

**FÁBIO STEINER | ORG.**

**PLANT ABIOTIC STRESS TOLERANCE**



Pantanal Editora

2020

Fábio Steiner  
(Organizador)

# PLANT ABIOTIC STRESS TOLERANCE



Pantanal Editora

2020

Copyright© Pantanal Editora  
Copyright do Texto© 2020 Os Autores  
Copyright da Edição© 2020 Pantanal Editora  
Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo  
Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera  
Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora  
Edição de Arte: A editora e Canva.com  
Revisão: Os autor(es), organizador(es) e a editora

#### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – OAB/PB
- Profa. Msc. Adriana Flávia Neu – Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
- Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – IF SUDESTE MG
- Profa. Msc. Aris Verdecia Peña – Facultad de Medicina (Cuba)
- Profa. Arisleidis Chapman Verdecia – ISCM (Cuba)
- Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo - UEA
- Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu – UNEMAT
- Prof. Dr. Carlos Nick – UFV
- Prof. Dr. Claudio Silveira Maia – AJES
- Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – UFGD
- Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva – UEMS
- Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos – IFPA
- Prof. Msc. David Chacon Alvarez – UNICENTRO
- Prof. Dr. Denis Silva Nogueira – IFMT
- Profa. Dra. Denise Silva Nogueira – UFMG
- Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão – URCA
- Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves – ISEPAM-FAETEC
- Prof. Dr. Fábio Steiner – UEMS
- Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez (Colômbia)
- Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles – UNAM (Peru)
- Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira – IFRR
- Prof. Msc. Javier Revilla Armesto – UCG (México)
- Prof. Msc. João Camilo Sevilla – Mun. Rio de Janeiro
- Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales – UNMSM (Peru)
- Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski – UFMT
- Prof. Msc. Lucas R. Oliveira – Mun. de Chap. do Sul
- Prof. Dr. Leandris ArgenteL-Martínez – Tec-NM (México)
- Profa. Msc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan – Consultório em Santa Maria
- Prof. Msc. Marcos Pisarski Júnior – UEG
- Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla – UNAM (Peru)
- Profa. Msc. Mary Jose Almeida Pereira – SEDUC/PA
- Profa. Msc. Nila Luciana Vilhena Madureira – IFPA
- Profa. Msc. Queila Pahim da Silva – IFB
- Prof. Dr. Rafael Chapman Auty – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke – UFMS
- Prof. Dr. Raphael Reis da Silva – UFPI
- Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo – UEMA
- Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca – UFPI

- Prof. Msc. Wesclen Vilar Nogueira – FURG
- Profa. Dra. Yilan Fung Boix – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – UFT

#### Conselho Técnico Científico

- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Esp. Tayronne de Almeida Rodrigues
- Esp. Camila Alves Pereira
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

#### Ficha Catalográfica

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b> <b>(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
P713	Plant Abiotic Stress Tolerance [recurso eletrônico] / Organizador Fábio Steiner. – Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2020. 149p.
	Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-88319-02-4 DOI <a href="https://doi.org/10.46420/9786588319024">https://doi.org/10.46420/9786588319024</a>
	1. Ecologia e Recursos Naturais (Ecofisiologia vegetal). 2. Meio ambiente – Conservação. 3. Sustentabilidade. I. Steiner, Fábio.
	CDD 581.5
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

O conteúdo dos livros e capítulos, seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do(s) autor (es). O download da obra é permitido e o compartilhamento desde que sejam citadas as referências dos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

#### **Pantanal Editora**

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.  
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.  
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).  
<https://www.editorapantanal.com.br>  
[contato@editorapantanal.com.br](mailto:contato@editorapantanal.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A obra “Plant Abiotic Stress Tolerance”, uma publicação da Pantanal Editora, apresenta, em seus 9 capítulos, uma ampla gama de assuntos sobre os recentes avanços e conhecimentos científicos nas áreas de ecofisiologia da produção vegetal e conservação dos recursos naturais e meio ambiente. Os temas abordados mostram algumas das ferramentas atuais que permitem o incremento da produção de alimentos, a melhoria da qualidade de vida da população, e a preservação e a sustentabilidade dos recursos disponíveis no planeta. A obra, vem a materializar o anseio da Editora Pantanal na divulgação de resultados e conhecimentos, que contribuem de modo direto no desenvolvimento humano.

Nas últimas décadas, a produção de alimentos tem sido frequentemente limitada por inúmeros fatores de estresse abióticos, dentre os quais, podemos citar a baixa disponibilidade de água (deficiência hídrica), temperaturas extremas (frio, geadas, calor e fogo), salinidade, deficiência de nutrientes minerais e toxicidade. Esses fatores são responsáveis por consideráveis perdas econômicas tanto para os pequenos agricultores quanto para os produtores de commodities como a cultura da soja, entre outras. Além disso, estes danos podem ser potencialmente agravados pelos efeitos das recentes mudanças climáticas globais, sendo, portanto, a sua mitigação um grande desafio para a comunidade científica. O foco principal das pesquisas abordadas neste e-book é compreender os mecanismos de defesa/tolerância dos estresses abióticos em plantas e apresentar tecnologias e práticas de manejo que possibilitem o aumento da tolerância das plantas a esses estresses abióticos.

Temas associados à identificação de cultivares de soja tolerantes à seca e o manejo da salinidade e da restrição hídrica nas culturas de soja, amendoim e pepino são abordados. A tolerância de plantas de pinhão-manso a toxicidade do alumínio (Al<sup>3+</sup>), a tolerância de quatro espécies hortícolas ao estresse térmico causado por altas temperaturas e a tolerância de mutantes de trigo ao estresse salino também é sugerido. Na área de recursos naturais é mostrado os efeitos fitotóxicos dos metais pesados nas plantas cultivadas e o estresse ambiental causado pelo fogo na região do Cerrado. Portanto, esses conhecimentos irão agregar muito aos seus leitores que procuram promover melhorias quantitativas e qualitativas na produção de alimentos e, ou melhorar a qualidade de vida da sociedade. Sempre em busca da sustentabilidade do planeta.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos nas áreas de ecofisiologia da produção vegetal e conservação dos recursos naturais e meio ambiente, os agradecimentos do Organizador e da Pantanal Editora.

Por fim, esperamos que este e-book possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias. Assim, garantir uma difusão de conhecimento fácil, rápido para a sociedade.

**Fábio Steiner**

## PRESENTATION

The eBook “Plant Abiotic Stress Tolerance”, a publication by Pantanal Editora, presents in its 9 chapters a wide range of questions about recent advances and scientific knowledge in the areas of ecophysiology of plant production and conservation of natural resources and the environment. The topics presented show some of the current tools that allow the increase in food production, the improvement of quality of life in people's and the preservation and sustainability of the resources available on the planet. This eBook materializes Editora Pantanal's desire to disseminate results and knowledge, which directly contribute to the development of society.

In the last decades, food production has often been limited by numerous abiotic stress factors, among which, we can mention the low availability of water (water deficit), extreme temperatures (cold, frosts, heat and fire), salinity, mineral nutrient deficiency and toxicity. These factors are responsible for considerable economic losses, both for small farmers and for producers of commodities such as soybean, among others. In addition, these damages can potentially be aggravated by the effects of recent global climate changes, and therefore, mitigating these damages is a major challenge for the scientific community. The main objective of the research presented in this e-book is to understand the defense or tolerance mechanisms of abiotic stresses in plants and to present technologies and management practices that enable greater tolerance of plants to these abiotic stresses.

Topics associated with the identification of drought-tolerant soybean cultivars and the management of salinity and water restriction in soybean, peanut and cucumber crops are presented. The tolerance of physic nut plants to aluminum toxicity ( $Al^{3+}$ ), the tolerance of four vegetable species to heat stress caused by high temperatures and the tolerance of wheat mutants to salt stress is also suggested. In the area of natural resources, the phytotoxic effects of heavy metals on plant growth and the environmental stress caused by fire in the Cerrado region are shown. Therefore, this knowledge can add much to its readers who seek to promote quantitative and qualitative improvements in food production and, or improve the quality of life in society. Always in search of the planet's sustainability.

To the authors of the chapters, for their dedication and efforts, that made this eBook possible, which exposes the recent scientific and technological advances in the areas of ecophysiology of plant production and conservation of natural resources and the environment, thanks to the Organizer and Pantanal Editora.

Finally, we hope that this e-book can collaborate and instigate more students and researchers in the constant search for new technologies. Thus, ensuring an easy and quick dissemination of knowledge to society.

**Fábio Steiner**

## PRESENTACIÓN

El trabajo “Plant Abiotic Stress Tolerance”, publicación de Pantanal Editora, presenta, en sus 9 capítulos, una amplia gama de temas sobre avances recientes y conocimientos científicos en las áreas de ecofisiología de la producción vegetal y conservación de los recursos naturales y el medio ambiente. Los temas tratados muestran algunas de las herramientas actuales que permiten el aumento de la producción de alimentos, la mejora de la calidad de vida de la población y la preservación y sostenibilidad de los recursos disponibles en el planeta. El trabajo materializa el afán de Editora Pantanal por difundir resultados y conocimientos, que contribuyan directamente al desarrollo humano.

En las últimas décadas, la producción de alimentos se ha visto a menudo limitada por numerosos factores de estrés abiótico, entre los que podemos mencionar la baja disponibilidad de agua (deficiencia de agua), temperaturas extremas (frío, heladas, calor y fuego), salinidad, deficiencia, nutrientes minerales y toxicidad. Estos factores son responsables de considerables pérdidas económicas tanto para los pequeños agricultores como para los productores de commodities como la soja, entre otros. Además, estos daños pueden verse potencialmente agravados por los efectos de los cambios climáticos globales recientes y, por lo tanto, mitigarlos es un desafío importante para la comunidad científica. El foco principal de las investigaciones cubiertas en este libro electrónico es comprender los mecanismos de defensa / tolerancia contra el estrés abiótico en las plantas y presentar tecnologías y prácticas de manejo que permitan aumentar la tolerancia de las plantas a estos estreses abióticos.

Se abordan temas relacionados con la identificación de cultivares de soja tolerantes a la sequía y el manejo de la salinidad y la restricción hídrica en cultivos de soja, maní y pepino. También se sugiere la tolerancia de las plantas de frutos secos a la toxicidad del aluminio ( $Al^{3+}$ ), la tolerancia de cuatro especies hortícolas al estrés por calor causado por las altas temperaturas y la tolerancia de los mutantes del trigo al estrés por sal. El área de recursos naturales muestra los efectos fitotóxicos de los metales pesados en las plantas cultivadas y el estrés ambiental causado por los incendios en la región del Cerrado. Por tanto, este conocimiento aportará mucho a sus lectores que buscan promover mejoras cuantitativas y cualitativas en la producción de alimentos y, o mejorar la calidad de vida en la sociedad siempre en busca de la sostenibilidad del planeta.

