostas em uma cuba de acrílico de 20x30 cm contendo água destilada. A utilização deste acessório permite a obtenção de imagens em três dimensões, evitando sobreposição das raízes.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias de cada tratamento foram comparadas considerando nível de 5% de probabilidade de erro, utilizando-se, para tanto, o *software* livre WinStat®.

2.2 Etapa 2 – Toxicidade do lixiviado bruto (*Zea mays* L., *Danio rerio* e *Allivibrio fischeri*)

Os valores de CE50 correspondem à concentração para a qual o parâmetro analisado teve como resposta metade do valor do branco (0%), utilizando-se, para tanto, uma regressão polinomial para cada parâmetro. Para tal, procedeu-se da seguinte forma: foram preparadas 5 diluições do lixiviado bruto em água destilada com 0% (somente água destilada), 25%, 50%, 75% e 100% (somente lixiviado) e novos rolos de papel com 10 sementes cada foram preparados para exposição de cada um destes a uma das diluições.

Foram realizados todos os procedimentos dos testes de germinação e determinação dos parâmetros morfológicos descritos anteriormente para essas diluições.

Para possibilitar a comparação dos efeitos observados, os resultados de todos os parâmetros analisados foram normalizados em uma escala de zero a um e os dados foram dispostos num único gráfico, para a determinação da CE50.

A toxicidade do lixiviado bruto foi avaliada também em bioensaios com os organismos *Danio rerio* (CL50) e *Allivibrio fischeri* (CE50), conforme metodologias descritas pela NBR 15088 (ABNT 2006) e NBR 15411-3 (ABNT 2012), respectivamente.

3 Resultados

As misturas de lixiviado/esgoto sintético brutas e biotratadas utilizadas na Etapa 1 foram caracterizadas e os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Analisando a magnitude dos dados apresentados na Tabela 1, constata-se que a eficiência de remoção de turbidez aumentou com a adição do lixiviado. Esse efeito foi observado em todos os percentuais de lixiviado aplicados às misturas, inclusive quando o sistema operou com 100% de lixiviado.

Os parâmetros cor, DQO e nitrogênio amoniacal tiveram os valores de eficiência reduzidos à medida que se aumentava a proporção de lixiviado na mistura, o que é explicado pelo aumento da carga de matéria orgânica recalcitrante e nitrogênio amoniacal, que são tóxicos aos microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico no reator de lodo ativado.

Na Figura 1 são apresentadas as sementes, após os 7 dias de germinação, expostas ao branco (água destilada) e às misturas 0% (somente esgoto), 0,5, 2, 5 e 100% (somente lixiviado).

Na Figura 1 (f) pode-se verificar que as sementes expostas somente ao lixiviado bruto sofreram inibição de desenvolvimento, destacando-se que praticamente não houve desenvolvimento da parte aérea, evidenciando o efeito tóxico do lixiviado bruto ao organismo-teste.

Nas demais amostras (branco, 0, 0,5, 2 e 5%) se observam sementes em estágio mais avançado de desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular.

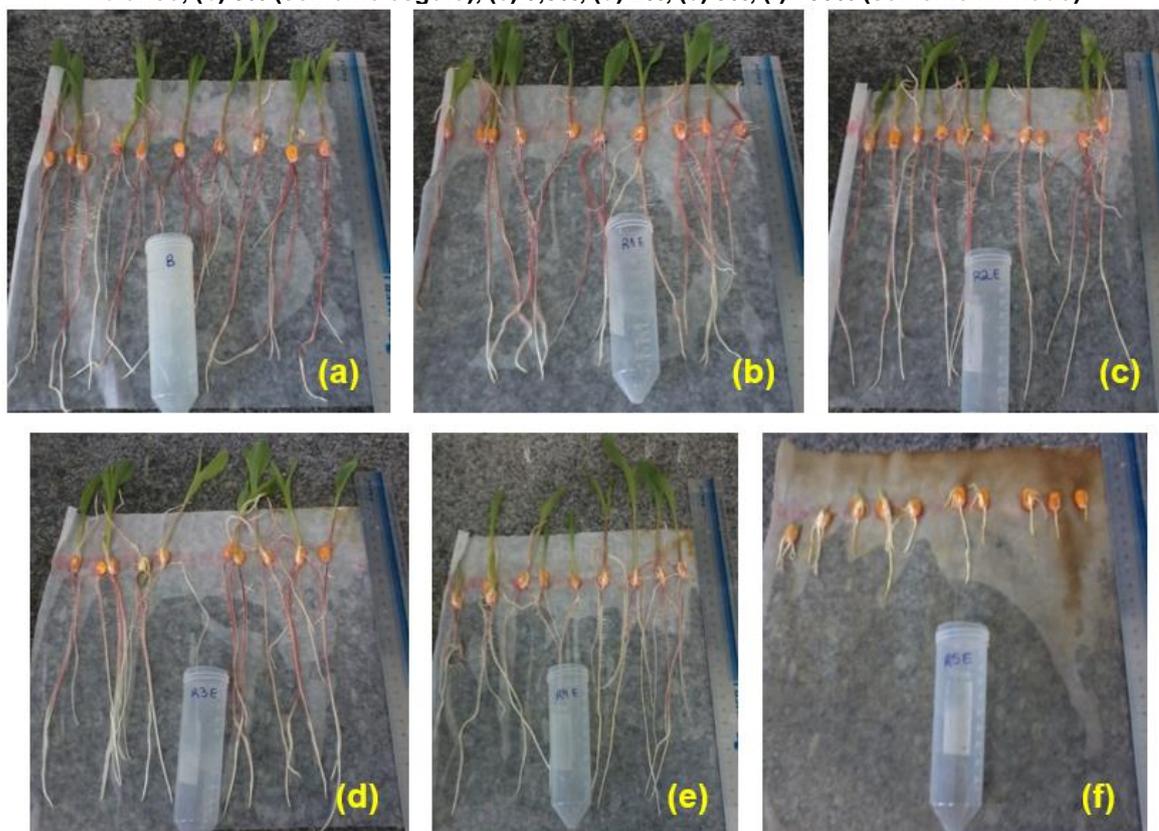
Na Figura 2 são apresentadas as sementes, após os 7 dias de germinação, expostas às misturas biotratadas.

