



III-506 - INVESTIGAÇÃO DA TOXICIDADE DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO USANDO SEMENTES VEGETAIS COMO BIOINDICADORES

Naedna Medeiros dos Santos ⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

Naiara Angelo Gomes

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestra e Doutora em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG. Professora Adjunta do Centro de Ciências Tecnologia Agroalimentar (CCTA/UFCG).

Francisco de Assis de Araújo Pereira

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Marbara Vilar de Araújo Almeida

Bióloga pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Mestra em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutora em Recursos Naturais pela UFCG.

Luiz Fernando de Oliveira Coelho

Graduado em Gestão Ambiental pela Universidade Estácio de Sá (UNESA). Técnico em Química pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestre em Sistemas Agroindustriais pela UFCG.

Endereço⁽¹⁾: Rua Senador Barros de Carvalho, 204 – Nova Morada/Varzêa- Recife - PE - CEP: 50980-755 - Brasil - Tel: (84) 981537047 - e-mail: naednamseng@gmail.com

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar o potencial tóxico do lixiviado gerado em um aterro sanitário do Semiárido Brasileiro, utilizando sementes vegetais. Para isso, foram coletadas mensalmente, durante os meses de novembro/2022 a maio/2023, amostras de lixiviado bruto no aterro denominado Unidade Sousa de Tratamento de Resíduos, situado no município de Sousa, Paraíba, Brasil. Posteriormente as coletas, o lixiviado foi caracterizado por meio de ensaios físico-químicos (condutividade elétrica, pH) e testes de fitotoxicidade usando sementes de *Lactuca sativa* (alface). De acordo com resultados, observou-se que o lixiviado apresentou efeito tóxico a espécie de semente estudada, tanto na sua forma diluída como também na bruta. Além disso, o lixiviado apresentou toxicidade gradativa, ou seja, com o aumento da concentração de lixiviado houve uma redução nos índices de germinação e o crescimento relativo das raízes, a qual pode estar associada a presença de sais em maiores teores nas amostras analisadas. Portanto, para que seja minimizado os impactos no meio ambiente, esse efluente não pode ser lançado diretamente em corpos receptores sem um tratamento prévio.

PALAVRAS-CHAVE: Fitotoxicidade, *Lactuca sativa*, Semiárido, Meio ambiente.



INTRODUÇÃO

O lixiviado de aterro sanitário contém uma coloração escura, odor desagradável e diversos poluentes e/ou contaminantes que podem ser categorizados em quatro grupos principais: matéria orgânica dissolvida, matéria inorgânica dissolvida, metais pesados e compostos xenobióticos (Babaei; Sabour; Movahed, 2021). Em virtude disso, esse subproduto aquoso é considerado altamente tóxico (Abunama; Othman; Nilam, 2021), de composição complexa e heterogênea, e o seu lançamento no meio ambiente, sem um tratamento eficiente, pode causar a degradação de cursos d'água, do solo e problemas à saúde pública.

Quanto a avaliação toxicológica do lixiviado de aterro, convencionalmente, é baseada na identificação de contaminantes individuais por meio de análises químicas. Porém, apenas essa abordagem não é suficiente para detectar os agentes tóxicos e não revela as interações complexas existentes entre esses poluentes (Ghosh; Thakur; Kaushik, 2017). Como maneira de complementar as análises químicas de rotina, o uso de bioensaios é vantajoso e tem se tornado uma ferramenta popular e poderosa no campo da ecotoxicologia ambiental (Mañas; Heras, 2018), pois avalia o potencial tóxico de compostos/substâncias desconhecidas, misturas de produtos químicos ou amostras de composição complexa, por exemplo, resíduos e efluentes, integrando os seus efeitos sinérgicos, antagonísticos ou aditivos (Arunbabu; Indu; Ramasamy, 2017).