A los autores de los distintos capítulos, por su dedicación y esfuerzo irrestricto, que hizo posible este trabajo, que retrata los recientes avances científicos y tecnológicos en las áreas de ecofisiología de la producción vegetal y conservación de los recursos naturales y el medio ambiente, gracias a la Organización y a Pantanal Editora.

Finalmente, esperamos que este libro electrónico pueda colaborar e instigar a más estudiantes e investigadores en la búsqueda constante de nuevas tecnologías. De esta forma, se garantiza una fácil y rápida difusión del conocimiento a la sociedad.

**Fábio Steiner**

## SUMÁRIO

<b>Apresentação</b> .....	5
<b>Presentation</b> .....	6
<b>Presentación</b> .....	7
<b>Capítulo I</b> .....	8
Selection indices to identify drought-tolerant soybean cultivars .....	8
<b>Capítulo II</b> .....	27
Identificação de cultivares de soja para tolerância à salinidade .....	27
<b>Capítulo III</b> .....	41
Co-inoculation of peanut with <i>Bradyrhizobium</i> and <i>Azospirillum</i> promotes greater tolerance to drought .....	41
<b>Capítulo IV</b> .....	55
Tolerancia de hortalizas al estrés térmico causado por las altas temperaturas .....	55
<b>Capítulo V</b> .....	69
Aluminum toxicity inhibits growth and nutrient uptake in physic nut plants .....	69
<b>Capítulo VI</b> .....	81
Potassium nitrate priming to induce salt stress tolerance in cucumber seeds .....	81
<b>Capítulo VII</b> .....	97
Respostas Ecofisiológicas de Plantas ao Lodo de Esgoto .....	97
<b>Capítulo VIII</b> .....	120
Efeito do fogo em plantas nativas do Cerrado: estresse ambiental <i>versus</i> resiliência .....	120
<b>Capítulo IX</b> .....	140
Modelo de desarrollo y tolerancia a la salinidad de mutantes de trigo cultivadas en condiciones Salinas .....	140
<b>Índice Remissivo</b> .....	149

---

## Respostas Ecofisiológicas de Plantas ao Lodo de Esgoto

Recebido em: 29/07/2020

Aceito em: 31/07/2020

 10.46420/9786588319024cap7

Michele Aparecida dos Santos Nobrega<sup>1,2</sup> 

Montcharles da Silva Pontes<sup>1,3</sup> 

Jaqueline da Silva Santos<sup>1,3</sup> 

Shaline Séfara Lopes Fernandes<sup>1,2</sup> 

Yaovi Abel Kissi<sup>1</sup> 

Etenaldo Felipe Santiago<sup>1,2\*</sup> 

### INTRODUÇÃO

Inerente ao crescimento dos centros urbanos, o lodo de esgoto (LE) sanitário é derivado das atividades das empresas de tratamento de água e esgoto. Implica no resíduo gerado a partir do tratamento biológico de efluentes oriundos de esgotos domésticos, sendo acumulado temporariamente nas próprias instalações destas empresas, em diferentes tipos de tanques, até seu destino final, que, de modo geral, são os aterros sanitários.

Atualmente, um dos maiores passivos ambientais associados às populações humanas implica no resíduo proveniente do tratamento dos esgotos sanitários (Abreu et al., 2019). Este material é denominado, popularmente, como lodo de esgoto quando proveniente do tratamento final das estações de tratamento de esgoto (ETE), e biossólido quando apresenta características que permitem sua reutilização em meio agrícola (Andreoli et al., 2006; Nobrega et al., 2017).

O passivo ambiental representado pelo LE implica na necessidade crescente de alternativas para seu uso, como forma de redução do volume de descarte deste resíduo no meio ambiente. A descarga de LE compreende importante fonte de poluição ambiental (Li et al., 2018), além de constituir em custos para as empresas de saneamento quanto ao transporte e deposição de um volume crescente de resíduo sólido. Dados da produção anual média de LE em 16 países da União Europeia (UE), por exemplo, registraram valores em torno de 290 mil toneladas em 2017 (Tabela 1).

---

<sup>1</sup> Grupo de Estudos dos Recursos Vegetais – GERV.

<sup>2</sup> Dr(a) Docente Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS.

<sup>3</sup> Doutorando(a) do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais – PGRN.

\* Autor para correspondência: felipe@uems.br

**Tabela 1.** Produção anual de resíduos sólidos secos de lodo de esgoto (LE) em dezesseis países da União Europeia (UE), entre 2008-2017 (1.000 toneladas). Fonte: Dados extraídos de European Statistical System (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>).

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Alemanha</b>	2052.6	1949.9	1893.643	1946.286	1848.854	1808.648	1802.988	1803.087	1794.443	*1798.765
<b>Bósnia</b>	0.8	0.7	0.7	0.5	1.2	1.3	1.3	1.3	9.5	9.5
<b>Bulgária</b>	42.9	39.4	49.8	51.4	59.3	60.3	54.9	57.4	65.8	68.6
<b>Chipre</b>	7.5	9.2	7.083	6.815	6.533	6.123	6.16	6.695	7.408	*7.0515
<b>Eslováquia</b>	20.1	27.3	30.1	26.8	26.2	27.2	28.3	29.1	32.8	36.7
<b>Eslovênia</b>	57.82	58.58	54.76	58.72	58.71	57.43	56.88	56.24	53.05	54.52
<b>Estônia</b>	22.2	21.8	19	18.3	21.700	18.800	20.340	19.140	18.340	*18.740
<b>França</b>	1086.7	*1055.85	1025	1022	1043	909	1059	1238	1006	1174
<b>Hungria</b>	172.2	*149.3	170.34	168.33	160.6	170.47	163.12	172.01	215.08	264.71
<b>Irlanda</b>	103.3	106.8	90	85.7	72.429	64.546	53.543	58.387	56.018	58.773
<b>Letônia</b>	19.3	22.3	21.4	19.7	20.114	22.816	22.079	21.922	25.923	24.94
<b>Malta</b>	0.1	0.8	1.24	6.06	10.5	9.64	8.5	8.44	10.77	10.3
<b>Polônia</b>	567.3	563.3	526.7	519.2	533.3	540.3	556	568	568.329	584.454
<b>Rep. Tcheca</b>	220	207.2	196.3	217.9	263.3	260.1	238.59	210.24	206.71	223.27
<b>Romênia</b>	79.2	120.5	82.1	114.1	85.4	172.8	192.33	210.45	240.41	283.34
<b>Suécia</b>	213.8	212.4	203.5	200.1	207.5	207.9	200.5	197.5	204.3	200.9
<b>Médias</b>	<b>282.465,9</b>	<b>276.284,1</b>	<b>265.924,5</b>	<b>271.112,4</b>	<b>266.897,4</b>	<b>261.789,2</b>	<b>269.449,4</b>	<b>281.039,9</b>	<b>272.626,4</b>	<b>290.490,1</b>

\* Dados não disponíveis, estimados a partir da média entre os dois anos mais próximos.

No Brasil, a produção de lodo atinge de 150 a 220 mil toneladas de matéria seca/ano (Manca et al., 2020), valores baseados nos dados de Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (Tabela 2), contabilizam uma produção anual média aproximada de 3,7 bilhão de metros cúbicos, dos quais 2,3 bilhão de metros cúbicos foram tratados, sendo o volume de coleta e tratamento de esgoto distintos nas diferentes regiões do país, e a produção de resíduo sólido de LE diretamente relacionada ao aumento populacional.

**Tabela 2.** Produção anual de lodo de esgoto (LE), por região no Brasil entre 2001-2010. Fonte: Dados obtidos de Brasil. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2011/2015. Brasília, DF, 2011/2015. Disponível em <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>>. Acesso em: 21 de julho 2020.

Volume de esgoto coletado (mil metros <sup>3</sup> )										
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<b>Norte</b>	11.834	30.166	32.567	31.918	43.355	44.134	46.392	45.44	50.922	71.573
<b>Nordeste</b>	435.527	511.262	491.084	524.606	508.48	475.401	473.717	509.204	563.614	530.364
<b>Sudeste</b>	2.195.981	2.261.548	2.244.777	2.273.204	2.445.490	2.663.719	2.705.628	2.785.662	2.891.521	3.283.928
<b>Sul</b>	283.517	294.946	312.884	330.716	346.113	371.294	399.3	422.511	448.692	491.321
<b>Centro-O</b>	214.92	224.325	221.324	227.214	232.667	253.323	261.738	255.569	275.94	285.661
<b>total</b>	<b>3.141.779</b>	<b>3.322.247</b>	<b>3.302.636</b>	<b>3.387.658</b>	<b>3.576.105</b>	<b>3.807.871</b>	<b>3.886.775</b>	<b>4.018.386</b>	<b>4.230.689</b>	<b>4.662.847</b>
Volume de esgoto tratado (mil metros <sup>3</sup> )										
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<b>Norte</b>	6.139	9.988	13.978	11.752	21.979	24.401	26.486	32.073	43.931	65.772
<b>Nordeste</b>	351.264	441.96	401.488	461.46	458.271	423.795	420.033	439.87	461.577	456.899
<b>Sudeste</b>	967.937	1.023.702	1.124.323	1.181.112	1.267.096	1.370.849	1.457.870	1.628.430	1.774.432	1.955.645
<b>Sul</b>	204.491	228.005	250.915	261.203	269.227	279.032	312.374	333.056	365.441	385.936
<b>Centro-O</b>	119.406	124.052	131.102	156.641	185.308	213.621	226.329	227.119	249.603	260.175
<b>total</b>	<b>1.649.237</b>	<b>1.827.707</b>	<b>1.921.806</b>	<b>2.072.168</b>	<b>2201.881</b>	<b>2.311.698</b>	<b>2.443.092</b>	<b>2.660.548</b>	<b>2.894.984</b>	<b>3.124.427</b>

Neste cenário, a utilização do LE como substrato é uma prática desejável por dar uma destinação sustentável para esse resíduo, contribuindo para a sua diminuição nos aterros sanitários. O LE tem altos níveis de elementos minerais nutrientes para plantas, sendo considerado como um potencial fertilizante para a agricultura ou como condicionador do solo (Khan et al., 2013). Em vários países da UE mais de dois terços do volume total de LE tratado é utilizado para fins agrícolas (Eurostat, 2020). O uso agrícola do LE ainda que seja uma realidade em muitos países, depende de uma série de cuidados prévios, uma vez que neste resíduo também estão presentes metais pesados (MP) e outras substâncias potencialmente tóxicas para as plantas sendo necessários tratamentos prévios antes da sua utilização na agricultura, desta forma, ainda são diminuídos os riscos de impactos ao meio ambiente (Chang et al., 2019).

