

doi 10.46943/VII.CONAPESC.2022.01.036

# TOXICIDADE DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS DEPOSITADOS EM BIORREATOR DE BANCADA: UM ESTUDO DE CASO

## ELISÂNGELA MARIA DA SILVA

Pesquisadora Doutora em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Campina Grande - PB, elisa\_maria18@hotmail.com;

## NAIARA ANGELO GOMES

Professora do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Pombal - PB, naiaraangeloccta@gmail.com;

## MÁRCIO CAMARGO DE MELO

Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Campina Grande - PB, melomc90@gmail.com.

## RESUMO

Os resíduos sólidos, em geral, apresentam elevadas quantidades de materiais com características tóxicas. No caso dos Resíduos Sólidos Orgânicos (RSO), que são apresentados como não inertes e não perigosos, seu potencial tóxico pode estar associado à falta ou ineficiência da segregação na fonte geradora. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a toxicidade dos RSO de uma instituição de ensino com base em indicadores físico-químicos e fitotoxicológicos. Para isso, foi confeccionado e instrumentado um biorreator de bancada, em tubo de PVC, com volume de 0,03 m<sup>3</sup> e dimensões de 0,90 e 0,20 m de altura e diâmetro interno, respectivamente. O reator foi preenchido com RSO provenientes do restaurante da Escola Cidadã Integral Severino Cabral, localizada na cidade de Campina Grande, Paraíba, Brasil. As amostras de resíduos depositados no biorreator foram coletadas quinzenalmente, por um período de 355 dias, para realização das análises do pH, metais pesados, tais como Alumínio, Chumbo, Ferro, Manganês e Zinco (Al, Pb, Fe, Mn e Zn) e testes de fitotoxicidade em sementes de tomate (*Solanum lycopersicum*) e repolho (*Brassica oleraceae*). Para a análise da toxicidade dos

metais nos RSO foram avaliadas 8 amostras, denominadas de A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7 e A8. As concentrações dos metais nos RSO apresentaram-se acima dos limites máximos permitidos para os testes solubilização, conforme Anexo G da NBR 10.004/2004. Em relação aos testes de fitotoxicidade, a Germinação Relativa da Semente (GRS) o valor médio de germinações foi de  $131,1 \pm 93,6\%$  e  $139,0 \pm 85,7\%$  para as sementes de tomate e repolho, respectivamente. Já o Crescimento Relativo da Raiz (CRR), para as sementes de tomate foi de  $61,9 \pm 20,8\%$  e  $40,4 \pm 12,3\%$ , para as sementes de repolho. Concluiu-se que os resíduos orgânicos da instituição foram classificados como resíduos Classe IIA, conforme a classificação da norma brasileira, no entanto, os metais presentes nos RSO, à exceção do Al, se mostraram tóxicos à germinação e ao crescimento das sementes.

**Palavras-chave:** Fitotoxicidade, Instituição de ensino, Metais pesados, Resíduos sólidos.

## INTRODUÇÃO

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são considerados um problema ambiental no Brasil, como em muitos países em desenvolvimento, uma vez que, possuem vários agentes causadores de degradação ambiental e de doenças ao ser humano. Quando dispostos inadequadamente, comprometem a qualidade do solo, da água e do ar e, em muitos casos, dependendo do tipo de resíduo, esse potencial torna-se mais acentuado em virtude da presença de compostos orgânicos voláteis, pesticidas, solventes e metais tóxicos. Além disso, muitos desses elementos são potenciais causadores de desregulação endócrina em organismos expostos (FRANÇA, 2016; OKUMU e NYENJE, 2011; LU *et al.*, 2016).

Das frações de RSU, os Resíduos Sólidos Orgânicos (RSO) representam uma das principais parcelas. De acordo com o IBGE (2010), no Brasil, cerca de 50% da massa total de resíduos sólidos é constituído por RSO. Estudos desenvolvidos por Gonçalves *et al.* (2018), demonstraram que a fração de resíduos orgânicos em cidades, como Belorizonte, Cape Town no Sul da África, Macau na China e Irkutsk na Rússia, apresentaram composição de RSO de 46, 50, 45,7 e 30%, respectivamente. No município de Campina Grande-PB, local de desenvolvimento desta pesquisa, essa fração é em torno de 43% do total (PMGIRS, 2014).

Em se tratando de instituições de ensino, a quantidade de RSO gerado nestes locais, principalmente os que funcionam em período integral, têm aumentado consideravelmente, em comparação com as demais frações de resíduos. Assim, a ausência de ações em educação ambiental, associada à deficiência da coleta seletiva, são fatores que contribuem para o risco de toxicidade dos RSO. Isso porque, quando não segregada, a fração orgânica dos RSU, entra em contato com a massa total de resíduos podendo agregar partículas tóxicas e assim causar impactos ao meio ambiente e à saúde da população.

Assim, o desenvolvimento de estudos em biorreatores de bancada com o intuito de analisar a toxicidade dos RSO é relevante, visto que, poderá servir de base para auxiliar na implementação e consolidação de protocolos de testes de toxicidade em resíduos sólidos urbanos, assim em lixiviado de aterros sanitários, constituindo-se ainda em um guia para as agências reguladoras e o poder público na tomada de decisões. Além disso, espera-se que os resultados deste estudo contribuam na determinação de critérios para a classificação de RSU, fornecendo subsídios para elaboração e reformulação de normas técnicas normadoras de mecanismos de controle ambiental.