Dentre os testes ecotoxicológicos disponíveis e estudados, os que avaliam a toxicidade em sementes vegetais (ensaios fitotoxicidade) apresentam respostas fitotóxicas confiáveis (Ghosh; Thakur; Kaushik, 2017). No Brasil, esses ensaios ainda são escassos, principalmente em aterros sanitários do Semiárido. Desse modo, a avaliação dos danos do lixiviado em espécies vegetais específicas evita e previne a sua toxicidade severa e contínua, bem como é uma necessidade ambiental, sendo uma forma rápida e segura de analisar os riscos que o lixiviado pode causar à vegetação aquática e terrestre (Gomes, 2022).

Nesse contexto, a análise do potencial tóxico do lixiviado gerado em aterros sanitários utilizando sementes vegetais, justifica-se por ser um método simples, sensível, de baixo custo e eficaz, que apresenta resultados confiáveis, sendo uma importante ferramenta do ponto de vista ambiental, econômico e de saúde pública.

Portanto, o presente estudo se torna relevante pelo fato de contribuir com os meios técnico-científico e ambiental, visto que os resultados servirão de base para a criação de um banco de dados que poderá ser utilizado para traçar estratégias e tomar decisões de gestão em aterros sanitários, tais como: (i) otimizar a operação e prevenir danos ao meio ambiente e à saúde pública; (ii) auxiliar na escolha e no dimensionamento da técnica ou sistema de tratamento de lixiviado a ser adotado, sobretudo em municípios situados no Semiárido Brasileiro; e (iii) pressupor os potenciais impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana, caso ocorra lançamento inadequado de lixiviado em corpos receptores. Adicionalmente, também, pode ser utilizado para o desenvolvimento de pesquisas mais aprofundadas sobre a temática abordada. Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi analisar o potencial tóxico do lixiviado bruto gerado no aterro sanitário em Sousa-PB, utilizando como bioindicadores sementes vegetais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Localização do campo experimental

A área de estudo desta pesquisa foi o Aterro Sanitário denominado de Unidade Sousa de Tratamento de Resíduos LTDA - ME (USTR), localizado no município de Sousa, Paraíba, Brasil (Figura 1). A USTR encontra-se situada na Zona Rural de Sousa-PB, especificamente, na Rodovia PB 384, Km 10, no Sítio São Lourenço. Esse Aterro teve sua operação iniciada no mês de julho de 2014 e é administrado pela empresa Trash – Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos LTDA.

O município de Sousa-PB, bem como a USTR, está englobado na área de abrangência do Semiárido Brasileiro, região caracterizada por apresentar: (i) precipitação pluviométrica média anual da ordem de 800 mm; (ii) índice de aridez de até 0,50; (iii) risco de seca ou prolongamento da estação seca, de um ano para outro, maior que 60% (INSA, 2024). Em relação aos recursos hídricos, o referido município encontra-se

inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu. Sua vegetação é composta basicamente por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. O clima é do tipo Tropical Semiárido, com chuvas de verão e período chuvoso compreendendo normalmente os meses de novembro a abril (CPRM, 2005).