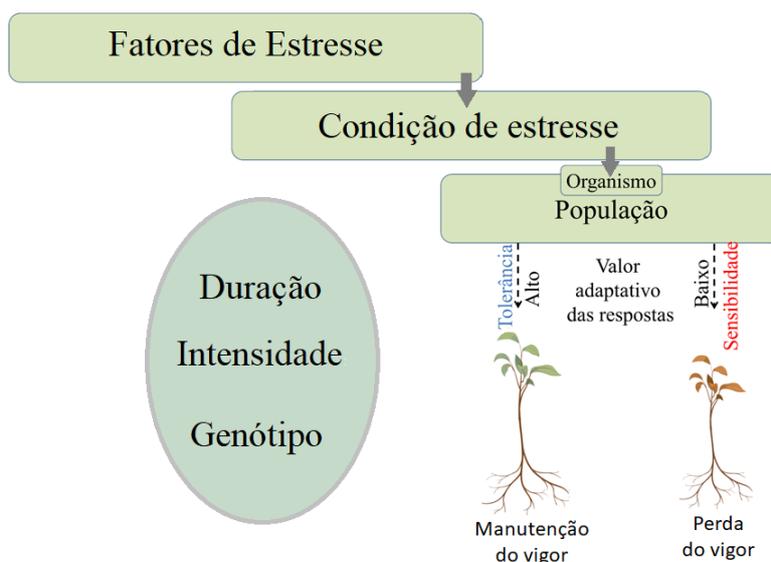
Nas plantas, apesar do crescimento ser na maioria dos casos afetado pelos MP, dependendo da concentração destes, algumas espécies possuem a capacidade de desencadear mecanismos de tolerância a níveis tóxicos ou letais para as demais espécies. Além dos MP, o desbalanço nas proporções dos elementos minerais presentes no LE também constituem fator desencadeador de respostas de estresse.

Neste capítulo, buscou-se descrever as respostas ecofisiológicas de plantas ao LE, abordando os pontos relevantes para compreensão dos mecanismos por meio dos quais são desencadeadas as respostas de tolerância ou suscetibilidade ao LE, além de discutir a viabilidade de substratos à base de LE na produção de mudas.

## **RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS AO ESTRESSE**

Independentemente do tipo de fator de estresse, as respostas observadas numa planta ou população de plantas expostas ao estresse envolvem mudanças internas tanto no sentido da alteração das atividades regulares do metabolismo celular, quanto aquelas no sentido do reparo e manutenção de suas funções vitais. Muitas destas respostas podem permanecer restritas aos processos metabólicos ou envolverem também alterações estruturais, percebidas por mudanças na morfologia da planta (Figura 1).

Sob estresse, o tipo de resposta do organismo depende ainda da informação presente em seu componente genético, cuja expressão pode resultar em respostas com baixo valor adaptativo (aquelas que normalmente são deletérias e não controladas, como por exemplo reações catalíticas que resultam em morte celular e necrose de tecidos) ou respostas com valor adaptativo, normalmente associadas a genes estresse-tolerantes cuja expressão desencadeiam respostas de reparo e normalização das funções metabólicas das plantas (Khassanova et al., 2019, Singh et., al 2019).



**Figura 1.** Respostas ecofisiológicas das plantas ao estresse. Diferentes fatores de estresse podem gerar a condição de estresse, a depender do fator ou fatores, tempo de duração, intensidade, e características genéticas, organismos ou populações de organismos podem apresentar respostas com alto ou baixo (nenhum) valor adaptativo, como resultado podem ser observados a tolerância ou a sensibilidade ao estresse com manutenção ou perda de vigor. Fonte: Os autores.

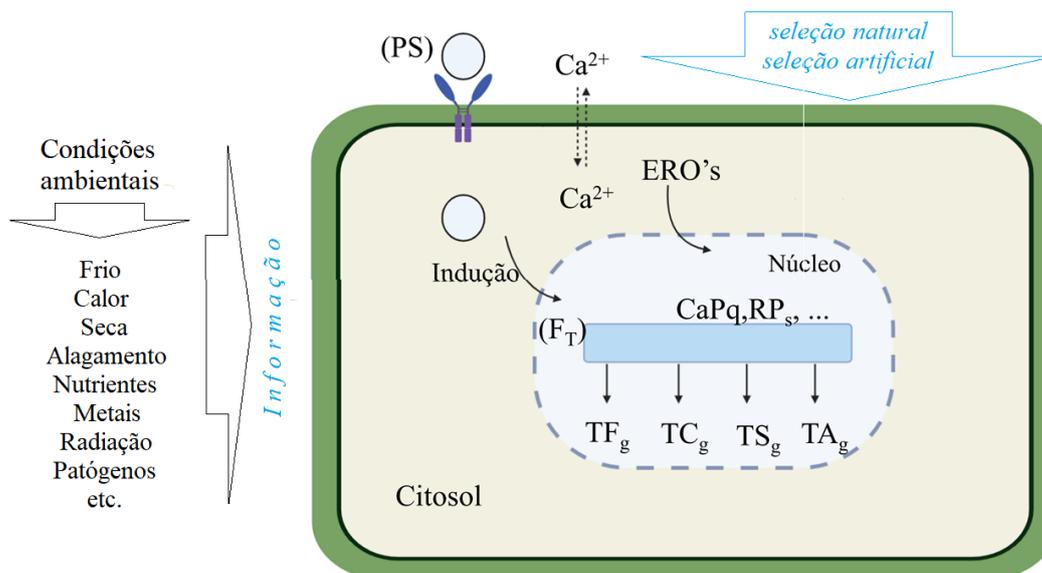
A seleção de genes estresse-tolerantes ocorre de modo artificial por meio de seleção de progênies e/ou indução em processos de melhoramento genético, ou por vias naturais sob pressão de seleção, em ambos os casos a seleção de genes depende de indução externa (sinal ambiental), tanto durante a seleção dos genes quanto da sua indução (Figura 2).

As modificações observadas nas plantas associadas à tolerância e superação do estresse podem ser interpretadas como mecanismos de plasticidade adaptativa que permitem ajustes estruturais/funcionais às alterações do meio (Falcão et al., 2015, Santiago et al., 2015). No entanto, sob estresse, distúrbios metabólicos verificados como alterações em processos fisiológicos representam suscetibilidade e são refletidos no desenvolvimento vegetal (Bezerra et al., 2017).

Processos morfofisiológicos podem ser desencadeados no sentido do ajuste e/ou aclimação quando o organismo é exposto a fatores de estresse, a tolerância do organismo é o resultado da informação adquirida durante a exposição da população ao estresse, assim o organismo tolerante/adaptado é detentor da informação, que quando acessada, resulta em respostas com valor adaptativo (Santiago et al., 2015; Araújo-Junior et al., 2019), como a tolerância à restrição hídrica, alterações de pH do solo, baixa disponibilidade de nutrientes e/ou altas concentrações de elementos minerais associados à fitotoxicidade, entre outros.

De modo geral, quando expostas ao estresse são desencadeados nas plantas distintos mecanismos: *i*) **rápidos ou de curto prazo** - aqueles que envolvem os componentes celulares já

presentes nas plantas (muitos dos quais de natureza proteica), as respostas observadas resultam, por exemplo, no fechamento estomático, alterações nas taxas fotossintéticas, alterações nas taxas respiratórias; *ii*) **respostas lentas ou de longa duração** - estas normalmente envolvem a expressão gênica e a síntese proteica, são comumente observadas como respostas morfogênicas que envolvem: alterações anatômicas, alterações de crescimento e/ou desenvolvimento, modificações na expansão foliar, entre outras (Carneiro et al., 2011; Pereira et al., 2012; Chakraborty et al., 2015).



**Figura 2.** Seleção de genes estresse-tolerantes. Fatores geradores de estresse compreendem a informação ambiental responsável pela percepção do sinal (PS) a partir de receptores na membrana celular, que por sua vez, em conjunto com mecanismos de bombeamento de íons Ca<sup>2+</sup>, proteínas amplificadoras de sinal no citoplasma (Pa) e outros fatores de transcrição (F<sub>T</sub>), regulam a transcrição de genes no núcleo, envolvendo a Calmodulina quinase (CaP) e outras proteínas oxidativas (RPs), resultando em diferentes genes estresse-induzidos, cuja seleção, fixa nas populações os diferentes genes responsáveis pela tolerância ao frio (TF<sub>g</sub>), calor (TC<sub>g</sub>), seca (TS<sub>g</sub>), ao alagamento (TA<sub>g</sub>), entre outros. Fonte: Os autores.

Dentre os fatores promotores de estresse vegetal, incluindo elementos normalmente presentes no LE, tem destaque a exposição à metais pesados (MP), fator este capaz de desencadear respostas de sensibilidade nas quais as plantas exibem sintomas de toxicidade (Rodrigues et al., 2016) que envolvem, por exemplo, desde respostas de fechamento estomático, alterações funcionais e estruturais no aparato fotossintético, a alterações de natureza anatômica que afetam o desenvolvimento e o vigor. A expressão de mecanismos que evitam os efeitos deletérios desses elementos é diversa, e normalmente são

encontrados em espécies de plantas tolerantes que são utilizadas na biorremediação (Lasat, 2002; Chen et al., 2020).

As respostas ecofisiológicas ao estresse em plantas com certo grau de tolerância, incluem elementos associados ao ajuste das funções metabólicas, neste caso, são ativados mecanismos de reparo (Rodrigues et al., 2016), tais respostas podem ser variáveis de acordo com a espécie (Hall 2002, Rodrigues et al., 2016). Os mecanismos desenvolvidos podem ser intra ou extracelulares atuando na inibição dos efeitos prejudiciais em sua estrutura ou desencadeando mecanismos de ajuste de modo a utilizar o fator estressante para otimizar seu desenvolvimento (Souza et al., 2011).