Tabela 1 - Processo de caracterização das misturas de lixiviado/esgoto sintético brutas e biotratadas utilizadas na Etapa 1 e eficiências de remoção obtidas pelo tratamento biológico por lodo ativado aeração prolongada

| Parâmetro | Método (APHA, 2012) | Misturas Brutas (antes do tratamento biológico) | | | | |
|-------------------------------------|---------------------|--|------|------|------|-------|
| | | 0% | 0,5% | 2% | 5% | 100% |
| Turbidez (uT) | 2130-B | 13,3 | 13,9 | 14,2 | 17,5 | 87,0 |
| Cor (uH) | 2120-C | 254 | 258 | 363 | 590 | 6750 |
| DQO (mg/L) | 5220-D | 469 | 480 | 536 | 633 | 3761 |
| Nitrogênio Amoniacal (mg/L) | 4500-E | 40,1 | 46,4 | 52,7 | 59,8 | 314,5 |
| Parâmetro | Método (APHA, 2012) | Misturas Biotratadas (após tratamento biológico) | | | | |
| | | 0% | 0,5% | 2% | 5% | 100% |
| Turbidez (uT) | 2130-B | 0,9 | 0,4 | 0,8 | 0,2 | 0,5 |
| Cor (uH) | 2120-C | 15 | 24 | 84 | 220 | 5500 |
| DQO (mg/L) | 5220-D | 41 | 52 | 96 | 180 | 2786 |
| Nitrogênio Amoniacal (mg/L) | 4500-E | 13,2 | 14,8 | 16,7 | 21,6 | 169,8 |
| Remoção de Turbidez (%) | - | 93 | 97 | 95 | 99 | 99 |
| Remoção de Cor (%) | - | 94 | 91 | 77 | 63 | 19 |
| Remoção de DQO (%) | - | 91 | 89 | 82 | 72 | 26 |
| Remoção de Nitrogênio Amoniacal (%) | - | 67 | 68 | 68 | 64 | 46 |