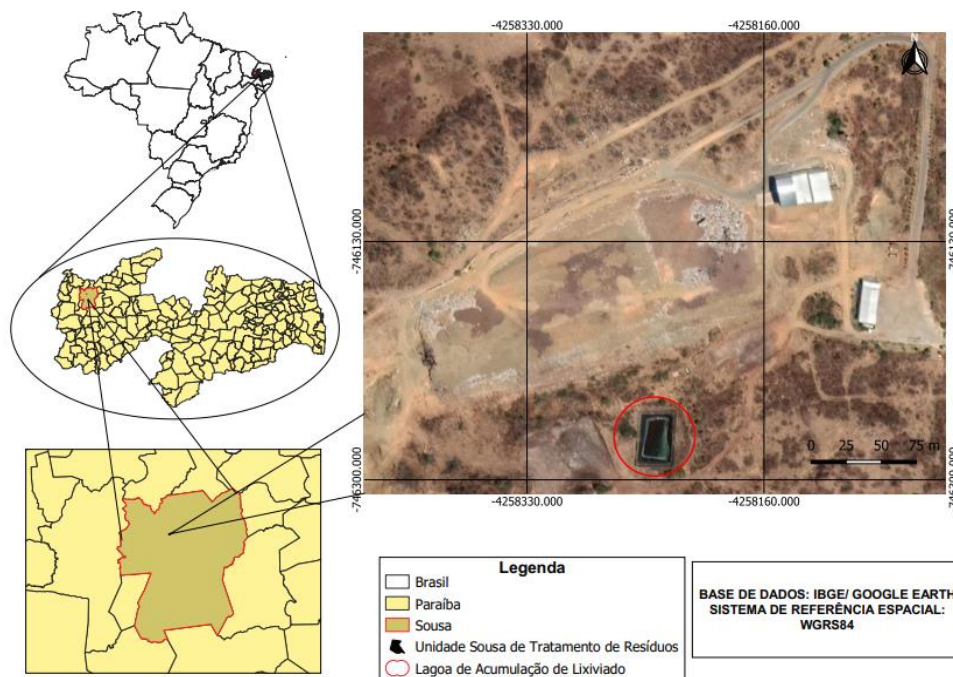


Figura 1: Localização do Aterro Sanitário em Sousa-PB

Coletas de lixiviado

O lixiviado bruto utilizado nos ensaios físico-químicos e nos testes de fitotoxicidade foi coletado em um poço de visita de concreto pré-moldado que recebia todo o afluente resultante da biodegradação dos RSU aterrados na USTR. As coletas foram realizadas com frequência mensal, durante os meses Novembro/2022 a Maio/2023, seguindo as recomendações da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2011).

Ensaio físico-químicos

As amostras de lixiviado bruto foram transportadas para o LAAg, no qual realizaram dos ensaios físico-químicos mostrados no Tabela 1, conforme os métodos preconizados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2017).

Tabela 1: Indicadores físico-químicos analisados no lixiviado

Indicador (Unidade)	Frequência	Método analítico	Referência
CE (mS.cm ⁻¹)	Mensal	Método instrumental (2510 B)	APHA, AWWA e WEF (2017)
pH (adimensional)	Mensal	Eletrométrico (4500H ⁺)	

Testes de Fitotoxicidade

O comportamento dos efeitos fitotóxicológicos do lixiviado foi determinado usando sementes de *Lactuca sativa* (alface), seguindo adaptações metodológicas de Colombo *et al.* (2019).



Assim, inicialmente, as sementes de *L. sativa* passaram por uma seleção e aquelas com danos aparentes foram descartadas. Seguidamente, 10 sementes foram distribuídas em diferentes placas de Petri (Ø 100 mm) contendo uma dupla camada de papel de filtro de café, em triplicata. Depois disso, os papéis de filtro foram umedecidos com 9 mL de lixiviado, nas concentrações (v/v) de 0 (amostra controle), 2, 4, 8, 16, 32 e 100 % (Gomes, 2022). As diluições do lixiviado foram feitas com água destilada, a mesma utilizada nas amostras controle. Posteriormente, as placas foram envolvidas por plástico filme para reduzir a perda de umidade interna e colocadas em incubadora do tipo B.O.D, a 20 ± 2 °C, sob ausência de luz, durante 120 h. Nas Figuras 2 e 3, mostram-se as etapas do teste de fitotoxicidade.