Quanto ao estresse por MP, por exemplo, a resposta fisiológica e bioquímica da planta é diretamente relacionada a fatores qualitativos (tipo de metal) e quantitativos (suas concentrações) durante o tempo de exposição, são ainda relevantes outras variáveis, como por exemplo, a capacidade de translocação do elemento ao longo do corpo vegetal (Souza et al., 2011, Bezerra et al., 2017). Os estudos relacionados às respostas ecofisiológicas de plantas ao estresse são de grande relevância uma vez que possibilitam a compreensão do estado de integridade ambiental por meio da bioindicação, reconhecimento de fatores abióticos de risco ambiental, bem como colaboram com a mitigação dos impactos ambientais subsidiando as práticas de fitorremediação.

## **LODO DE ESGOTO – CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E BIOLÓGICAS**

O LE é rico em matéria orgânica e nutrientes importantes às plantas, como nitrogênio e fósforo e potássio (Christofolletti et al., 2012), e pode melhorar as propriedades físico-químicas do solo, como umidade e retenção de água (Boudjabi et al., 2015; Debiase et al., 2016).

De modo geral, o LE contém MP além de uma ampla gama de compostos orgânicos tóxicos, como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (Oleszczuk e Hollert, 2011; Oleszczuk et al., 2012), produtos farmacêuticos (Jelic et al., 2011), desreguladores endócrinos (Mailler et al., 2014) e nanopartículas (Joško e Oleszczuk, 2013). Atualmente, dois grupos tóxicos têm sido observados no LE, que são dibenzo-p-dioxinas policloradas e dibenzofuranos policlorados, eles provocam danos mutagênicos, carcinogênicos e imunotóxicos, além de efeitos sobre o desenvolvimento e a reprodução em organismos vivos (Gworek et al., 2013; Molina et al., 2000).

Segundo a Resolução CONAMA 175/2006, “de acordo com fatores naturais e/ou acidentais, o resíduo pode conter tanto MP e compostos orgânicos como patógenos em concentrações nocivas à saúde e ao meio ambiente”, sendo esse percentual muito variável em virtude de fatores como condições socioeconômicas, sanitárias, região geográfica, presença de indústrias agroalimentares e tipo de tratamento aplicado ao lodo (Abreu et al., 2019).

Embora apresente características que o incluem na classe de materiais altamente patogênicos (Castro et al., 2015), o LE possui em sua composição, elementos considerados essenciais para o desenvolvimento vegetal, constituindo fonte de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas e que sua aplicação no solo pode trazer benefícios à agricultura (Brasil, 2006; Abreu et al., 2017; Nobrega et al., 2017; Abreu et al., 2019.).

Dentre as propriedades constituintes desse resíduo se destacam o elevado percentual de matéria orgânica e elementos mineralizados (Scheer et al., 2012; Castro et al., 2015), como por exemplo, altos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) (Castro et al., 2015; Abreu et al., 2019) categorizando o LE como fonte de nutrientes para as plantas em razão da presença de elementos essenciais para o desenvolvimento vegetal.

## **PRODUÇÃO DE BIOSSÓLIDO A PARTIR DO LODO DE ESGOTO**

O aumento nas discussões ambientais quanto à disposição final de resíduos, como o LE, tem aumentado a demanda por metodologias que se enquadrem nas práticas ambientalmente sustentáveis. Em virtude de suas características físico/químicas e microbiológicas, o LE convertido em biossólido tem potencial considerável para uso como substrato de plantas, demandando estudos das respostas das espécies vegetais quando da sua utilização, em especial das espécies tropicais utilizadas normalmente nas ações de restauração em áreas degradadas.

A crescente consciência das consequências do descarte inadequado dos resíduos industriais e/ou domésticos associados ao mau odor, riscos diretos e indiretos à saúde pública, poluição de mananciais de água (rios, lagos), contaminação dos solos entre outros problemas, tem estimulado os estudos visando à transformação, utilização e/ou reutilização destes materiais. O uso do LE em solos agrícolas é regulamentado pela resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 375/2006 (Brasil, 2006), e ressalta que para adotar a aplicação de resíduos de esgotamento sanitário é necessária uma análise de diversos parâmetros microbiológicos, como: bactérias, parasitas e vírus, que são considerados riscos à saúde pública (Brisolara; Sandberg, 2014).

Deste modo, o uso agrícola como coadjuvante na produção de substratos, se enquadra tanto na mitigação de impactos gerados pelo descarte inadequado quanto como instrumento de educação ambiental e despertar da consciência ecológica.

O LE é considerado um passivo ambiental e diversos estudos vêm abordando sua utilização como componente de substratos, em especial na forma de biossólido para produção de mudas florestais (Abreu et al., 2019). Em virtude do seu potencial para aumentar da capacidade de retenção hídrica do solo, aumentar a disponibilidade de nutrientes e redução ou mesmo eliminação da necessidade da aplicação de corretivos e fertilizantes minerais, principalmente de N, P e K (Siqueira et al., 2018). Isso

acarreta a economia na adubação suplementar, podendo ser uma alternativa menos onerosa que os substratos comerciais, ou outros componentes (Abreu-Junior et al., 2005; Scheer et al., 2010; Abreu et al., 2017).

O processamento do LE para sua conversão em bio sólido transformado pode ocorrer por meio das práticas de compostagem e/ou vermicompostagem. Na compostagem, a fração orgânica do resíduo é convertida em bio sólido mineralizado por atividade microbiológica, induzida (quando são acrescentados microrganismos ao processo de cura) ou não (quando a atividade decompositora ocorre por conta dos microrganismos já presentes no meio), sendo portanto, um processo aeróbico exotérmico; já na vermicompostagem, além da atividade microbiológica, são acrescentadas minhocas, organismos responsáveis pelo aumento na eficiência na conversão da matéria orgânica em material mineralizado (Dal Bosco et al., 2017).

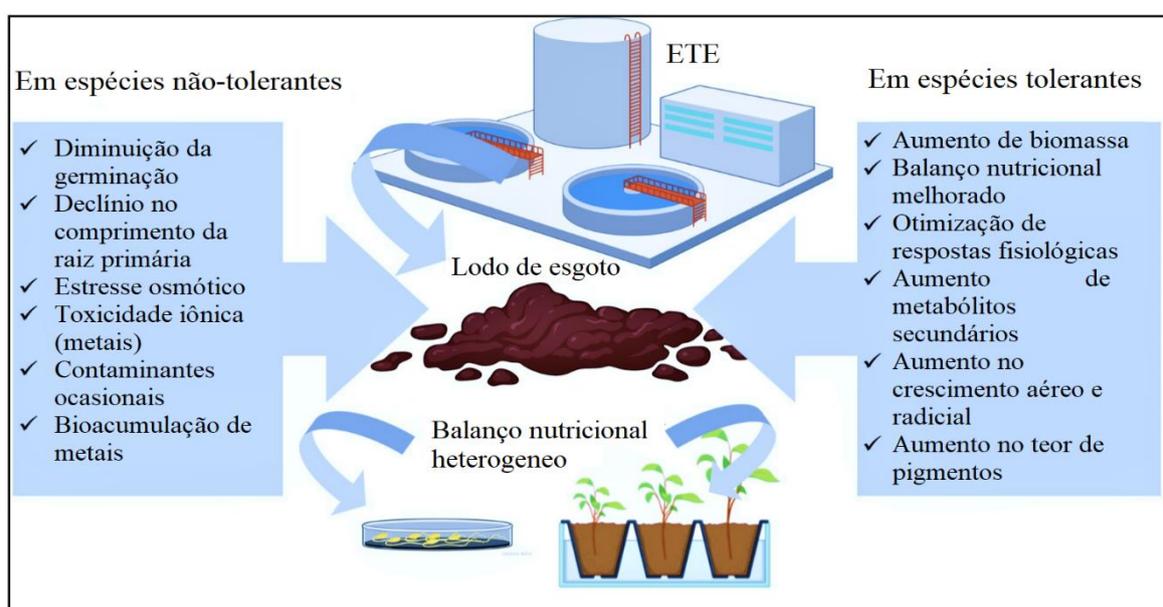
Ao longo do processo de conversão da matéria orgânica ocorre a redução nas relações proporcionais entre o carbono e o nitrogênio presentes na matéria orgânica (relação C/N), desta forma, são descritos como ideais a alta relação C/N (em torno de 30/1) no início do processo (Dal Bosco et al., 2017). O LE de modo geral é caracterizado por apresentar baixa relação C/N sendo, portanto, desejável sua associação a outros resíduos que são fontes de carbono. Vários resíduos oriundos das atividades agroindustriais e disponíveis a baixo custo tais como bagaço de cana-de-açúcar, capim Napier, subprodutos do processamento de grãos como a casca de arroz, café, soja, entre outros, tem sido usados com eficiência nesse processo (Silva et al., 2018).

De modo geral, os processos de compostagem e vermicompostagem geram matéria orgânica estabilizada, rica em substâncias húmicas e elementos mineralizados apropriados à utilização como adubo orgânico na produção vegetal.

## **RESPOSTAS DE PLANTAS AO LODO DE ESGOTO**

Existem vários relatos na literatura sobre respostas benéficas ou deletérias do LE na morfologia de plantas, na germinação e qualidade de plântulas, além de alterações na transpiração e fotossíntese (Figura 3). Todavia, segundo Manca et al. (2020) ainda são insuficientes as pesquisas sobre os efeitos nas propriedades químicas das raízes e brotações das plantas, bem como sobre as principais relações entre os danos provocados nos parâmetros morfológicos e fisiológicos. Em linhas gerais, são descritas tanto respostas negativas quanto positivas, isso parece estar relacionado, dentre outros fatores, à sensibilidade e tolerância das plantas, característica de cada espécie, além da composição do lodo, destacando a importância da caracterização física, química, e biológica deste resíduo, além do conhecimento prévio das plantas que serão produzidas ou tratadas com o mesmo.

Na literatura foram relatadas em plantas respostas de estresse ao LE, como produção excessiva de espécies reativas de oxigênio, alterações na produção de enzimas antioxidantes, interferência nos locais funcionais das proteínas, interrupção das funções enzimáticas, danos ao DNA, bioacumulação de metais, baixo enchimento de sementes (Fijalkowski; Kwarciak, 2020; Singh; Kumar, 2020), entre outras respostas. Por outro lado, algumas espécies vegetais apresentaram respostas positivas quando cultivadas em substratos a base de LE, apresentando otimização das respostas fisiológicas, com aumento da fotossíntese líquida, teores de clorofila, além de melhora na qualidade de mudas, com maior rendimento de biomassa, diâmetro do caule, altura, crescimento, floração, e produção de grãos (Bourioug et al., 2015; Rehman et al., 2018; Boudjabi et al., 2019; Koutroubas et al., 2020).