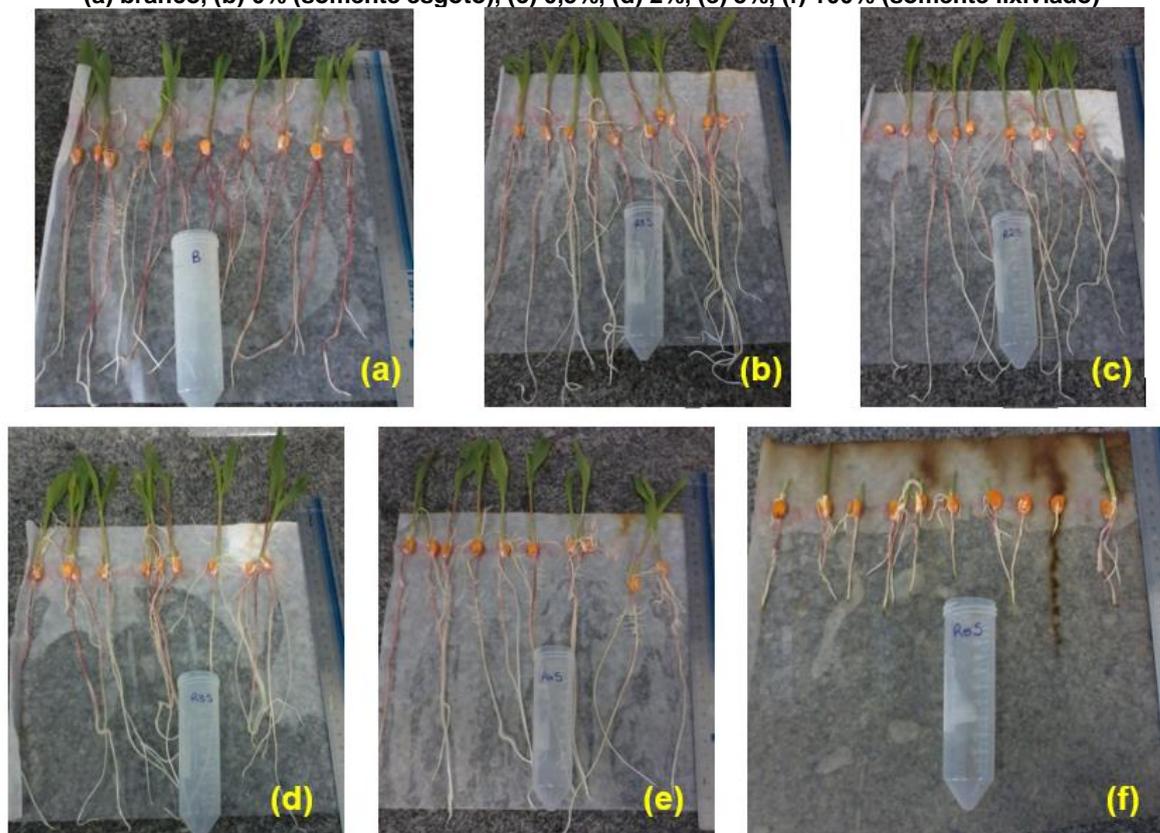
Fonte: Autores (2019)

Figura 1 - Aspecto das plântulas após exposição às misturas de lixiviado/esgoto sintético brutas. (a) branco, (b) 0% (somente esgoto), (c) 0,5%, (d) 2%, (e) 5%, (f) 100% (somente lixiviado)



Fonte: Autores (2019)

Figura 2 - Aspecto das plântulas após exposição às misturas de lixiviado/esgoto sintético biotratadas. (a) branco, (b) 0% (somente esgoto), (c) 0,5%, (d) 2%, (e) 5%, (f) 100% (somente lixiviado)



Fonte: Autores (2019)

Observa-se o melhor desenvolvimento das plântulas expostas às misturas biotratadas (Figura 2) do que quando expostas às misturas brutas (Figura 1), indicando, assim, que o tratamento biológico reduziu a toxicidade de cada uma das misturas ao organismo-teste.

Outro aspecto observado é que, nas concentrações mais altas de lixiviado, especialmente no experimento com as misturas brutas, verificou-se que as raízes apresentavam necrose apical. Resultados

semelhantes são descritos por Bhowmik e Doll (1982) e Jacobi e Ferreira (1991).

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios de CRP e CPA, para as amostras brutas e biotratadas. Houve melhor desenvolvimento das plântulas expostas às misturas biotratadas, indicando, assim, que o tratamento biológico reduziu a toxicidade de cada uma das misturas.

Na Figura 3 são apresentados os resultados de CRP, CPA, CTR, ASR, VR e DMR.