Esses estudos podem ser realizados por meio da classificação dos resíduos com base em normas técnicas, além de ensaios fitotoxicológicos nos RSO utilizando espécies vegetais. Os testes de fitotoxicidade, que avaliam a influência que agentes ou combinações tóxicas presentes nos resíduos sólidos urbanos exercem sobre o desenvolvimento de plantas (GRYCZAK *et al.*, 2018). De acordo com Wilke *et al.* (2008), esses testes complementam as análises físico-químicas e microbiológicas convencionalmente utilizados em laboratórios, sendo empregados para avaliar a qualidade do meio ambiente onde estão inseridos.

Dessa forma, vários tipos de sementes de espécies de plantas e vegetais vêm sendo utilizadas em bioensaios, com finalidade de verificar o potencial tóxico de substâncias químicas, agindo individualmente ou em combinação. Algumas dessas espécies são: tomate (*Solanum lycopersicum*), repolho (*Brassica oleraceae*), alface (*Lactuca sativa*), quiabo (*Abelmoschus esculentus*), cebola (*Allium cepa*), entre outros (BUDI *et al.*, 2016; COLOMBO *et al.*, 2019; FERREIRA Jr. *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2015; TIQUIA; TAM; HODGKISS, 1996).

Com base nesse contexto, para determinar os efeitos toxicológicos às sementes de tomate (*Solanum lycopersicum*) e de repolho (*Brassica oleraceae*), utilizadas nesta pesquisa, são recomendadas pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA, 1996) e pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2003). Assim, os ensaios de germinação utilizando essas sementes como organismos-teste fornecem informações sobre os possíveis efeitos em plantas e sobre o efeito biológico de compostos solúveis em baixas concentrações (WELTER *et al.*, 2018; COLOMBO *et al.*, 2019). Diante disso, o objetivo desse estudo foi avaliar a toxicidade dos Resíduos Sólidos Orgânicos (RSO) de uma instituição de ensino com base nos indicadores físico-químicos e fitotoxicológicos.

## METODOLOGIA

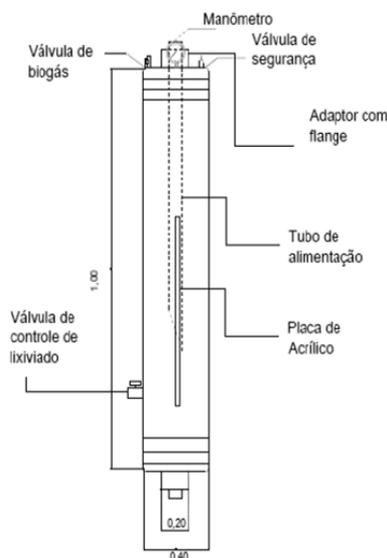
Este estudo foi desenvolvido no departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) em parceria com a escola Cidadã Integral Severino Cabral, localizada no bairro de Bodocongó, da cidade de Campina Grande - PB e situa-se nas seguintes coordenadas UTM 71335 e 355508. A seleção da referida escola para realização desta pesquisa se deu por intermédio de seus integrantes, que perceberam a necessidade do desenvolvimento de projetos voltados à gestão de resíduos sólidos na instituição de ensino.

A Instituição possuía, durante o período de desenvolvimento desta pesquisa, cerca de 550 integrantes, entre alunos, professores, gestores e funcionários em geral; e nela foi desenvolvido um projeto de gestão de resíduos sólidos, em parceria com o Grupo de Pesquisa de Geotecnia Ambiental (GGA) e a UFCG, *Campus Campina Grande* - PB.

## 2.1 Construção e instrumentação do biorreator

O sistema experimental consistiu na construção e instrumentação de um biorreator de bancada, conforme apresentado na Figura 1. Sua concepção se deu a partir da utilização de um tubo de Policloreto de Vinila (PVC), possuindo volume de aproximadamente  $0,03\text{m}^3$  e dimensões de  $0,90$  e  $0,20\text{m}$  de altura e diâmetro interno, respectivamente, sendo equipado de tubo de alimentação, manômetro, válvula de biogás. Além disso, com o objetivo de reduzir a entrada de ar durante a alimentação do biorreator, foi inserido um adaptador com flange, acoplado a um tubo de  $0,04\text{m}$  de diâmetro e altura de  $0,70\text{m}$ , por onde os RSO foram adicionados. Na lateral do tubo, foi inserida uma válvula de esfera para coleta das amostras, e na parte frontal uma placa graduada de acrílico transparente, para avaliar o nível de amostra presente no biorreator.

**Figura 1** - Desenho esquemático do biorreator de bancada



Fonte: Autores (2022)

## 2.2 Preenchimento do biorreator

Os RSO utilizados para preencher o biorreator foram coletados no refeitório da instituição de ensino. Esses resíduos eram constituídos de restos de alimentos, frutas e verduras que foram separados e acondicionados em plásticos com capacidade de 0,06 m<sup>3</sup>, durante um período de cinco dias. Tal período foi definido de modo a obter uma amostra de RSO que representasse o cardápio semanal da instituição.

Após coletados, os RSO passaram por um processo de segregação para posterior trituração, em triturador de resíduo orgânico modelo TR 200, e preenchimento do biorreator. Antes do preenchimento, retirou-se aproximadamente, 25 kg da massa de RSO triturados e adicionou-se 0,014 m<sup>3</sup> de água destilada, para estabelecer condições de umidade iniciais.