**Figura 3.** Esquema ilustrando as principais respostas de espécies arbóreas ao lodo de esgoto. Fonte: Os autores.

A utilização de resíduos provenientes de ETE e efluentes domésticos incorporados ao substrato como fertilizante para o cultivo de plantas, aumenta a disponibilidade de nutrientes no solo (Fytili; Zabaniotou, 2008; Oleszczuk et al., 2012). No entanto, efeitos benéficos ou deletérios podem ser observados, dependendo da dose aplicada, e da tolerância das espécies aos constituintes do LE (Nobrega et al., 2017). Portanto, os efeitos do LE nas plantas, em linhas gerais, estão bem fundamentados, com estudos desenvolvidos em diversas partes do mundo, sendo que atualmente, as pesquisas têm apontado para a busca de métodos de estabilização dos MP e redução de seu potencial contaminante, de modo que, os benefícios do teor nutricional do lodo sejam aproveitados sem maiores riscos ou prejuízos às plantas e ao meio (Nieminen; Räisänen, 2013; Machuca et al., 2019).

## RESPOSTAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS AO LODO DE ESGOTO

Diversos estudos têm sido realizados avaliando a influência do LE como substrato para as espécies florestais, apresentando resultados positivos quanto ao aumento na disponibilidade nutricional otimizando o desenvolvimento das plantas, também são relatados aspectos positivos na germinação e no desenvolvimento inicial de mudas das espécies arbóreas nativas (Scheer et al., 2010, Pontes et al., 2016, Fávaris et al., 2016, Nobrega et al., 2017, Abreu et al., 2019) confirmando que a utilização de LE na incorporação de substrato para a produção de mudas consiste em prática ambientalmente adequada para o destino final deste resíduo.

A germinação de sementes é um evento crucial para o ciclo de vida dos vegetais. A exposição ao LE, durante este estágio de desenvolvimento pode induzir alterações positivas ou negativas no comportamento germinativo. Em geral, devido a heterogeneidade de sua composição química, o LE promove alterações nas propriedades físicas e químicas dos solos ou substratos (McLachlan et al., 1994), como consequência desta heterogeneidade podem ocorrer pressões sobre os organismos, alterando assim a dinâmica do processo germinativo das sementes dependendo da dose ou concentração empregada.

Diversos trabalhos reportaram que o resíduo afeta de maneira significativa a germinação de sementes (Ramírez et al., 2008; Dash, 2012; Pontes et al., 2014). Dentre os efeitos deletérios em espécies não tolerantes, vale destacar os efeitos osmóticos e fitotóxicos na germinação de sementes descritos por diversos autores, por exemplo, a toxicidade de íons de sódio que é relatada como fator limitante na protrusão radicular (Ramírez et al., 2008).

Devido ao impacto dos elementos presentes no LE assim como suas concentrações sobre a capacidade germinativa das espécies, seu aproveitamento e utilização em programas de reflorestamento, deve ser envolvido de critérios como forma de se evitar riscos ao banco de sementes do solo (Wong et al., 2001; Fuentes et al., 2006).

Por outro lado, resultados positivos da aplicação do LE no plantio de mudas, foram reportados por Silva et al. (2012) em plantas de *Corymbia citriodora*, no qual observou-se incrementos na produção de biomassa foliar e lenhosa, aumentos na produção de óleo essencial, juntamente com um melhor balanço nutricional das mudas. Em mudas de *Sesbania virgata*, resultados positivos foram observados relacionados aos parâmetros morfológicos de crescimento e desenvolvimento das mudas, assim como em termos de qualidade fisiológica (Delarmelina et al., 2013; Pontes et al., 2016). Resultados positivos também foram descritos para a espécie arbórea decidual *Betula schmidtii* (Betulaceae), que quando tratadas com LE compostado apresentaram melhorias no desempenho fisiológico e bioquímico (Han et al., 2004). Em outro estudo, os tratamentos com LE em plântulas de *Eucalyptus urograndis*

apresentaram-se estatisticamente superiores ao controle para todas as variáveis avaliadas de crescimento, biomassa, pigmentos fotossintéticos e trocas gasosas das plantas (Zabotto et al., 2020).

## **MECANISMOS DE TOLERÂNCIA DAS PLANTAS AOS CONSTITUINTES MINERAIS DO LODO DE ESGOTO**

Na agricultura, uma das principais limitações da utilização do LE implica na presença de MP, pois trata-se de um resíduo que varia conforme o local de origem. A existência de solos contaminados por MP representam um grande desafio ambiental por causarem disfunção na biodiversidade, reduzindo a fertilidade do solo e a atividade microbiana; desencadeando uma série de alterações fisiológicas nas plantas, como diminuição do potencial hídrico, aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (ERO), inibição de enzimas, oxidação de ácidos nucleicos e proteínas, morte celular e alterações e inibição do crescimento (Baig et al., 2020).

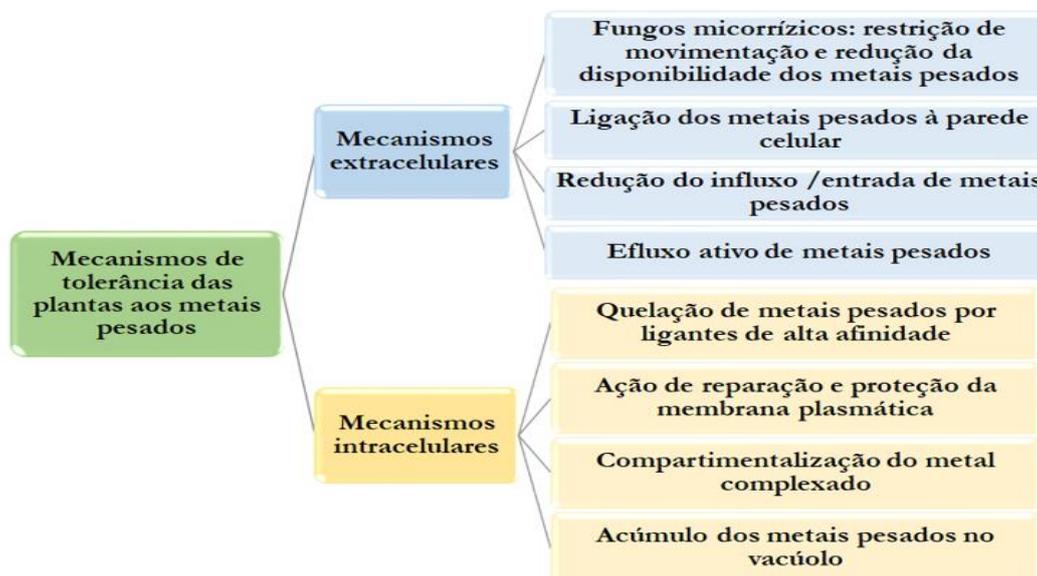
No entanto, quando expostas a níveis tóxicos de MP, as plantas podem exibir respostas variadas ao estresse, em escala estrutural e/ou molecular, envolvendo diferentes processos fisiológicos e de desenvolvimento (Rodrigues et al., 2016; Baig et al., 2020). Na desintoxicação de MP pelas plantas, mecanismos extracelulares e intracelulares celulares podem contribuir na tolerância ao estresse metálico (Hall, 2002), dentre os quais se destacam a redução da disponibilidade destes elementos no solo, por meio da imobilização promovida por organismos associados à rizosfera, processos ativos de efluxo, quelatção interna com redução de sua toxicidade entre outros (Figura 4).

Estudos tem comprovado que em solos com LE, a ligação dos MP à parede celular, a quelatção e precipitação de MP são expressivas, com pequenas atividades no solo (Angle et al., 1992). Nas plantas, substâncias são produzidas em tolerância ao estresse causado pelos MP, sendo conhecidas como metalotioneínas (MTs) e fitoquelatinas (PCs). Nos últimos anos, vários estudos mostraram o papel significativo das MTs nas plantas, no entanto, ainda são incipientes, pois para que ocorra aumento na capacidade de fitorremediação das plantas, pesquisas voltadas para a compreensão e manipulação da expressão de MTs são essenciais (Joshi et al., 2016).

Atualmente, pesquisadores tem utilizado microrganismos associados às plantas como estratégia para a produção agrícola sustentável, pois acredita-se que numerosos microrganismos associados às plantas, como por exemplo, bactérias e fungos, exibem características promotoras de crescimento de plantas mesmo em ambientes contaminados por MP.

Microrganismos associados às plantas podem diminuir o acúmulo de MP nos tecidos vegetais por meio da redução da biodisponibilidade destes. Estudos demonstram a capacidade de algumas espécies vegetais promoverem a extrusão de compostos tais como ácidos carboxílicos, aminoácidos, carboidratos e outros exsudatos associados ao aumento da diversidade de microrganismos na rizosfera

(Liu et al., 2020), além de novas estratégias fitobacterianas, como as bactérias geneticamente transformadas, utilizadas para aumentar a remediação de MP e a tolerância ao estresse nas plantas (Tiwari; Lata 2018).



**Figura 4.** Esquemas dos mecanismos de tolerância das plantas aos metais pesados (MP). Fonte: Adaptado de Rodrigues et al. (2016) e Hall (2002).

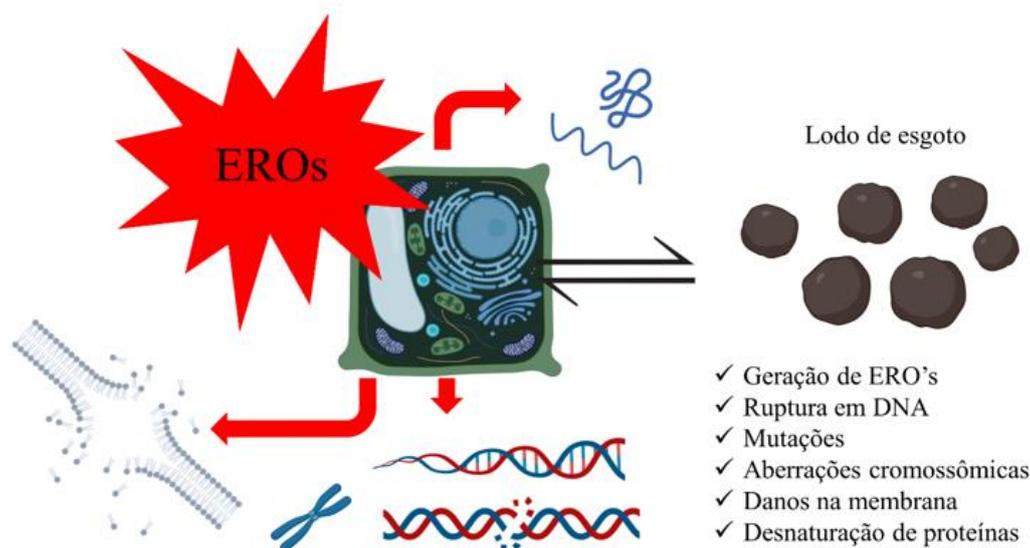
Acredita-se que lacunas ainda estão abertas referentes aos mecanismos de tolerância das plantas nos constituintes minerais do logo de esgoto e precisam ser respondidas, pois sabe-se que existem variações na qualidade do LE quanto a sua origem, sendo necessárias diretrizes e pesquisas para identificação das dosagens adequadas para uso agrícola, além da diversidade de plantas que podem transferir MP para os consumidores de plantas primários, como os seres humanos (Dar et al., 2018).