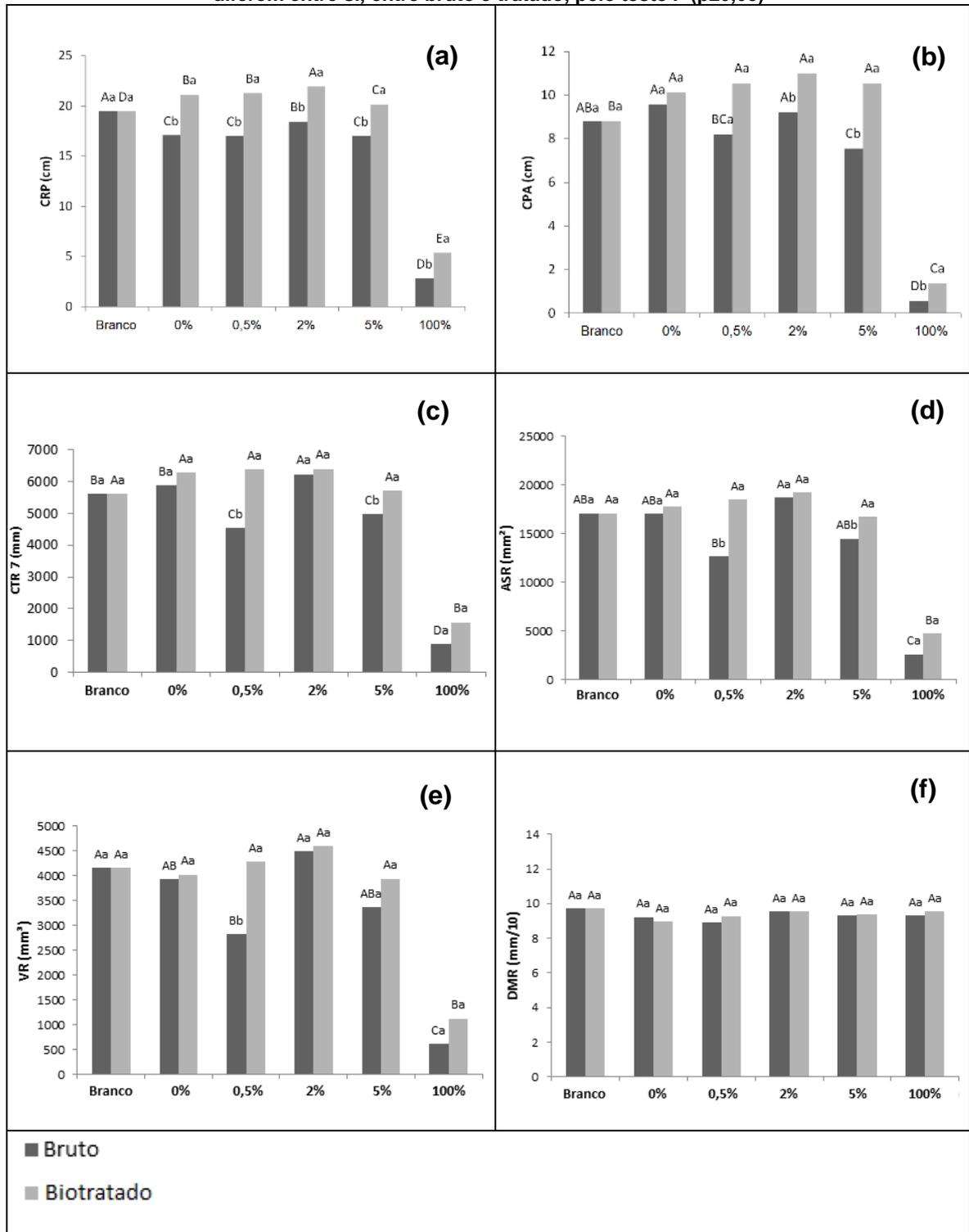
Tabela 2 - Valores médios (n=30) de Comprimento de Raiz Primária (CRP) e Comprimento de Parte Aérea (CPA), para as amostras brutas e biotratadas, com tempos de exposição de 7 dias

| Amostras | CRP (cm) | | | | | |
|-------------|----------|-------|---------|-------|-------|---------|
| | Branco | (0%)* | (0,5%)* | (2%)* | (5%)* | (100%)* |
| Bruto | 19,5 | 17,1 | 17,0 | 18,4 | 17,0 | 2,8 |
| Biotratado | 19,5 | 21,1 | 21,3 | 21,9 | 20,2 | 5,4 |
| Tratamentos | CPA (cm) | | | | | |
| | Branco | (0%) | (0,5%) | (2%)* | (5%)* | (100%)* |
| Bruto | 8,8 | 9,6 | 8,2 | 9,2 | 7,6 | 0,6 |
| Biotratado | 8,8 | 10,1 | 10,6 | 11,0 | 10,6 | 1,4 |

* Médias diferem entre si, entre bruto e biotratado.

Fonte: Autores (2019)

Figura 3 - (a) Comprimento de Raiz Primária, (b) Comprimento de Parte Aérea, (c) Comprimento Total de Raiz, (d) Área Superficial de Raiz, (e) Volume de Raiz, (f) Diâmetro Médio de Raiz das plântulas expostas às misturas brutas e biotratadas. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si, entre misturas, pelo teste F ($p \leq 0,05$) e médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, entre bruto e tratado, pelo teste F ($p \leq 0,05$)



Fonte: Autores (2019)

O único parâmetro morfológico analisado que não sofreu qualquer influência

da presença da mistura lixiviado/esgoto sintético foi o Diâmetro Médio de Raiz (Figura

3.f), cujas médias, tanto das amostras brutas quanto biotratadas, não diferiram do branco nem entre si ($p \leq 0,05$), independente da mistura.

Desta forma, pode-se dizer que este parâmetro não é adequado para se avaliar o efeito tóxico do lixiviado sobre a germinação do milho, por não se mostrar sensível à presença deste efluente.

As misturas lixiviado/esgoto sintético 0, 0,5, 2 e 5% biotratadas apresentaram médias iguais ou superiores ao branco em todos os demais parâmetros morfológicos, demonstrando que a exposição do organismo-teste a estas misturas teve efeitos benéficos à germinação do milho

Nos parâmetros CTR, ASR e VR, mesmo apresentando médias sempre

superiores ao branco, pelo Teste de Tukey (utilizado para testar diferenças entre as médias), não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas para o intervalo de confiança adotado.