Em seguida, a amostra foi submetida à adição de 3,750 kg de esterco bovino (inóculo), o que corresponde a 15% da massa total de resíduos, considerada ideal para o melhor desempenho de biorreatores conforme Lopes *et al.* (2003). Além disso, foi adicionado 1,282 kg de Bicarbonato de Sódio (NaHCO<sub>3</sub>) que contribuiu para o tamponamento do meio, favorecendo um ambiente alcalino. Após o preparo inicial da amostra de RSO, já com a adição do inóculo e bicarbonato, foram retirados 0,15 m<sup>3</sup> dessa amostra para o preenchimento do biorreator e posteriormente, deu-se início a etapa de monitoramento.

## 2.3 Monitoramento dos resíduos sólidos orgânicos presentes no biorreator

O monitoramento consistiu na coleta quinzenal de amostras de resíduos orgânicos, durante o período de 355 dias. Foram analisadas 8 amostras, denominadas de A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7 e A8. Para coleta, inicialmente promovia-se a homogeneização manual dos resíduos e, em seguida, coletava-se aproximadamente 0,0005 m<sup>3</sup> da amostra. Vale salientar que, a amostra coletada apresentava consistência pastosa, e, em função disso, foi coletada em termos de volume. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Geotecnia Ambiental (LGA/UFCG).

Os indicadores monitorados foram: pH, conforme APHA (2017), concentrações de metais nas amostras solubilizadas dos resíduos coletados no biorreator, seguindo a NBR 10.006/2004. Após a realização dos testes de solubilização, as amostras passaram por leitura em espectrômetro de Absorção Atômica modelo AAnalyst 200, da marca PerkinElmer. Os elementos analisados para o extrato dos RSO solubilizado foram: Alumínio (Al), Chumbo (Pb), Ferro (Fe), Manganês (Mn)

e Zinco (Zn). Já os ensaios de fitotoxicidade foram realizados conforme MELO (2003), adaptado de Tiquia, Tan e Hodgkis (1996).

### 2.3.1 Testes de fitotoxicidade

Para a condução dos ensaios de fitotoxicidade, foram utilizadas como bioindicadores sementes de tomate (*Solanum lycopersicum*) e de repolho (*Brassica oleraceae*), conforme recomendada pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA, 1996) e pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2003). As sementes utilizadas foram da marca ISLA, sem tratamento químico contra pragas. Essas sementes foram adquiridas em casa de insumos agrícolas do comércio local.

Em placas de *Petri* (9,5 cm de diâmetro) contendo uma camada dupla de papel filtro qualitativo (porosidade 110 mm) foram distribuídas, com o auxílio de uma pinça, 20 sementes de tomate, em triplicata. Nessas placas, adicionou-se 8 mL do extrato do resíduo diluído, sendo utilizado a diluição em série da ordem  $10^{-3}$ , e para o controle negativo foi usado água destilada. Em seguida, as placas foram fechadas e incubadas em estufa do tipo B.O.D a temperatura de  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , em ausência de luz, por 120 horas (5 dias). Ao final do período de incubação, quantificaram-se os índices de Germinação Relativa das Sementes (GRS) e o Crescimento Relativo da Raiz (CRR) por meio das Equações (1) e (2), respectivamente.

#### a) Germinação Relativa da Semente (GRS%)

$$\text{GRS} = \frac{\text{NSGA}}{\text{NSGC}} * 100 \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que:

GRS - Germinação Relativa da Semente;

NSGA - Número de Sementes Germinadas na Amostra;

NSGC - Número de Sementes Germinadas no Controle negativo.

#### b) Crescimento Relativo da Raiz (CRR%)

$$\text{GRS} = \frac{\text{MCAR}}{\text{MCRC} * \sqrt{\text{MCRC}}} * 100 \quad \text{Eq. (2)}$$

Em que:

CRR - Crescimento Relativo da Raiz;

MCAR - Média do Comprimento da Raiz na amostra;

MCRC - Média do Comprimento da Raiz no controle negativo.

## 2.5 Análise Estatística

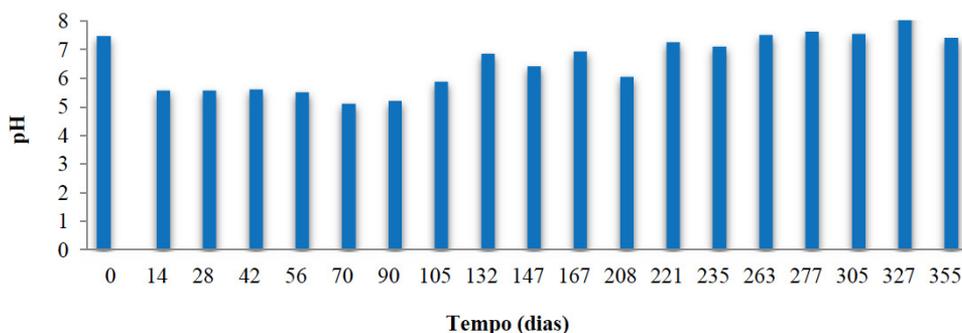
Para a análise estatística, os parâmetros foram avaliados por meio da estatística descritiva, utilizando o *software Microsoft Excel 2007*, e programa *STATISTICA*. Foi utilizado o estudo da matriz de correlação dos resultados encontrados para os valores de pH, metais e os testes de fitotoxicidade. O objetivo foi verificar o nível de relação entre as variáveis, apresentando as correlações positivas ou negativas. De acordo com Dancey e Reidy (2006), as correlações que variaram entre 0,10 e 0,30, podem ser consideradas fracas; entre 0,40 e 0,60 são consideradas moderadas; e valores entre 0,70 e 1,0 podem ser classificados como fortes.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Na Figura 2 apresenta-se o comportamento dos valores de pH ao longo do tempo de monitoramento do biorreator.