## FITOTOXICIDADE EM ESPÉCIES NÃO-TOLERANTES

Do ponto de vista ecotoxicológico o risco do LE nos ecossistemas depende tanto da toxicidade inerente de seus constituintes químicos (MP, presença de contaminantes e poluentes), quanto de suas propriedades físico-químicas (acidez e excesso de eletrólitos), assim como da dose empregada. A respeito do potencial fitotóxico do LE, os constituintes presentes no resíduo bruto podem interagir por diversas vias com o aparato celular, por meio de ligações com DNA, amino ácidos, sítios específicos de enzimas (Emamverdian et al., 2015).

De modo geral, os danos do LE às células de plantas de espécies não tolerantes (Figura 5) ocorrem por meio de vias oxidativas induzidas pela geração de espécies reativas de oxigênio (EROs), que podem desencadear múltiplas alterações fisiológicas e metabólicas (Emamverdian et al., 2015).

Conseqüentemente, podem ser induzidas alterações em sequências de DNA, mutações, interferindo no balanço homeostático celular, desnaturando proteínas, e induzindo danos irreversíveis às membranas celulares. Diversos autores reportam o potencial genotóxico e mutagênico do LE em plantas. Mutações pontuais, aberrações cromossômicas, distúrbios mitóticos e mutações somáticas são reportadas em ensaios em células de milho (Plewa, 1982; Rodrigues, 1999; Amin et al., 2009), de *Vicia faba* (Kanaya et al., 1994; Grant, 1999; Srivastava et al., 2005), de *Nicotiana tabacum* (Chenon et al., 2003), e *Allium cepa* (Rank e Nielsen 1998).



**Figura 5.** Esquema ilustrando as principais respostas fitotóxicas observadas em espécies não-tolerantes. Fonte: Os autores.

Atualmente, diversos autores reportaram que o LE pode induzir danos distintos nas plantas, desde mutações genéticas, alterações cromossômicas, danos morfológicos e fisiológicos (Srivastava et al., 2005; Ramírez et al., 2008; Pontes et al., 2014). Destacando, a capacidade de diferentes espécies florestais em bioacumular e fitorremediar os compostos tóxicos presentes no LE internalizando em seus tecidos. Estudos visando compreender os mecanismos de tolerância ao LE, sobretudo, associados às respostas ecofisiológicas em espécies nativas em populações naturais são ainda necessários, considerando a ampla diversidade genética da flora tropical.

## VIABILIDADE DO LODO DE ESGOTO NA PRODUÇÃO DE MUDAS FLORESTAIS

Para a produção de mudas de espécies florestais para fins de restauração de áreas degradadas ou recomposição de florestas, é razoável a opção por alternativas sustentáveis e de baixo custo (Peruzzi et al., 2011; Trazzi et al., 2012). O aproveitamento de resíduos, sobretudo de LE como componente de substratos para produção de mudas pode ser sustentada nos seguintes pontos: *i*) implica em resíduo de

fácil aquisição – sendo encontrado em toda estação de tratamento nas empresas de saneamento; *ii*) volume produzido – ainda que dependente do tamanho da planta da empresa de saneamento, o LE é produzido em grande quantidade; *iii*) regularidade – é produzido regularmente, estando disponível o ano todo; *iv*) forma – implica em resíduo sólido facilitando o armazenamento como amontoa; *v*) composição química – é rico em elementos minerais nutrientes para plantas.

Como limitações ao uso do LE na produção de substratos para mudas florestais podem ser destacados os seguintes pontos: *i*) riscos à saúde – ainda que seja produto de tratamento, o LE apresenta contaminantes biológicos capazes de colocar em risco a saúde humana, sendo imprescindíveis o uso de equipamento de proteção individual (EPIs) em seu manejo; *ii*) riscos ao meio ambiente – o LE quando *in natura* tem alto potencial contaminante ao ambiente, em especial aos recursos hídricos; *iii*) limitações no transporte - devido a suas características contaminantes depende de transporte adequado; *iv*) características químicas – ainda que possua elementos minerais nutrientes para plantas, estes se encontram desbalanceados; *v*) respostas específicas – a tolerância ou sensibilidade ao LE é variável de acordo com a espécie; *vi*) limitações no manejo – o uso *in natura* é menos indicado que a forma de bio-sólido resultante de processos de compostagem ou vermicompostagem.

Para a produção de mudas florestais com alto vigor algumas características básicas são necessárias ao substrato, de modo a atender adequadamente tanto às demandas nutricionais das plantas quanto a viabilidade no manejo, sendo destacados: boa drenagem, retenção de água nas condições próximas à capacidade de campo, ser leve e de fácil manuseio (Silva et al., 2011). Destaca-se ainda que a viabilidade para a incorporação de resíduos no substrato, além de atender às premissas anteriores, deve estar disponível em grande quantidade e ser de fácil armazenamento.

Nesse sentido, avaliando os prós e contras, o LE apresenta grande potencial como biofertilizante, em especial para a produção de mudas florestais. No entanto, a presença de contaminantes diversos reforça a necessidade de cuidados no seu manejo, que por ser um resíduo urbano, seu potencial contaminante é variável dependendo da sua origem e tipo de processamento usado pela Estação de Tratamento de Águas Residuais (Kim et al., 2017).

O uso de LE como fonte de matéria orgânica e nutrientes para solos agrícolas e áreas florestais é uma prática utilizada em muitas partes do mundo, como Austrália, Inglaterra, União Europeia e Estados Unidos da América (Sharma et al., 2017). Todavia, estima-se que no Brasil apenas 10% do LE produzido é usado para fins agrícolas e florestais, enquanto o restante é descartado em aterros sanitários (Borba et al., 2018).

A utilização do LE em campo deve ser feita com cautela e de forma estratégica e planejada, pois a longo prazo, componentes tóxicos como MP podem ser translocados e armazenados nos tecidos vegetais (Antonkiewicz et al., 2020). Em espécies não comestíveis isso pode ser uma vantagem, uma

vez que, os contaminantes estarão estabilizados. Por outro lado, em espécies frutíferas os contaminantes podem ser transferidos para outros organismos, e no solo a contaminação pode prejudicar a microbiota (Abreu-Junior et al., 2019).

O potencial fitotóxico do LE não inviabiliza sua utilização como componente de substratos, pois sua toxicidade depende da quantidade utilizada, além disso técnicas como compostagem e biorremediação podem atenuar o poder fitotóxico deste resíduo, permitindo que ele seja utilizado com segurança no cultivo de mudas florestais em viveiro (Pontes et al., 2014; Nobrega et al., 2017; Guo et al., 2020). Todavia, seu uso em campo e na agricultura é uma questão ambiental desafiadora e discutível, e deve atender alguns pressupostos. No Brasil o uso deste resíduo é regulado pelo Decreto 4.954/2004 e limitado pelas Resoluções 375/2006, 380/2006 e 481/2017 (CONAMA) e pelas Instruções Normativas 27/2006 e 25/2009 (MAPA), essas regulamentações estabelecem os limites máximos permitidos de MP, microrganismos patogênicos e ovos de helmintos (Lopes et al., 2018), além de proibir o seu uso em hortaliças, raízes e tubérculos, como medida preventiva de saúde pública (Moretti, et al., 2015). Para compostos orgânicos persistentes até o momento no Brasil, nenhuma norma estabelece limite (Bettiol e Camargo, 2006).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As espécies apresentam diferentes respostas ecofisiológicas ao estresse podendo ser tolerantes ou sensíveis dependendo do tipo de fator de estresse, intensidade, tempo de exposição, e características inerentes às plantas.

O aumento das áreas urbanizadas e consequente aumento na produção de resíduos como o LE tornam imperativas a busca de alternativas para seu destino final. Os dados produzidos até o momento, bem como as práticas já realizadas com sucesso apontam para o emprego do LE como substrato para plantas, em especial as espécies arbóreas nativas.

Devido a diversidade da flora tropical ainda se fazem necessários estudos que abordem as especificidades das respostas ao uso de LE na composição do substrato de cultivo, bem como a combinação destes com outros tipos de resíduos no sentido de serem propostas combinações aplicáveis a um maior número de espécies, e que diminuam os riscos ao manejo e ao meio ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu AHM, Alonso JM, Melo LA, Leles PSS, Santos GR (2019). Caracterização de biossólido e potencial de uso na produção de mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 24(3): 1-9.