Já a mistura 100% (apenas lixiviado), tanto bruta quanto biotratada, apresentou valores muito menores que o branco para todos os parâmetros CRP, CPA, CTR, ASR e VR, demonstrando que estas misturas apresentam efeito tóxico às plântulas de milho.

De modo geral, as misturas biotratadas de 0%, 0,5%, 2% e 5% favoreceram o desenvolvimento do organismo-teste e conferiram elevados percentuais de germinação, conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3 - Percentuais de germinação observados nos tratamentos após tempo de exposição de 7 dias

| Tratamentos | Percentual de germinação (%) | | | | | |
|-------------|------------------------------|-------|--------|-------|------|--------|
| | Branco | (0%) | (0,5%) | (2%) | (5%) | (100%) |
| Bruto | 96,7 | 100,0 | 96,7 | 100,0 | 93,3 | 90,0 |
| Biotratado | 96,7 | 100,0 | 96,7 | 100,0 | 96,7 | 100,0 |

Fonte: Autores (2019)

Observa-se ainda que, em todos os casos, os parâmetros morfológicos observados nas sementes expostas às misturas biotratadas apresentaram médias superiores aos das misturas brutas.

Na Etapa 2 foram medidos, então, os parâmetros morfológicos CRP, CPA, CTR, ASR, VR e DMR para diferentes diluições do lixiviado em água destilada (0, 25, 50, 75 e 100%), cujos resultados estão apresentados na Figura 4.

Nota-se que todos os valores de CE50, para cada um dos parâmetros avaliados, foram muito próximos, a saber: 69,9% (CTR), 68,8% (ASR), 71,2% (VR), 68,3% (CPA) e 74,9% (CRP). O CPA e CRP são os parâmetros de mais fácil determinação, pois não dependem da análise das imagens escaneadas em softwares específicos, demandando apenas a medição de seus comprimentos.

Na Figura 5 estão apresentados os resultados de CRP, CPA, CTR, ASR, VR e DMR normalizados, por diluição de lixiviado, com ajuste de função polinomial à média de cada resultado.

Na Figura 5 é possível verificar que, exceto DMR, os demais parâmetros se comportaram de maneira bastante semelhante. A função foi ajustada ao valor

médio dos parâmetros normalizados e, por meio da equação apresentada no gráfico, foi determinada a concentração de lixiviado associada a 0,5, resultando em uma CE50 $\approx 70,9\%$.

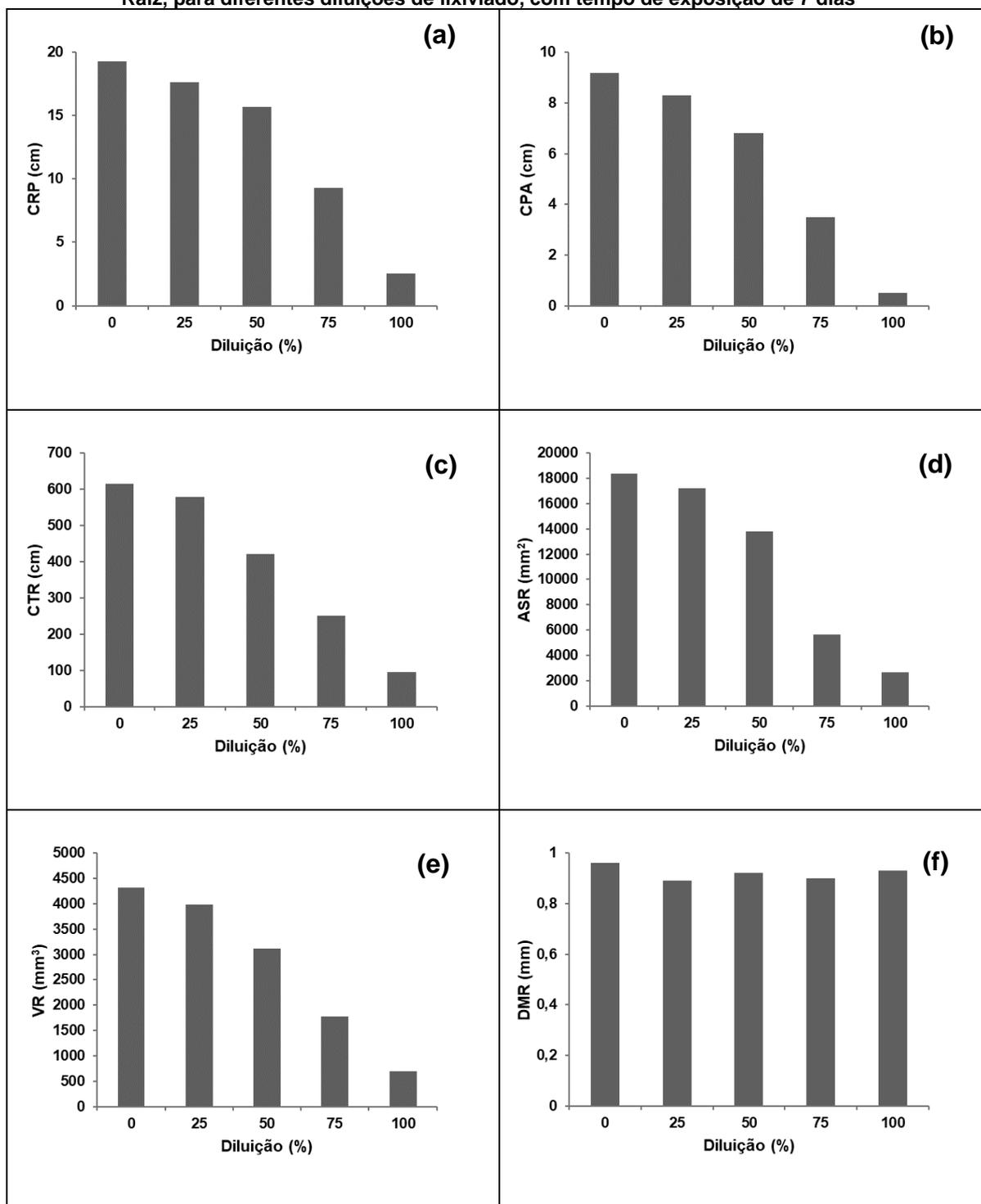
Na Tabela 4, são apresentados os resultados da toxicidade do lixiviado bruto aos organismos *Zea mays* L. (milho), *Allivibrio fischeri* e *Danio rerio*.