**Figura 2** - Comportamento dos valores de pH nos RSO



Conforme a Figura 2, observa-se que o pH dos resíduos apresentou variação de  $6,8 \pm 0,9$  ao longo do tempo de monitoramento. No período inicial ( $t=0$ ), os RSO deveriam apresentar características ácidas em virtude da presença das bactérias produtoras de ácidos na massa inicial dos resíduos. No entanto, em função da adição de bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) no meio, realizada com o intuito de acelerar o desenvolvimento das fases de degradação dos resíduos, verificou-se que no  $t=0$  do monitoramento, o pH dos RSO foi levemente alcalino, em torno de 7,5.

Verifica-se que após quinze dias de monitoramento ( $14 \leq t \leq 105$  dias), o pH dos resíduos diminuiu, apresentando valores próximos de 5,5. Isso ocorreu devido a presença de bactérias produtoras de ácidos as quais contribuíram para a redução do pH do meio. Segundo Ferreira *et al.* (2017), esse fato pode ser justificado devido à degradação acontecer de forma rápida, produzindo assim ácidos orgânicos no início do processo, indicando a baixa capacidade de tamponamento dos materiais do processo.

De acordo com Kiehl (1998), no período inicial do processo de decomposição biológica da matéria orgânica, o pH encontra-se normalmente mais baixo já que, nesse período, desenvolvem-se traços de diversos ácidos minerais, a exemplo, do ácido acético. Conforme Melo (2003), na fase inicial de degradação os resíduos sólidos apresentam características ácidas, ocasionadas pela queda brusca dos valores do pH em função da presença dos ácidos orgânicos e das concentrações de CO<sub>2</sub> presentes no meio. Com o avanço do processo biológico dos resíduos, os valores de pH elevam-se em função do consumo desses ácidos voláteis pelas Arqueas.

Nessa fase, os microrganismos acidófilos produzem quantidade significativa de ácidos orgânicos (AGV) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que contribuem para a redução do pH do meio e, conseqüentemente, para uma maior solubilização de íons metálicos (NAVEEN *et al.*, 2017; GOMES *et al.*, 2018; XIE *et al.*, 2015).

O pH, de acordo com Tchobanoglous *et al.* (1993), representa um dos parâmetros mais importantes para o entendimento das reações ocorridas na massa de resíduos sólidos e em lixiviado de aterros sanitários, por exemplo. Conforme Silva *et al.* (2015), este indicador é importante para entendimento das variáveis tóxicas, tendo em vista que pequenas variações deste podem causar mudanças significativas no potencial tóxico dos metais e do nitrogênio amoniacal total. Sendo assim, quanto mais ácido for o meio, mais solúveis se tornam os metais, portanto, apresentando maior toxicidade para o meio ambiente e à saúde pública.

### 3.2 Metais

Na Tabela 1 estão descritas as concentrações de metais para os testes de solubilização dos RSO e os Limites Máximos Permitidos (LMP), conforme o Anexo G da NBR 10.004 (ABNT, 2004).

Tabela 1 - Concentrações de metais e LMP para solubilização ( $\text{mg.L}^{-1}$ )

Elementos	Amostras								LMP ( $\text{mg.L}^{-1}$ )
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	
Alumínio	0,56	1,27	0,81	0,26	1,54	1,5	1,78	0,53	0,2
Chumbo	0,3	0,4	0,3	0,25	0,2	0,23	0,23	0,24	0,01
Ferro	8,38	9,89	10,3	2	10,6	25,3	22,5	12,1	0,3
Manganês	2,24	1,82	0,99	1,7	0,22	1,23	0,71	1,33	0,1
Zinco	1,9	5,64	4,51	3,85	1,29	2,34	1,9	1,94	5

\*Legenda: Limite Máximo Permitido – Anexo G NBR 10.004 (ABNT, 2004)

Fonte: Autores (2022)

Em análise da Tabela 1, nota-se que as concentrações do Al, Pb, Fe e Mn em todas as amostras analisadas e o Zn na Amostra 2, do extrato solubilizado dos resíduos sólidos orgânicos (RSO), ultrapassaram os limites máximos permitidos, conforme o Anexo G da NBR 10.004 (ABNT, 2004a). Tal fato, possivelmente, estar relacionado à ineficiência no processo de segregação dos resíduos sólidos, permitindo que as partículas que contenham esses componentes sejam aderidas à matéria orgânica.

De acordo Silva *et al.* (2015), embora os RSO sejam considerados como não perigosos, a falta de segregação no local de origem pode alterar suas características, fazendo com que resíduos considerados com baixo potencial de contaminação apresentem características tóxicas. Além disso, a toxicidade pode estar associada às condições de indicadores físico-químicos, como temperatura e pH, por exemplo.

Dessa forma, o caráter ácido da mistura ajuda a solubilização de materiais inorgânicos, principalmente metais. Como observado na Figura 2, o pH dos resíduos sólidos apresentou características ácidas no início do monitoramento do biorreator o que pode ter influenciado na maior disponibilidade dos metais avaliados.