- Abreu AHM, Leles PSS, Melo LA, Oliveira RR, Ferreira DHAA (2017). Caracterização e potencial de substratos formulados com biossólido na produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi. e *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos. *Ciência Florestal*, 27(4): 1179-1190.
- Abreu-Junior CH, Boaretto A, Muraoka T, Kiehl JC (2005). Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 4: 391-470.
- Abreu-Junior CH, Lima BMJ, Monteiro RT, Cardoso PHS, Silva MT, Nogueira TAR, Ganga A, Filzmoser P, Oliveira FC, Firmef LP, Capra GF (2019). Effects of sewage sludge application on unfertile tropical soils evaluated by multiple approaches: A field experiment in a commercial *Eucalyptus* plantation. *Science of the Total Environment*, 655(1): 1457-1467.
- Amin AW, Sherif FK, El-Atar E, Ez-Eldin H (2009). Residual effects of sewage sludge on soil and several yield parameters of *Zea mays*. *Research Journal of Environmental Toxicology*. 3, 86-93.
- Andreoli CV, Tamanin CR, Holsbach B, Pegorini ES, Neves PS (2006). Uso de lodo de esgoto na produção de substrato vegetal. In: biossólidos-alternativas de uso de resíduos do saneamento. Rio de Janeiro: Editora ABES. p398.
- Angle JS, Madariaga GM, Heger EA (1992). Sewage sludge effects on growth and nitrogen fixation of soybean. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 41(3-4): 231-239.
- Antonkiewicz J, Popławska A, Kołodziej B, Ciarkowska K, Gambuś F, Bryk M, Babula J (2020). Application of ash and municipal sewage sludge as macronutrient sources in sustainable plant biomass production. *Journal of Environmental Management*, 264, 110450.
- Araújo-Junior GN, Gomes FT, Silva MJ, Jardim A MFR, Simões VJLP, Izidro LPS, Leite MLMV, Teixeira VIT, Silva TGF (2019). Estresse hídrico em plantas forrageiras: uma revisão. *PUBVET*, 13(1): 1-10.
- Baig MA, Qamar S, Ali AA, Ahmad J, Qureshi MI (2020). Heavy Metal Toxicity and Tolerance in Crop Plants. *Contaminants in Agriculture*. Springer, Cham, 2020. 201-216.
- Bettiol W, Camargo OA (2006). *Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura*. Jaguariúna, São Paulo: Embrapa Meio Ambiente. 349p.
- Bezerra BKL, Alves DAS, Germino GH, Lima J, Bianchi L, Broetto F (2017). Estresse mineral (macronutrientes). In: Broetto F, Gomes ER, Joca TAC (Eds). *O estresse das plantas: teoria e prática*. São Paulo, Cultura Acadêmica, 25-41.
- Boudjabi S, Kribaa M, Chenchouni H (2019). Sewage sludge fertilization alleviates drought stress and improves physiological adaptation and yield performances in Durum Wheat (*Triticum durum*): a double-edged sword. *Journal of King Saud University-Science*, 31(3): 336-344.

- Boudjabi S, Kribaa M, Chenchouni, H (2015). Growth, physiology and yield of durum wheat (*Triticum durum*) treated with sewage sludge under water stress conditions. *EXCLI Journal*, 14: 320-334.
- Bouriou M, Alaoui-Sehmer L, Laffray X, Benbrahim M, Aleya L, Alaoui-Sossé B (2015). Sewage sludge fertilization in larch seedlings: effects on trace metal accumulation and growth performance. *Ecological engineering*, 77: 216-224.
- Borba RP, Ribeirinho VS, Camargo OAD, Andrade CAD, Kira CS, Coscione AR. (2018) Ion leaching and soil solution acidification in a vadose zone under soil treated with sewage sludge for agriculture. *Chemosphere*. 192: 81–89. pmid:29100125
- Brasil. Decreto n. 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. *Diário Oficial da União*, Brasília.
- Brasil. Instrução Normativa MAPA nº 25, de 23 de julho de 2009. Estabelece normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Brasília: *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA nº 17, de 21 de maio 2007. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF. Seção 1.
- Brasil. Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Brasília: *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*.
- Brasil. Resolução CONAMA nº 380, de 31 de outubro de 2006. Retifica o anexo 1 da Resolução CONAMA 375/06. Brasília: *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*.
- Brasil. Resolução CONAMA nº 481, de 3 de outubro de 2017. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. Brasília: *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*.
- Brisolara KF, Sandberg MA (2014). Biosolids and Sludge Management. *Water Environment Research*, 86(10): 1274-1283.
- Carneiro MML, Deuner S, Oliveira PV, Teixeira SB, Sousa CP, Bacarin MA, Moraes DM (2011). Atividade antioxidante e a viabilidade de girassol após estresse hídrico e salino. *Revista brasileira de sementes*, 33(4): 752-761.
- Castro, ALFG, Silva OR, Scalize, P.S (2015). Cenário da disposição do lodo de esgoto: uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014. *Multi-Science Journal*, 1(2): 66-73.

- Chakraborty L, Singh A, Kalariya KA, Goswami N, Zala PV (2015). Physiological responses of peanut (*Aragis hypogaea* L.) cultivars to water deficit stress: status of oxidative stress and antioxidant enzyme activities. *Acta Botanica Croatica*, 74(1): 123-142.
- Chang JH, Cheng SF, Timofeeva SS, Shen SY (2019). Removal of heavy metals from sewage sludge by electrokinetics. XXI century. *Technosphere Safety*, 4(3): 306–315.
- Chen, L., Long, C., Wang, D., Yang, J. (2020) Phytoremediation of cadmium (Cd) and uranium (U) contaminated soils by *Brassica juncea* L. enhanced with exogenous application of plant growth regulators. *Chemosphere*, 242: 125112.
- Christofolletti CA, Francisco A, Fontanetti CS (2012). Biosolid soil application: toxicity tests under laboratory conditions. *Applied and Environmental Soil Science*, 1-12.
- Dar MI, Naikoo MI, Khan FA, Green ID (2018). Assessing the Feasibility of Sewage Sludge Applications for the Cultivation of *Brassica Juncea* L.: Metal Accumulation, Growth, Biochemical and Yield Responses. *Environmental Science and Renewable Resources*, 1(1).
- Dash AK (2012). Impact of domestic wastewater on seed germination and physiological parameters of rice and wheat. *International Journal of Research and Reviews in Applied Science*, 12: 280-286.
- Debiase G, Montemurro F, Fiore A, Rotolo C, Farrag K, Miccolis A, Brunetti G (2016). Organic amendment and minimum tillage in winter wheat grown in Mediterranean conditions: Effects on yield performance, soil fertility and environmental impact. *European Journal of Agronomy*, 75:149-157.
- Delarmelina WM, Caldeira MVW, Faria JCT, Gonçalves EO, Rocha, FLF (2014) Diferentes substratos na produção de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. *Floresta e Ambiente*, 21(2): 224-233.
- Dal Bosco TC, Gonçalves F, Andrade FC, Junior IT, Silva SJ, Sbizzaro M. (2017) Contextualização teórica: compostagem e vermicompostagem. In: *Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas* [livro eletrônico] /organização de Tatiane Cristina Dal Bosco. – São Paulo: Blucher, 2017. 266 p.
- Delarmelina WM, Caldeira MVW, Faria JCT, Gonçalves EO (2013). Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav) Pers. *Revista Agroambiente*, 7: 184-192.
- Emamverdian A, Ding Y, Mokhberdoran F, Xie Y (2015). Heavy metal stress and some mechanisms of plant defense response. *Scientific World Journal*, 1-18.
- Eurostat, (2020) Sewage sludge production and disposal from urban wastewater (in dry substance (d.s)). Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ten00030/default/table?lang=en>

- Falcão HM, Medeiros CD, Silva BLR, Sampaio ELR, Almeida-Cortez JS, Santos, MG (2015). Phenotypic plasticity and ecophysiological strategies in a tropical dry forest chronosequence: A study case with *Poincianella pyramidalis*. *Forest Ecology and Management*, 340: 62-69.
- Fávaris NAB, Lopes JC, Freitas AR, Zanotti RF, Monteiro CB (2016). Qualidade fisiológica de genótipos de tomate fertilizados com lodo de esgoto. *Nucleus*, 13(2): 231-239.
- Fijalkowski KL, Kwarciak KA (2020). Phytotoxicity assay to assess sewage sludge phytoremediation rate using guaiacol peroxidase activity (GPX): A comparison of four growth substrates. *Journal of Environmental Management*, 263: 110413.
- Fuentes A, Llorens M, Sacz J, Aguilar MI, Perez-Marin AB, Ortuno JF, Meseguer VF (2006). Ecotoxicity, phytotoxicity and extractability of heavy metals from different stabilized sewage sludges. *Environmental Pollution*, 143: 355-360.
- Fytli D, Zabaniotou A (2008). Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12: 116-140.
- Grant WF (1999). Higher plants assay for the detection of chromosomal aberrations and gene mutations-a brief historical background on their use for screening and monitoring environmental chemicals. *Mutation Research*, 426: 107-112.
- Guo Y, Rene ER, Wang J, Ma W (2020). Biodegradation of polyaromatic hydrocarbons and the influence of environmental factors during the co-composting of sewage sludge and green forest waste. *Bioresource Technology*, 297: 122434.
- Gworek B, Hajduk A, Koda E, Grochowalski A, Jeske A (2013). Influence of a municipal waste landfill on the spatial distribution of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDDs/Fs) in the natural environment. *Chemosphere*, 92(7): 753-759.
- Hall JL (2002). Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of experimental botany*, 53(366): 1-11.
- Han SH, Lee JC, Jang, SS, Kin PG (2004). Composted sewage sludge can improve the physiological properties of *Betula schimidtii* growing in tailings. *Journal of Plant Biology*, 47(2): 99-104.
- Jelic A, Gros M, Ginebreda A, Cespedes-Sanches R, Ventura F, Petrovic M, Barcelo D (2011). Occurrence, partition and removal of pharmaceuticals in sewage water and sludge during wastewater treatment. *Water research*, 45(3): 1165-1176.
- Joshi R, Pareek A, Singla-Pareek SL (2016). Plant metallothioneins: classification, distribution, function, and regulation. In: *Plant Metal Interaction*. Elsevier. p. 239-261.
- Joško I, Oleszczuk P (2013). The influence of ZnO and TiO<sub>2</sub> nanoparticles on the toxicity of sewage sludges. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 15(1): 296-306.

- Kanaya N, Gill BS, Grover IS, Murin A, Osiecka R, Sandhu SS, Andersson HC (1994). *Vicia faba* chromosomal aberration assay. *Mutation Research*. 310, 231-240.
- Khan S, Wang N, Reid BJ, Freddo A, Cai C (2013). Reduced bioaccumulation of PAHs by *Lactuca sativa* L. grown in contaminated soil amended with sewage sludge and sewage sludge derived biochar. *Environmental pollution*, 175: 64-68.
- Khassanova G, Kurishbaev A, Jatayev S, Zhubatkanov A, Zhumalin A, Turbekova A, Amantaev B, Lopato S, Schramm C, Jenkins C, Soole K, Langridge P, Shavrukov Y (2019). Intracellular vesicle trafficking genes, RabC-GTP, are highly expressed under salinity and rapid dehydration but down-regulated by drought in leaves of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Frontiers in Genetics*, 10: 40.
- Kim M, Li LY, Gorgy T, Grace JR (2017). Review of contamination of sewage sludge and amended soils by polybrominated diphenyl ethers based on meta-analysis. *Environmental Pollution*, 220(1):753-765.
- Koutroubas SD, Antoniadis V, Damalas CA, Fotiadis S (2020). Sunflower growth and yield response to sewage sludge application under contrasting water availability conditions. *Industrial Crops and Products*, 154: 112670.
- Lasat MM (2002) Phytoremediation of toxic metals: a review of biological mechanisms. *J Environ Qual* 31:109–120
- Li X, Chen L, Mei Q, Dong B, Dai X, Ding G, Zeng EY (2018). Microplastics in sewage sludge from the wastewater treatment plants in China. *Water research*, 142: 75-85.
- Liu C, Lin H, Li B, Dong Y, Yin T (2020). Responses of microbial communities and metabolic activities in the rhizosphere during phytoremediation of Cd-contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 202: 110958.
- Lopes MC, Mateus CDMDA, Alves DADS, Tavares AR, Sanches LVC, Bôas RLV (2018). Sewage sludge compost as a substrate for croton seedlings production. *Ornamental Horticulture*, 24(4): 380-386.
- Machuca MAV, Soriano JRE, González JV, Soto JLM, Equihua JLP, Navia MM (2019). Caracterización física y química de biochar de lodos residuales. *Terra Latinoamericana*, 37(3): 243-251.
- Mailler R, Gasperi J, Chebbo G, Rocher V (2014). Priority and emerging pollutants in sewage sludge and fate during sludge treatment. *Waste management*, 34(7): 1217-1226.
- Manca A, Silva MR, Guerrini IA, Fernandes DM, Bôas RLV, Silva LC, Fonseca A C, Maria CR, Cruz CV, Sivilsaca DCL, Mateus CMD, Murgia I, Eleonora G, Ganga A, Capra GF (2020). Composted sewage sludge with sugarcane bagasse as a commercial substrate for *Eucalyptus urograndis* seedling production. *Journal of Cleaner Production*, 122145.