O milho foi o organismo-teste mais tolerante ao lixiviado bruto, seguido da bactéria marinha bioluminescente *Allivibrio fischeri* e o menos tolerante foi o peixe de água doce *Danio rerio*.

A toxicidade aguda do lixiviado bruto ao organismo *Danio rerio* ($t=48$ h) foi extremamente elevada ($CL \approx 2,1\%$). Mannarino et al. (2010) observaram resultados também elevados para o lixiviado do Aterro Sanitário de Morro do Céu (Niterói/RJ), com valor médio de $CL50 \approx 4\%$.

Para o organismo *Allivibrio fischeri* ($t=15$ min), a toxicidade do lixiviado bruto foi $CE \approx 14,3\%$, valor bastante próximo ao obtido por Plotkin and Ram (1984) no lixiviado do Aterro Sanitário de Massachusetts ($CE \approx 15,0\%$) e por Anglada et al. (2011) no Aterro Sanitário de Chania (Creta/Grécia) com valor de $CE \approx 18,0\%$.

Figura 4 - Resultados médios de (a) Comprimento de Raiz Primária, (b) Comprimento de Parte Aérea, (c) Comprimento Total de Raiz, (d) Área Superficial de Raiz, (e) Volume de Raiz, (f) Diâmetro Médio de Raiz, para diferentes diluições de lixiviado, com tempo de exposição de 7 dias



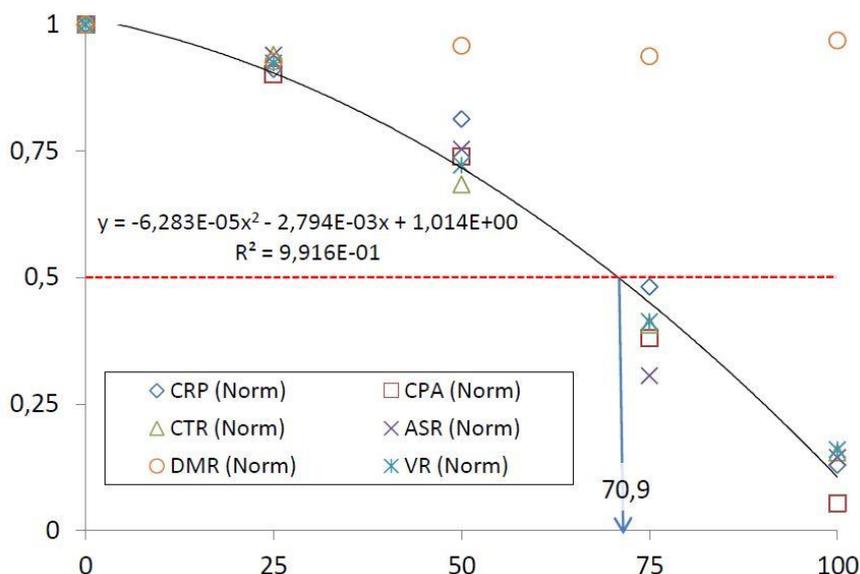
Fonte: Autores (2019)

Tabela 4 - Toxicidade do lixiviado bruto aos organismos *Zea mays* L. (milho), *Allivibrio fischeri* e *Danio rerio*

| CE 50 <i>Zea mays</i> L. | CE50 <i>Allivibrio fischeri</i> | CL50 <i>Danio rerio</i> |
|--------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 70,9% | 14,3% | 2,1% |

Fonte: Autores (2019)

Figura 5 - Parâmetros morfológicos normalizados, com ajuste de função polinomial à média de cada resultado e determinação do CE50



Fonte: Autores (2019)

4 Conclusões

Os testes de toxicidade utilizando sementes de milho (*Zea mays* L.) demonstraram ser uma ótima ferramenta para verificação do efeito tóxico do lixiviado, sendo de baixo custo (em comparação às técnicas que utilizam algas e animais), rápida execução e alta sensibilidade.