Figura 2: Diluições do lixiviado com água destilada

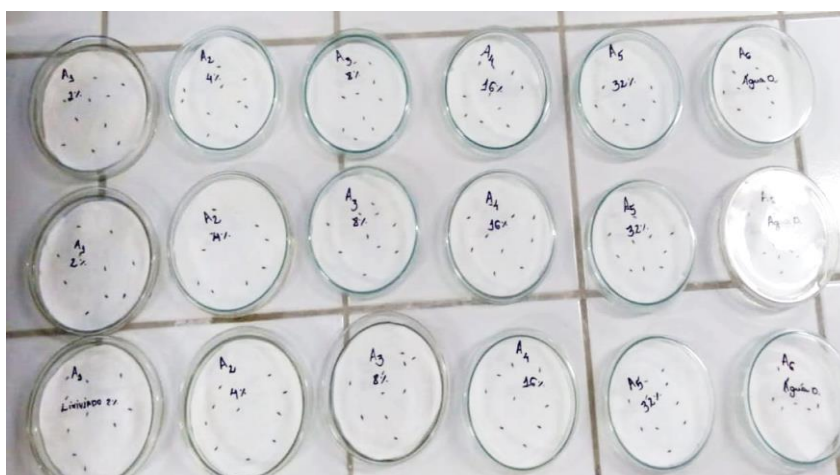


Figura 3: Sementes de alface devidamente distribuídas nas placas de Petri

Finalizado o período de incubação, foram realizadas a quantificação do número de sementes germinadas e a medição do comprimento das raízes das sementes de *L. sativa* utilizando uma régua graduada. A partir dessas contabilizações e medições, a Germinação Relativa das sementes (GR), o Crescimento Relativo das Raízes (CRR) e o Índice de Germinação (IG) foram calculados pelas equações 1, 2 e 3 (PINHO *et al.*, 2017; COLOMBO *et al.*, 2019):

$$GR (\%) = \frac{NSGA}{NSGC} \times 100 \quad (1)$$

$$CRR (\%) = \frac{MCRA}{MCRC} \times 100 \quad (2)$$

$$IG (\%) = \frac{GRS \times CRR}{100} \quad (3)$$



Em que:

GR: Germinação Relativa das sementes (%);

CRR: Crescimento Relativo das Raízes (%);

IG: Índice de Germinação (%);

NSGA: Número de Sementes Germinadas na Amostra;

NSGC: Número de Sementes Germinadas no Controle;

MCRA: Média do Comprimento da Raiz na Amostra (cm);

MCRG: Média do Comprimento da Raiz no Controle (cm).

A eclosão da radícula igual ou superior a 0,50 cm foi considerada como critério de germinação e crescimento da raiz (USEPA, 1996; Budi *et al.*, 2016), sendo, dessa maneira, incluídos nos cálculos da GR e do CRR. O IG foi calculado para classificar qualitativamente o grau de fitotoxicidade dos lixiviados analisados, conforme exposto na Tabela 2.

Tabela 2: Classificação qualitativa do grau de fitotoxicidade em função do IG

Índice de Germinação (IG)	Grau de fitotoxicidade
> 80%	Sem fitotoxicidade
60% < IG < 80%	Leve
40% < IG < 60%	Forte
< 40%	Severa

Fonte: Adaptado de Pinho *et al.* (2017)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização físico-química do lixiviado

As características físico-químicas das amostras de lixiviado bruto estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Caracterização físico-química do lixiviado

Indicador	Lixiviado					
	Nov/22	Jan/23	Fev/23	Mar/23	Abr/23	Mai/23
pH (adimensional)	8,29	7,95	7,44	7,68	8,31	8,10
CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	11.200	7.605	8.345	10.540	6.580	11.050

Fonte: Autoria própria (2023)

Com base nos dados apresentados na Tabela 3, verifica-se que o pH do lixiviado oscilou entre 7,44 e 8,31. Nota-se neste estudo um pH básico em todos os meses monitorados (Tabela 3), com uma média de 7,96. Esse resultado sugere que há uma aceleração na degradação dos resíduos sólidos urbanos depositados na USTR, visto que, o referido Aterro Sanitário tem apenas 9 anos de operação, indicando que o processo de digestão anaeróbia pode estar na fase metanogênica.