- McLachlan MS, Hinkel M, Reissinger M, Hippelei M, Kaupp H (1994). A study of the influence of sewage sludge fertilization on the concentrations of PCDD/F and PCB in soil and milk. *Environmental Pollution*, 85(3): 337-343.
- Molina L, Diaz-Ferrero J, Coll M, Martin R, Broto-Puig F, Comellas L (2000). Study of evolution of PCDD/F in sewage sludge-amended soils for land restoration purposes. *Chemosphere*, 40(11): 1173-1178.
- Moretti SML, Bertoni EI, Junior CHA (2015). Decomposição de lodo de esgoto e composto de lodo de esgoto em nitossolo háplico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(6): 1796-1805.
- Nieminen JK, Räisänen M (2013). Effects of sewage sludge addition to Norway spruce seedlings on nitrogen availability and soil fauna in clear-cut areas. *Environmental pollution*, 178: 306-311.
- Nobrega MAS, Pontes MS, Santiago EF (2017). Incorporação de lodo de esgoto na composição de substrato para produção de mudas nativas. *Acta Biomedica Brasiliensia*, 8(1): 43-55.
- Oleszczuk P, Hollert H (2011). Comparison of sewage sludge toxicity to plants and invertebrates in three different soils. *Chemosphere*, 83: 502-509.
- Oleszczuk P, Malara A, Joško I, Lesiuk A (2012). The phytotoxicity changes of sewage sludge-amended soils. *Water, Air and Soil Pollution*. 223: 4937-4948.
- Pereira JW, Melo Filho PA, Albuquerque MB, Nogueira RJMC, Santos RC (2012). Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos ao déficit hídrico moderado. *Revista Ciência Agroômica*, 43(4): 766-773.
- Peruzzi E, Masciandaro G, Macci C, Doni S, Ravelo SGM, Peruzzi P, Ceccanti B (2011). Heavy metal fractionation and organic matter stabilization in sewage sludge treatment wetlands. *Ecological Engineering*, 37(5): 771-778.
- Plewa MJ (1982) Specific locus assay in *Zea mays*. *Mutation Research*, 99: 317-337.
- Pontes MS, Santiago EF, Nobrega MAS, Barbosa VM, Motta IS (2014). Seed germination of *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud (Moraceae) soaked in sewage sludge. *Cadernos de Agroecologia*. 9, 1-8.
- Pontes MS, Santiago EF, Nobrega MAS, Santos JS, Motta IS (2016). Effects of fertirrigation with compost tea of sewage sludge on growth and physiological quality in seedlings of *Sesbania virgata* (Cav) Pers. *Cadernos de Agroecologia*, 11: 1-11.
- Ramírez WA, Domene X, Alcañuz JM (2008) Phytotoxic effects of sewage sludge extracts on the germination of three plant species. *Ecotoxicology*, 17: 834-844.
- Rank J, Nielson MH (1998). Genotoxicity testing of wastewater sludge using the *Allium cepa* anaphase-telophase chromosome aberration assay. *Mutation Research*, 41: 113-119.

- Rehman RA, Rizwan M, Qayyum MF, Ali S, Zia-ur-Rehman M, Zafar-ul-Hye M, Hafeez F, Iqbal MF (2018). Efficiency of various sewage sludges and their biochars in improving selected soil properties and growth of wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of environmental management*, 223: 607-613.
- Rodrigues AC, Santos AM, Santos FS, Pereira ACC, Sobrinho NM (2016). Mecanismos de respostas das plantas à poluição por MP: Possibilidade de uso de macrófitas para remediação de ambientes aquáticos contaminados. *Revista Virtual de Química*, 8(1): 262-276.
- Rodrigues GS (1999) Bioensaios de toxicidade genética com plantas superiores *Tradescantia* (MCN e SHM), milho e soja. Embrapa Meio Ambiente.
- Santiago EF, Larentis TC, Barbosa VM, Caires ARL, Morais GA, Suárez YR (2015) Can the Chlorophyll-*a* Fluorescence be Useful in Identifying Acclimated Young Plants from Two Populations of *Cecropia Pachystachya* Trec. (Urticaceae), Under Elevated CO<sub>2</sub> Concentrations? *Journal of fluorescence*, 25(1): 49-57.
- Scheer MB, Carneiro C, Bressan OA, Santos KG (2012). Compostos de lodo de esgoto para a produção de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. *Cerne*, 18 (4): 613-621.
- Scheer MB, Carneiro C, Santos KG (2010). Substratos à base de lodo de esgoto compostado na produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan. *Scientia Forestalis*, 38(88):637-644.
- Sharma B, Sarkar A, Singh P, Singh RP (2017). Agricultural utilization of biosolids: A review on potential effects on soil and plant grown. *Waste Management*, 64(1):117-132.
- Silva FAM, Nunes GM, Zanon JA, Guerrini IA, Silva RB (2018). Resíduo agroindustrial e lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas de *Eucalyptus urograndis*. *Ciência Florestal*. 28(2): 827-828.
- Silva PEM, Santiago EF, Silva EM, Suárez YR, Daloso DM (2011). Fluorescência da clorofila-*a* e variação da simetria como ferramentas de investigação de plantas sob estresse. *Idesia (Arica)*, 29(3): 45-52.
- Silva PHM, Poggiani F, Ferraz AV, Sixel RMM, Brito JO (2012). Balanço nutricional, produção de óleo essencial e madeira de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson com aplicação de lodo de esgoto e fertilizante mineral. *Ciência Florestal*. 22(4): 835-845.
- Singh D, Kumar A (2020). Binary mixture of nanoparticles in sewage sludge: Impact on spinach growth. *Chemosphere*, 254: 126794.
- Singh B, Kukreja S, Salaria N, Thakur K, Gautam S, Taunk J, Goutam U (2019). VIGS: a flexible tool for the study of functional genomics of plants under abiotic stresses. *Journal of Crop Improvement*, 33(5): 567-604.
- Siqueira DP, Carvalho GCMW, Barroso DG, Marciano CR (2018). Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de *Lafoensia glyptocarpa*. *Floresta*, 48(2): 277-284.

- Souza EPD, Silva IF, Ferreira LE (2011). Mecanismos de tolerância a estresses por MP em plantas. *Revista Brasileira Agrociência*, 17 (2): 167-193.
- Srivastava AR, Tewari A, Chauhan LKS, Kumar D, Gupta SK (2005). Ecotoxicological evaluation of municipal sludge. *Alternatives to Laboratory Animals*, 33: 21-27.
- Tiwari S, Lata C (2018). Heavy metal stress, signaling, and tolerance due to plant-associated microbes: an overview. *Frontiers in plant science*, 9: 452.
- Trazzi PA, Caldeira MVW, Colombi R, Gonçalves EO (2012). Qualidade de mudas de *Murraya paniculata* produzidas em diferentes substratos. *Floresta*, 42(3): 621-630.
- Wong JWC, Li K, Fang DC (2001). Toxicity evaluation of sewage sludge in Hong Kong. *Environmental International*, 27: 373-380.
- Zabotto AR, Gomes LDL, Mateus CMD, Boas RLV, Kanashiro S, Tavares AR (2020). Nutrition and physiology of hybrid *Eucalyptus urograndis* in soil fertilized with sewage sludge. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 32(1): 19-24.

## ÍNDICE REMISSIVO

- A**
- adaptação, 122, 124  
ajuste, 99, 100, 144  
aluminum tolerance, 77  
análise multivariada, 35, 38
- B**
- biossólido, 95, 101, 102, 109, 110, 111
- C**
- Cucumis sativus* L., 80, 81, 85, 88, 90, 91
- E**
- estresse salino, 5, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38  
estresse vegetal, 100
- G**
- Glycine max*, 7, 11, 24, 25, 26, 28, 33, 35, 52
- I**
- índice de tolerância de estresse, 31, 32, 34
- J**
- Jatropha curcas* L., 68, 69, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 78
- O**
- osmotic stress, 86
- R**
- resíduos sólidos, 96, 113  
root growth, 40, 41, 45, 68, 69, 72, 74, 76
- S**
- salinity*, 38, 39, 51, 80, 81, 83, 84, 86, 87, 89, 91, 92, 93, 94, 115, 145, 146, 147  
seed germination, 39, 41, 52, 81, 83, 84, 86, 87, 92, 113, 136, 145  
seed priming, 38, 93  
solos salinos, 26, 38  
substrato, 66, 97, 101, 103, 105, 109, 110, 111, 116, 117, 137  
sucessão, 126
- T**
- tolerância ao fogo, 119
- V**
- vermicompostagem, 102, 109, 113

## Fábio Steiner



Doutor em Agronomia - Agricultura (UNESP - Botucatu). Mestre em Agronomia (Produção Vegetal) e Graduado em Agronomia (UNIOESTE - Marechal Cândido Rondon). Professor, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul em Cassilândia.

Contato: [steiner@uems.br](mailto:steiner@uems.br)

ISBN 978-658831902-4



### **Pantanal Editora**

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000  
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil  
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)  
<https://www.editorapantanal.com.br>  
[contato@editorapantanal.com.br](mailto:contato@editorapantanal.com.br)