Os parâmetros morfológicos comprimento de raiz primária, comprimento de parte aérea, comprimento total de raiz, área superficial de raiz e volume de raiz se mostraram sensíveis à presença de lixiviado,

enquanto o diâmetro médio de raiz não foi influenciado. O lixiviado bruto apresentou CE50 de 70,9% ao milho, CE50 de 14,3% ao *Allivbrio fischeri* e CL50 de 2,1% ao *Danio rerio*.

As misturas de lixiviado/esgoto sintético de 0, 0,5, 2 e 5% biotratadas foram benéficas para desenvolvimento das sementes, resultado que reforça a possibilidade de reúso do efluente tratado para fins de fertirrigação deste tipo de cultura, desde que sejam avaliadas adequadamente questões relativas à qualidade e segurança alimentar.

5 Toxicity Assessment of Landfill Leachate using Maize Seeds Germination

Abstract: The bioassays using seeds are suitable to evaluate leachate toxicity, representing a possible application in the soil. These tests are low cost, fast to perform and high sensitivity. Environmental legislation requires leachate treatment prior to disposal in environment and the treated leachate, which has organic matter and nutrients, has potential for agricultural use. This study evaluated the toxicity of raw leachate and treated leachate using maize seed germination. For this, 0%, 0.5%, 2%, 5% and 100% leachate/ synthetic sewage mixtures were prepared for biological treatment in lab-scale activated sludge reactors. The seeds were exposed to both raw and submitted to biological treatment samples for 7 days for germination tests and determination of morphological characteristics. In addition, dilutions of 0, 25, 50, 75% and 100% of raw leachate were prepared in distilled water for EC50 determination. Exposure of seeds to treated samples of mixtures 0.5%, 2% and 5% was beneficial for germination in all evaluated morphological parameters. The raw leachate presented EC50 of 70.9% to the test organism maize, 14.3% to *Allivbrio fischeri* and 2.1% to *Danio rerio*.

Keywords: Phytotoxicity; Seed germination; Landfill leachate; *Zea mays* L.

6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda - Método de ensaio com peixes**. NBR 15088, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Ecotoxicologia aquática - Determinação do efeito inibitório de amostras aquosas sobre a emissão da bioluminescência de *Vibrio fischeri* (ensaio de bactéria luminescente) Parte 3: Método utilizando bactérias liofilizadas**. NBR 15411-3, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012.

ALMEIDA, G.D.; ZUCOLOTO, M.; ZETUN, M.C.; COELHO, I.; SOBREIRA, F.C. Oxidative stress in vegetable cells mediated by allelochemicals. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v. 61, n. 1, p. 4237-4247, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v61n1/a01v61n1.pdf>>. Acesso em 02 jul. de 2018.

ANGLADA, Á.; URTIAGA, A.; Ortiz, I.; MANTZAVINOS, D.; DIAMADOPOULOS, E. Boron-doped diamond anodic treatment of landfill leachate: Evaluation of operating variables and formation of oxidation by-products. **Water Research**, v. 45, p. 828-838, 2011.

APHA - American Public Health Association. **Standard methods for examination of water and wastewater**, 22 ed.: Washington, 2012.

BAUHUS, J.; MESSIER, C. Evaluation of Fine Root Length and Diameter Measurements Obtained Using WinRhizo Image Analysis. **Agronomy Journal**, v. 91, n. 1, p. 142-147, 1999.

BHOWMIK, P.C.; DOLL, J.D. Corn and Soybean Response to Allelopathic Effects of Weed and Crop Residues. **Agronomy Journal**, v. 74, p. 601-606, 1982.

BOU, A.S.F.; NASCENTES, A.L.; PEREIRA, B.C.; SILVA, L.D.B.; FERREIRA, J.A.; CAMPOS, J.C. Mathematical modeling of COD removal via the combined treatment of domestic wastewater and landfill leachate based on the PACT process. **Journal of Environmental Science and Health Part A Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering**, v. 50, n. 4, p. 378-384, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/10934529.2015.987533>>. Acesso em 02 jul. de 2018.