Observou-se na Tabela 3 que o valor mínimo para condutividade elétrica foi de 6.580,00 $\mu\text{S cm}^{-1}$ e o máximo 11.200,00 $\mu\text{S cm}^{-1}$, apresentando uma média de 9.220,00 $\mu\text{S cm}^{-1}$. No mês de Novembro/22 a CE do lixiviado foi maior em relação aos demais meses da referida pesquisa. De acordo com Rodrigues *et al.* (2013), o mês de novembro é o que apresenta maior temperatura, cerca de 28,5 °C, no município de Sousa-PB, sendo assim, a evaporação da água do lixiviado pode ter contribuído para elevar a concentração de sais no lixiviado, e, conseqüentemente, aumento da CE. A CE e concentração de sais presentes no lixiviado do aterro estão inteiramente associados, já que os sais contribuem para elevar a condutividade do meio (Texeira *et al.*, 2017).



Segundo Rodrigues *et al.* (2013), o período chuvoso do município de Sousa-PB ocorre entre os meses Janeiro a Junho. Observou-se que em Março/2023 e Maio/2023 houve ausência de chuvas no período da coleta, justificando assim, uma condutividade elétrica elevada comparada aos meses de Janeiro e Fevereiro de 2023.

Os resultados da GRS, do CRR e do IG determinados para o lixiviado, nos meses Novembro/2022 a Maio/2023, encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4: Valores de GRS, CRR e IG para as sementes de *Lactuca sativa*

Mês	Concentrações	GRS	CRR	IG (%)
Nov/22	0% (Branco)	100	100	100
	2%	100	90,95	90,95
	4%	100	94,57	94,57
	8%	100	91,26	91,26
	16%	93,33	52,82	49,3
	32%	96,67	14,18	13,71
Jan/23	0% (Branco)	100	100	100
	2%	107,41	110,20	118,37
	4%	111,11	117,23	130,26
	8%	100	108,74	108,74
	16%	81,48	38,43	31,31
	32%	37,04	14,85	5,5
	100%	0	0	0
Fev/23	0% (Branco)	100	100	100
	2%	100	100,79	100,78
	4%	93,33	105,73	98,68
	8%	100	114,52	114,52
	16%	96,67	90,53	87,51
	32%	93,33	101,72	94,94
	100%	93,33	27,17	25,36
Mar/23	0% (Branco)	100	100	100
	2%	96,67	108,36	104,74
	4%	96,67	113,64	109,85
	8%	100	111,93	111,93
	16%	93,33	82,57	77,07
	32%	66,67	14,67	9,78
	100%	0	0	0
Abr/23	0% (Branco)	100	100	100
	2%	115,38	86,10	99,35
	4%	115,38	105,77	122,04
	8%	111,54	90,73	101,19
	16%	115,38	101,06	116,61
	32%	96,15	48,50	46,63
	100%	0	0	0
Maio/23	0% (Branco)	100	100	100
	2%	100	135,46	135,46
	4%	100	139,82	139,82
	8%	100	128,86	128,86



	16%	96,67	100,44	100,44
	32%	33,33	14,03	14,03
	100%	0	0	0

De modo geral, conforme mostrado na Tabela 4, a GRS de alface nas concentrações de 2% a 32% variou de 33,33 a 115,38%. Observando o CRR das referidas sementes, nota-se valores entre 14,03 e 139,82%, os quais apresentaram um comportamento decrescente à medida que as concentrações de lixiviado aumentaram. Pode-se perceber que até a concentração de 8% de lixiviado, os índices de CRR foram bem próximos, e, a partir de 16%, houve um decaimento e a total inibição do CRR (100% de lixiviado). Os principais poluentes do lixiviado que podem inibir o crescimento das raízes das sementes das plantas são o excesso de salinidade, nitrogênio amoniacal e metais pesados (Gomes, 2022).