Além disso, outro fator que pode estar relacionado a concentrações de metais nos RSO é o tipo de utensílio culinário utilizado na cocção dos alimentos, no caso da Instituição em estudo, o tipo de material mais utilizado é o alumínio. Este apresenta potencial de liberar substâncias as quais podem ficar aderidas as partículas dos alimentos. Segundo Quintaes (2000), os utensílios para alimentos fornecem uma importante contribuição na quantidade do metal consumido pelo homem. Da mesma forma, o tipo de tubulação do sistema de distribuição

da água de abastecimento é um fator cooperador para as concentrações de metais na água, os quais podem ter duas origens: o próprio sistema de distribuição, capaz de fornecer o metal, principalmente originário da corrosão química ou microbiológica; e o processo de tratamento de água que pode liberar os íons de alumínio e de ferro no momento do tratamento.

O Al é o terceiro elemento mais abundante da crosta terrestre, assim é um elemento importante a ser conhecido, levando-se em consideração sua capacidade de contaminação. Este um metal não essencial ao qual os humanos estão frequentemente expostos. Durante muitos anos considerou-se que o alumínio não apresentava efeitos nocivos aos seres vivos, entretanto, há uma crescente série de relatos científicos demonstrando que o Al possui efeitos toxicológicos observados nas diferentes formas de vida. Algumas doenças neuro degenerativas, especialmente o *Alzheimer* e doença de *Parkinson* têm sido associadas ao acúmulo desse elemento no organismo do homem (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2013).

De acordo com Matias *et al.* (2018), a maior parte da ingestão de Al é proveniente de alimentos, ocorrendo de diferentes formas: alimentos contaminados por Al, água e alimentos industrializados que têm esse elemento como conservante, sendo a água a forma mais biodisponível a ser absorvida pelo intestino. Esse metal é extremamente pró-inflamatório, patológico, genotóxico e prejudicial ao funcionamento homeostático das células cerebrais, especialmente no nível das atividades citoplasmáticas e genéticas normais usando fosfato.

Em relação à classificação quanto a toxicidade dos RSO, verifica-se que os limites máximos permissíveis da concentração do alumínio para uma substância submetida ao processo de solubilização, é de 0,2 mg.L<sup>-1</sup>. Assim, foi evidenciado, conforme apresentado na Tabela 1, que os teores de Al encontraram-se acima dos valores máximos permitidos pela NBR 10.004/2004 (Anexo G), classificando assim estes resíduos como resíduo classe IIA.

Em relação às concentrações do Pb, para todos os meses monitorados, foram superiores aos limites máximos permissíveis estabelecidos pela NBR 10.004/2004 (Anexo G), para testes de solubilização. De acordo com Younis *et al.* (2015), o chumbo é uma neurotoxina que causa déficits comportamentais nos peixes, diminui as taxas de sobrevivência e crescimento, causa dificuldades de aprendizagem e afeta o metabolismo.

O Fe também apresenta características tóxicas quando está em elevadas concentrações na massa de resíduos. Verifica-se que esses valores apresentaram comportamento crescente nas amostras analisadas. Estudos desenvolvidos por Silva *et al.* (2015) em RSU da cidade Campina Grande-PB, também obtiveram

elevados teores de Fe, os quais foram associados ao fato de que esse metal é largamente utilizado na fabricação de alimentos, e ainda devido à presença desse metal em vegetais assim como adubação agrícola. De acordo com Marchi *et al.* (2009), os insumos agrícolas ou subprodutos usados com finalidade corretiva do solo ou nutricional para as plantas podem ser, também, fonte de contaminação.

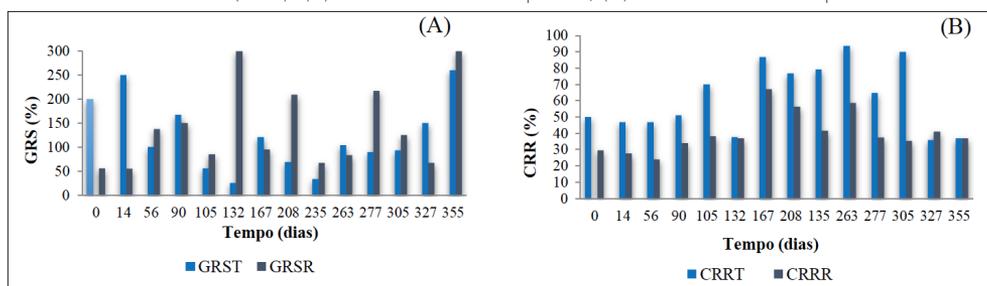
Em relação ao Mn, verifica-se que às concentrações desse elemento foram superiores ao LMP da NBR 10.004/2004 (Anexo G), cujo limite para padrão de lançamento é de  $0,1\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Tanto o zinco quanto manganês, apesar de serem essenciais aos seres vivos em baixas concentrações, são particularmente tóxicos quando encontram-se em teores elevados. Conforme ilustrado na Tabela 1, na A2 os teores do Zn apresentaram-se superiores aos limites da norma.

Em se tratando da toxicidade dos metais sabe-se que, em pequenas concentrações, esses são essenciais ao ser humano e às plantas, no entanto, quando em grandes quantidades, podem acarretar problemas ao meio ambiente e à saúde da população. Os metais devem ser vistos com preocupação, especialmente por serem elementos não degradáveis e que pode atingindo toda a cadeia trófica (MANAHAM, 1992).

### 3.3 Fitotoxicidade

Na Figura 3 ilustra-se os resultados dos testes de fitotoxicidade pela análise da Germinação Relativa das Sementes (GRS) e do Crescimento Relativo das Raízes (CRR).