BOU, A.S.F.; PEREIRA, B.C.; SILVA, L.D.B.; FERREIRA, J.A.; CAMPOS, J.C.; NASCENTES, A.L. Color removal in the combined treatment of landfill leachate and domestic sewage via PACT® process. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, p. 385-393, 2018. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018150425>>. Acesso em 02 jul. de 2018.

FAÇANHA, A.R.; FAÇANHA, A.L.O.; OLIVARES, F.L.; GURIDI, F.; SANTOS, G.A.; VELLOSO, A.C.X.; RUMJANEK, V.M.; BRASIL, F.C.; SCHRIPISEM, J. BRAZ-FILHO, R.; Oliveira, M.A.; Canelas, L.P. Humic acids bioactivity: effects on root development and on the plasma membrane proton pump. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 9, p. 1301-1310, 2002. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/6470/3527>>. Acesso em 02 jul. de 2018.

FERREIRA, J.A. et al. Tratamento Combinado de Lixiviados de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos com Esgoto Sanitário. In: GOMES, L.P. (coord) et al. **Resíduos Sólidos. Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras**. PROSAB 5. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

FRANCO, H.A.; MARTINS, G.M.O.; MUSSEL, Y.L.; MORENO, S.C.; THODE FILHO, S.; MARQUES, M.R.C. Ecotoxicity of Landfill Leachate on Germination of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) and Cucumber Seed (*Cucumis sativus* L.). **REA – Revista de Estudos Ambientais** (Online), v.19, n. 1, p. 36-43, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2017v19n1p36-43>>. Acesso em 02 jul. de 2018.

FREITAS, W.S.; OLIVEIRA, R.A.; PINTO, F.A.; CECON, P.R.; GALVÃO, J.C.C. Effect of swine wastewater application on corn production for silage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 120-125, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662004000100018>>. Acesso em 02 jul. de 2018.

FUENTES, A.; LLORENS, M.; SAEZ, J.; AGUILAR, M.I.; ORTUÑO, J.F.; MESEGUER, V.F. Phytotoxicity and heavy metals speciation of stabilized sewage sludges. **Journal of Hazardous Materials**, v. 108, p. 161-169, 2004.

JACOBI, U.S.; FERREIRA, A.G. Allelopathic effects of Mimosa bimucronata (DC) OK. on cultivated species. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 7, p. 935-943, 1991. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/3425/758>>. Acesso em 02 jul. de 2018.

LEIGUE, M.A.; LAVAGNOLO, M.C.; MALAGOLI, M.; COSSU, R. Leachate irrigation of energy crops. In: Proceedings Sardinia 2013 **Fourteenth International Waste Management and Landfill Symposium**, Cagliari, Italy; 2013.

MANNARINO, C.F.; FERREIRA, J.A.; MOREIRA, J.C.; BILA, D.M.; MAGALHÃES, D.P. Assessment of Combined Treatment of Landfill Urban Solid Waste Leachate and Sewage Using Danio rerio

and *Daphnia similis*. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 85, p. 274-278, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00128-010-0087-9>>. Acesso em 02 jul. de 2018.

MAPA Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf>. Acesso em 02 jul. de 2018.

McBEAN, E.A.; ROVERS, F.A.; FARQUHAR, G.J. **Solid waste landfill engineering and design**. New Jersey: Prentice Hall, 1995.

MORTELE, L.M.; LOPES, P.C.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C.A. Germination of seeds and seedling growth of popcorn cultivars under water and salinity stress. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 3, p. 169-176, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222006000300024>>. Acesso em 02 jul. de 2018.

NASCENTES, A.L.; NASCIMENTO, M.M.P.; BRASIL, F.C.; CAMPOS, J.C.; FERREIRA, J.A. Tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico: aspectos operacionais e microbiológicos. **Revista Eletrônica Teccen**, v. 6, p. 5-12, 2015.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT – OECD – **Terrestrial Plant Test: 208: Seedling Emergence**

and Seedling Growth Test. Guideline for the Testing of Chemicals Proposal for Updating Guideline 208, 2003. Disponível em: <<https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264070066-en.pdf?expires=1565737707&id=id&accname=guest&checksum=1580BA1C71C25C11F464351DA9C9698E>>. Acesso em 12 ago. de 2019.

PLOTKIN, S.; RAM, N.M. Multiple Bioassays to Assess the Toxicity of a Sanitary Landfill Leachate. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 13, p. 197-206, 1984.

SILVA, J.B.G.; MARTINEZ, M.A.; PIRES, C.S.; ANDRADE, I.P.S.; SILVA, G.T. Evaluation of electrical conductivity and pH in the soil solution in an area fertigated with wastewater from dairy cattle. **Revista Irriga**. Edição Especial, p. 250-263, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2012v1n01p250>>. Acesso em 02 jul. de 2018.

7 Agradecimentos

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e à FAPERJ (Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro), pelo apoio financeiro e auxílio com bolsas, permitindo, assim, a realização deste trabalho.