É possível observar que em todos os meses, exceto em Fevereiro/2023, os bioindicadores apresentaram IG abaixo de 80% nas concentrações de 16 e 32%, indicando que o lixiviado mostrou ter efeitos fitotóxicos para a variedade de alface estudada. Dando ênfase para o mês de Janeiro/2023, percebeu-se percentuais de IG iguais a 5,5 e 0%, se encaixando na classe severa de toxicidade, conforme Pinho *et al.* (2017). Esse resultado pode indicar a forte presença de íons dissolvidos e o alto índice de poluição desse efluente.

CONCLUSÕES

- A utilização da *Lactuca Sativa* (alface), da variedade Delícia Americana, como bioindicador em ensaios de fitotoxicidade, mostrou-se eficiente na determinação da toxicidade do lixiviado, apresentando valores confiáveis e gradativos nos tratamentos estudados.
- Os níveis de germinação e o crescimento relativo das raízes diminuíram à medida que a concentração do lixiviado aumentou nas diluições, sendo os meses de Janeiro/2023 e Fevereiro/2023, respectivamente, os que apresentaram uma maior e menor fitotoxicidade as sementes.
- O lançamento desse efluente em corpos de água sem tratamento prévio pode causar toxicidade ao meio ambiente e à saúde pública.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABUNAMA, T.; OTHMAN, F.; NILAM, T. I. T. Comparison of landfill leachate generation and pollution potentials in humid and semi-arid climates. **International Journal of Environment and Waste Management**, v. 27, n. 1, p. 79-92, 2021.
2. APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed. Washington: APHA, 2017, 1203 p.
3. ARUNBABU, V.; INDU, K. S.; RAMASAMY, E. V. Leachate pollution index as an effective tool in determining the phytotoxicity of municipal solid waste leachate. **Waste Management**, v. 68, p. 329-336, 2017.
4. BABAEI, S.; SABOUR, M. R.; MOVAHED, S. M. A. Combined landfill leachate treatment methods: an overview. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 42, p. 59594-59607, 2021.
5. BRITO, R. A. **Ozonização catalítico do chorume proveniente do aterro de Cachoeira Paulista – SP na presença de ferro em sistema contínuo**. 2014, 129p.
6. BUDI, S. *et al.* Toxicity identification evaluation of landfill leachate using fish, prawn and seed plant. **Waste Management**, v. 55, p. 231-237, 2016.
7. COLOMBO, A. *et al.* Toxicity evaluation of the landfill leachate after treatment with photo-Fenton, biological and photo-Fenton followed by biological processes. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, v. 54, n. 4, p. 269-276, 2019.



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



8. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Guia nacional de coleta e preservação de amostras:** água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo: CETESB, 2011, 327 p.
9. GOMES, N. A. **Tratamento de lixiviado de Aterro Sanitário utilizando torre de air stripping e adsorção em leito fixo.** 2022. 208 fls. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2022.
10. GHOSH, P.; THAKUR, I. S.; KAUSHIK, A. Bioassays for toxicological risk assessment of landfill leachate: A review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 141, p. 259-270, 2017.
11. INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO (INSA). **O semiárido brasileiro.** 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/rede-mcti/insa/semiarido-brasileiro>>. Acesso em: 01 de jun. 2024.
12. MAÑAS, P.; HERAS, J. L. Phytotoxicity test applied to sewage sludge using *Lactuca sativa* L. and *Lepidium sativum* L. seeds. **International journal of environmental science and technology**, v. 15, n. 2, p. 273-280, 2018.
13. PINHO, I. A. *et al.* Phytotoxicity assessment of olive mill solid wastes and the influence of phenolic compounds. **Chemosphere**, v. 185, p. 258-267, 2017.
14. RODRIGUES, Luiz C. de A. *et al.* Fitotoxicidade e citogenotoxicidade da água e sedimento de córrego urbano em bioensaio com *Lactuca sativa*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 10, p. 1099-1108, 12 jul. 2013.
15. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Ecological effects test guidelines:** OPPTS 850.4200 seed germination/root elongation toxicity test, 1996, 8 p.