**Figura 3** - Germinação Relativa das Sementes (GRS) e Crescimento Relativo das Sementes (CRR): (A) GRS - tomate e repolho; (B) CRR - tomate e repolho



Fonte: Autores (2022)

Na Figura 3 (A) verifica-se que, de maneira geral, as porcentagens da GRS são maiores que o CRR (Figura 3 B), apresentando valor médio de germinações

de  $131,1 \pm 93,6\%$  e  $139,0 \pm 85,7\%$  para as sementes de tomate e repolho, respectivamente. Em relação ao CRR, verificou-se percentual médio de  $61,9 \pm 20,8\%$  nas sementes de tomate e  $40,4 \pm 12,3\%$  nas sementes de repolho. Importante salientar que a germinação e o crescimento das sementes são considerados relativos, uma vez que os cálculos são feitos em relação aos dados obtidos na amostra em branco (controle).

Nota-se uma variação na germinação ao longo do tempo de monitoramento, para ambas as sementes. Isso ocorre porque, de acordo com Baskin e Baskin (1988) e Ghera *et al.* (1992), as sementes respondem a combinações específicas de luz, substrato, temperatura, umidade e concentrações de gases que são mais favoráveis para o estabelecimento da plântula.

Os resultados obtidos, neste trabalho, foram semelhantes aos observados por Melo *et al.* (2005), Silva (2015), Silva *et al.* (2015) e Silva (2022) em estudos realizados em RSU, em que os autores concluíram que os índices de germinação são maiores que os índices de crescimento. Tal fato ocorre porque, nesta fase do processo, as sementes utilizam reservas próprias para nutrir-se e só após o esgotamento dessas reservas elas buscam nutrientes de fontes externas.

Em relação ao CRR (Figura 3 B), verifica-se que as sementes de tomate cresceram mais em relação às sementes de repolho. Esse resultado também foi observado em estudos desenvolvidos por Garcez (2009). Isso ocorreu devido as sementes de tomate apresentarem maiores reservas internas de alimentos demandando mais tempo para se nutrir dos compostos presentes nos resíduos. Um fator importante que contribuiu para o crescimento das sementes foi o tipo de substrato utilizado. Sendo este constituído dos resíduos sólidos orgânicos e incorporados a eles, o esterco animal que é rico em nutrientes.

Analisando a influência da fitotoxicidade com as concentrações dos metais observou-se que alguns elementos como: Co, Zn, Fe e o Mn, são considerados essenciais a fisiologia vegetal, uma vez que, a presença desses na amostra de RSO contribuiu para o crescimento das raízes. De acordo com Silva *et al.* (2015), pode-se dizer que esses metais são considerados essenciais ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas por estarem em concentrações aceitáveis para o seu desenvolvimento.

Em relação aos elementos considerados não essenciais às plantas, a exemplo do Pb, mesmo em baixas concentrações, nas amostras analisadas, notou-se que sua presença interferiu no crescimento das sementes de tomate e de repolho.

De acordo com Schroeder (1996), alguns destes elementos atendem aos critérios de essencialidade às plantas, a exemplo do Mg, Ca, Mn, Fe, Co e Zn são elementos essenciais à fisiologia humana. No entanto, se esses resíduos, mesmo que sendo constituído somente de composição orgânica, forem dispostos no meio ambiente de forma inadequada poderão acarretar problemas ambientais, sociais e de saúde pública, uma vez que, possuem potencial de contaminação do solo, água e ar.

### 3.4 Análise das Correlações Estatísticas

Na Tabela 3 apresenta-se a Matriz de Correlação entre o pH, metais e os ensaios de fitotoxicidade.

**Tabela 1** – Matriz de Correlações dos parâmetros estatísticos

Tempo	pH	GRST	GRSR	CRRT	CRRR	Al	Pb	Fe	Mn	Zn	
Tempo	1										
pH	0,751	1									
GRST	-0,23	-0,132	1								
GRSR	0,334	0,02	-0,131	1							
CRRT	0,229	0,096	-0,432	-0,339	1						
CRRR	0,389	0,257	-0,328	-0,036	0,637	1					
Al	0,334	-0,118	-0,258	0,351	0,236	-0,186	1				
Pb	-0,68	-0,8	0,305	0,178	-0,411	-0,513	-0,175	1			
Fe	0,537	0,311	-0,277	0,116	0,286	-0,026	0,754	-0,321	1		
Mn	-0,628	-0,262	0,818	-0,645	-0,03	-0,097	-0,628	0,626	-0,391	1	
Zn	-0,431	-0,838	-0,187	0,43	-0,121	-0,005	-0,215	0,814	-0,366	0,386	1

Fonte: Autores (2019)

De maneira geral, observa-se que existe variação no grau de correção entre os indicadores analisados. Verificou-se correlação fraca entre o Al e os índices de germinação e crescimento das sementes de tomate e repolho. Em se tratando dos elementos Pb e Mn, estes apresentaram correção negativa moderada com os índices de germinação e de crescimento das sementes testadas.

Em relação as correlações entre as variáveis Tempo e pH com as concentrações do Pb, verificou-se a existência de correlação forte positiva entre o pH e o tempo e, correlação negativa moderada e forte entre a variável Tempo e o pH, respectivamente. Evidencia-se que essas variáveis influenciaram na

disponibilidade do metal na massa de RSO no biorreator. Em se tratando da toxicidade do Pb, verificou-se que esse elemento apresentou correlação positiva fraca nos testes de GRST e GRSR e correlação negativa moderada no CRRT e o CRR. Sendo assim, o aumento das concentrações do Pb potencializa a inibição do crescimento das raízes das sementes de tomate e de repolho. Notou-se que as sementes de repolho são mais sensíveis a exposição desse elemento quando comparada a semente de tomate.

Em se tratando do elemento Mn, verificou-se a correlação forte positiva na GRST, indicando que essas concentrações favoreceram a germinação da semente do tomate. No entanto, observou-se comportamento inverso, correlação negativa moderada, na germinação da semente de repolho.

Em se tratando do Zn, constatou-se que houve correlação fraca negativa na GRST, CRRT e CRRR e correção moderada positiva com GRSR. Não foram observadas correlações entre o Fe e Mg na germinação e no crescimento das raízes em ambas as sementes avaliadas. Já o elemento Mn, apresentou correlação positiva muito significativa na GRST. A disponibilidade do Mn favoreceu a germinação das sementes de tomate. O Mn é um micronutriente indispensável ao desenvolvimento das plantas, pois constitui-se em um ativador de enzimas (PINTO, 2003).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Os elementos Al, Pb, Fe e Mn apresentaram valores acima do estabelecido pela NBR 10.004/04 para os testes de solubilização.
- Os metais presentes na massa de resíduos sólidos orgânicos, a exceção do Al, se mostraram tóxicos ao processo de germinação e crescimento das sementes de tomate e de repolho, uma vez que, foi possível observar a existência de correlações negativas moderadas entre os elementos Ca, Pb e Mn.
- Dentre os metais avaliados, apenas o Mn apresentou correlação forte positiva na GRST concluindo que esse elemento foi considerado essencial a germinação da semente do tomate.
- Os resíduos orgânicos da instituição foram classificados como resíduos Classe IIA, conforme a classificação da norma brasileira, no entanto, os metais, à exceção do Al, se mostraram tóxicos à germinação e ao crescimento das sementes de tomate e de repolho.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. **NBR 10.004-2004**; Resíduos Sólidos: Classificação. Rio de Janeiro, 2004.77p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. **NBR 10.006-2004**; Resíduos Sólidos- procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.7p.

APHA-AWWA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. USA. 2012.

BASKIN, C.C.; BASKIN, J.M. Germination ecophysiology of herbaceous plant species in a temperate region. **American Journal of Botany**, v. 75, n.2, 1988, p. 286-305.

BUDI, S. et al. Toxicity identification evaluation of landfill leachate using fish, prawn and seed plant. **Waste Management**, v. 55, p. 231-237, 2016.

COLOMBO, A.; MÓDENES, A.N.; TRIGUEROS, D.E.G.; MEDEIROS, B.L.; MARIN, P.; MONTE BLANCO, S.P.D.; HINTERHOLZ, C.L. Toxicity evaluation of the landfill leachate after treatment with photo-Fenton, biological and photo-Fenton followed by biological processes. **Environmental Science and Health**, v.54, n.4, p.269-276, 2019.

DANCEY, C; REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre, Artmed, 2006.

FERREIRA JUNIOR, K. R.; DINIZ, A. O. G.; GOMES, N. A.; SILVA, A. S.; MONTEIRO, V. E. D. Análise do potencial fitotóxico dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande-PB. In: Semana Oficial da Engenharia e Agronomia e II Congresso Nacional Técnico Científico, 72, **Anais...** Fortaleza - CE. Sustentabilidade, água, energia e inovação tecnológica, 2015, v. 1, p.1-4.

FERREIRA, N. A.L.; AIRES, K.O.; ALMEIDA, M.V.A.; MELO, M.C.; MONTEIRO, V. E.D. Avaliação das concentrações de metano gerado em um biorreator de bancada com base em parâmetros físico-químicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.22, n.3, 2017, p. 473-479.

FRANÇA, F.O.M. **Avaliação de Atividade Estrogênica e Toxicidade de Lixiviados de Resíduos Sólidos Urbanos.** 2016. 115p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ.

GARCEZ, L. R. **Estudo dos componentes tóxicos em um biorreator de resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande** - PB. 2009. 114 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, 2009.

GOMES, N.A. ALMEIDA, M.V.A.; MELO, M.C.; MONTEIRO, V.E.D.; OLIVEIRA, R. Influência de indicadores físico-químicos na composição de constituintes tóxicos em lixiviado de aterro sanitário. **Revista Matéria**, v. 23, n.3, 2018.

GONÇALVES, A. T. et al. Urban solid waste challenges in the BRICS countries: a systematic literature review. **Ambiente & Água**, v. 13 n. 2, p.21-57, 2018.

GHERSA, C.M.; BENECH-ARNOLD, R.L.; MARTINEZ-GHERSA, M. A. The role of fluctuating temperatures in germination and establishment of Sorghum Hapelense: Regulation of germination at increasing depths. **Functional Ecology**. v. 6, 1992, p. 460-468.

GRYCZAK, M.; KILIPPER, J. T.; COSTA, P. D.; MACCARI, A. Sementes de lactuca sativa como bioindicador de toxicidade em resíduos de construção civil. **Tecnologia e Ambiente**, v. 24, p, 233-242, 2018.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** (2010) Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008. Rio de Janeiro.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: Maturação e qualidade do composto.** São Paulo: Piracicaba, 1998.

LOPES, W.S.; LEITE, V.D.; SOUZA, J.T.; PRASAD, S.; ATHAYDE JUNIOR, G.B. **Fatores intervenientes no processo de tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 22, 2003. Joinville, SC.

LU, M. C.; CHIOU, M. R.; CHEN, M.Y.; FAN, H. J. Occurrence and treatment efficiency of pharmaceuticals in landfill leachates. **Waste Management**, v. 55, p. 257-264, 2016.

MARCHI, G.; GUILHERME, L. R.G.; SILVA, C.A.: GONÇALVES, V. C. **Elementos-traço e sua relação com qualidade e inocuidade de fertilizantes, corretivos agrícolas e resíduos orgânicos no Brasil**. Documento 252. EMBRAPA, Planaltina, DF, 2009.

MANAHAM, S.E. **Toxicological Chemistry**. 2<sup>a</sup>. ed. New York, Lewis Publisher, p 249-251, 1992.

MATIAS CERVANTES, Carlos; LÓPEZ LEÓN, Servando. El aluminio empleado en el tratamiento de aguas residuales y su posible relación con enfermedad de Alzheimer. **Journal of Negative and No Positive Results: JONNPR**, v. 3, n. 2, p. 139-143, 2018.

MELO, M.C. **Uma análise de recalques associada à biodegradação no aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca**. 2003. f. Dissertação de Mestrado, UFPE.

NAVEEN, B. P.; MAHAPATRA, D. M.; SITHARAM, T. G.; SIVAPULLAIAH, P. V.; RAMACHANDRA, T. V. Physico-chemical and biological characterization of urban municipal landfill leachate. **Environmental Pollution**, v. 220, p. 1-12, 2017.

OECD. Organisation for Economic Cooperation and Development. Terrestrial plant test: 208 -Seedling emergence and seedling growth test, OECD: 2003.

OKUMU, J.; NYENJE, R. Municipal solid waste management under decentralisation in Uganda. **Habitat International**, v. 35, n. 4, 2011, p. 537-543.

PINTO, P. **NUTRIÇÃO NAS PLANTAS**. N.º. 20, 10ºA. 2003. Disponível em:< [http://pedropinto.com/files/secondary/tlb/tlbII\\_trabalho1.pdf](http://pedropinto.com/files/secondary/tlb/tlbII_trabalho1.pdf)> Acesso em: 31 jan. 2015.

PMGIRS, **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Versão Preliminar para Audiência Pública. Campina Grande-PB, 2014. Disponível em: <<http://relicipb.org/assets/CGPMRSDiagnosticoFinalPreliminar20140319.pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2014.

QUINTAES, K. D. Utensílios para Alimentos e Implicações Nutricionais. **Revista de Nutrição, Campinas**, v.13, n. 3, 2000, p.151-156.

SILVA, E. M. **Análise do potencial tóxico dos resíduos sólidos orgânicos de uma escola pública em Campina Grande - PB.** 2015. 81 f. Dissertação (Dissertação de mestrado), Centro de Tecnologias e recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB.

SILVA, A. S.; RIBEIRO, L. S; PAIVA, W.; MELO, M. C.; MONTEIRO, V. E. D. Avaliação do potencial tóxico dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande - PB. **Revista Matéria**, v.20, n.4, 2015, p. 840-851.

SILVA JÚNIOR, A. F.; AGUIAR, M.S.S.; CARVALHO JÚNIOR, O.S.; SANTANA, L.N.; FRANCO, E.C.S.; LIMA, R.R.; SIQUEIRA, N. V. M.; FEIO, R.A.; FARO, L.L.; GOMES, L. W. Hippocampal neural loss, decreased GFAP immunoreactivity and cognitive impairment following experimental intoxication of rats aluminium citrate. **Brain reserarch**, v. 1491, p.23-33, 2013.

SILVA, E. M. **Ecotoxicidade de resíduos sólidos urbanos e de lixiviado gerado em aterro sanitário.** 2022. 185p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB.

SCHROEDER, H.A. Essential Trace Metals in Man: Copper. **Journal of Chronic Diseases**, v. 19, 1996, p. 1107-1034.

TÍQUIA, S.M.; N.F.Y.; HODGKISS, I.J. Effects of Composting on Phytotoxicity of Spent Pig-manure Sawdust Litter. Hong Kong. **Environmental Pollution**, v.93, n.3, 1996, p.249-256.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues, McGrall-Hill, Inc., New York, p.949, 1993.

USEPA. Ecological Effects Test Guidelines: 850.4200- Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test; United States Environmental Protection Agency: Washington, D.C, 1996.

WELTER, J.B.; SOARES, E.V.; ROTTA, E. H.; SEIBERT, D. Bioassays and Zahn-Wellens test assessment on landfill leachate treated by photo-Fenton process. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v.6, n.1, p.1390-1395, 2018.

WILKE, B. M.; RIEPERT, F.; KOCH, C.; KÜHNE, T. Ecotoxicological characterization of hazardous wastes. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.70, 2008, p.283-293.

YOUNIS, A. M.; AMIN, H.F.; ALKALADI, A.; MOSLEH, Y.Y. I. Bioaccumulation of Heavy Metals in Fish, Squids and Crustaceans from the Red Sea, Jeddah Coast, Saudi Arabia. **Open Journal of Marine Science**. v. 5, 2015, p. 369-378.

XIE, S.; MA, Y.; STRONG, P.J.; CLARKE, W.P. Fluctuation of dissolved heavy metal concentrations in the leachate from anaerobic digestion of municipal solid waste in commercial scale landfill bioreactors: The effect of pH and associated mechanisms. **Journal of hazardous materials**, v. 299, p. 577-583, 2015.