

# **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CERRO LARGO**

**2015**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL - UFFS**

**AVALIAÇÃO DA FITOTOXICIDADE E DA  
BIODEGRADABILIDADE DE UM LIXIVIADO DE  
ATERRO SANITÁRIO TRATADO POR FOTO-  
FENTON INDUZIDO POR FERRICITRATO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**JÚLIA BITENCOURT WELTER**

**CERRO LARGO – RS**

**2015**

**JÚLIA BITENCOURT WELTER**

**AVALIAÇÃO DA FITOTOXICIDADE E DA BIODEGRADABILIDADE DE UM  
LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO TRATADO POR FOTO-FENTON  
INDUZIDO POR FERRICITRATO**

Trabalho apresentado à Universidade Federal da Fronteira Sul, como parte das exigências do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, para a obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Diego Ricieri Manenti

CERRO LARGO - RS

2015

**AVALIAÇÃO DA FITOTOXICIDADE E DA BIODEGRADABILIDADE DE UM  
LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO TRATADO POR FOTO-FENTON  
INDUZIDO POR FERRICITRATO**

Trabalho apresentado à Universidade Federal da Fronteira Sul, como parte das exigências do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, para a obtenção do título de Engenheira Ambiental.

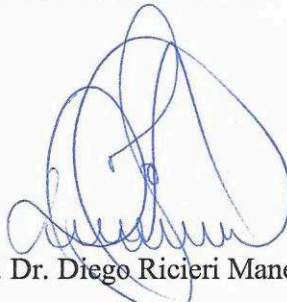
Aprovado em 01 de dezembro de 2015



Prof. Msc. Patrícia Simões Carraro de Souza – UNIOESTE/Toledo - PR



Prof. Dr. Daniel Joner Daroit – UFFS/Cerro Largo - RS



Prof. Dr. Diego Ricieri Manenti

Orientador

CERRO LARGO – RS

2015

*Aos meus pais, pois sem sua  
compreensão, amor e confiança  
nada teria sido possível.*

***Dedico***

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade da vida e por guiar meu caminho.

Aos meu pais, Roque A. Welter e Inês R. Bitencourt de Oliveira, que sempre acreditaram em mim e não mediram esforços para que eu alcançasse meus objetivos.

Ao meu parceiro, amigo e colega, Eduardo H. Rotta pelo amor, compreensão e companheirismo, além da troca de conhecimentos e auxílio nos momentos difíceis.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Diego Ricieri Manenti, pela confiança no desenvolvimento deste trabalho, além das horas dedicadas às dúvidas e por todo o conhecimento compartilhado.

A todos os professores do curso de Engenharia Ambiental pela atenção, disponibilidade e pelos ensinamentos que serviram de base para o desenvolvimento deste trabalho.

Às amigas Caroline Karnikowski e Isabela Mumbach pela amizade sincera e duradoura e por estarem sempre presentes na minha vida.

Às colegas e amigas Adeli Braun, Cíntia Kaufmann, Daiana Seibert e Elisa Soares que me apoiaram e estiveram ao meu lado nesta caminhada, me auxiliando nas dificuldades encontradas e fazendo os momentos de estudo mais divertidos.

À voluntária na pesquisa, Michely Schmitz, pelo auxílio nos experimentos.

À toda equipe técnica, administrativa e direção da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, *Campus* Toledo - PR, pela disponibilidade da Central Analítica.

À minha família e aos amigos que estiveram ao meu lado me apoiando e torcendo por mim.

*Meus agradecimentos*

## SUMÁRIO

<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>iii</b>
<b>Lista de Tabelas.....</b>	<b>iv</b>
<b>Lista de Símbolos e Abreviaturas.....</b>	<b>v</b>
<b>Resumo.....</b>	<b>vi</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>vii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>10</b>
2.1. Objetivo geral .....	10
2.2. Objetivos específicos .....	10
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
3.1. Problemática ambiental do lixiviado de aterro sanitário .....	11
3.2. Técnicas de tratamento do Lixiviado de Aterro Sanitário .....	15
3.3. Processos Oxidativos Avançados – POA’s .....	18
3.3.1. Reação foto-Fenton.....	19
3.3.2. Integração de técnicas de tratamento.....	20
3.4. Testes de biodegradabilidade.....	21
3.5. Testes de toxicidade.....	23
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>26</b>
4.1. Amostras, reagentes, solventes e soluções .....	26
4.2. Procedimento experimental .....	27
4.3. Determinações analíticas .....	29
4.4. Ensaio biológicos .....	30
4.4.1. Ensaio de fitotoxicidade aguda com <i>Lactuca sativa</i> .....	30

4.4.2. Testes Zahn-Wellens de biodegradabilidade.....	33
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>36</b>
5.1. Caracterização do LAS.....	36
5.2. Experimento foto-Fenton-ferricitrato .....	37
5.3. Avaliação da fitotoxicidade .....	39
5.3.1. Índice de Germinação.....	39
5.3.2. Germinação Absoluta .....	40
5.3.3. Germinação Relativa .....	43
5.3.4. Crescimento e Inibição do Crescimento Relativo do Hipocótilo .....	44
5.3.5. Crescimento e Inibição do Crescimento Relativo da Radícula .....	46
5.3.6. Análise da CL <sub>50</sub> .....	48
5.4. Avaliação da biodegradabilidade.....	49
<b>6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....</b>	<b>52</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>53</b>
<b>Apêndice A .....</b>	<b>60</b>
<b>Apêndice B.....</b>	<b>78</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Fluxograma das etapas da biodegradação. ....	14
Figura 4.1. Sistema fotocatalítico. ....	27
Figura 4.2. Representação esquemática do teste de fitotoxicidade. ....	31
Figura 4.3. Realização do teste de fitotoxicidade. ....	32
Figura 5.1. Perfis de degradação do COD e dos compostos aromáticos, bem como a concentração de íons ferro dissolvido, a temperatura e o pH da solução durante a reação ferricitrato. ....	37
Figura 5.2. Índice de Germinação. ....	40
Figura 5.3. Porcentagem de Germinação Absoluta. ....	41
Figura 5.4. Relação entre a Germinação Absoluta em concentração de 30% e a concentração de ferro dissolvido nas amostras. ....	42
Figura 5.5. Relação entre a Germinação Absoluta na concentração de 30% e a concentração de carbono orgânico dissolvido das amostras. ....	43
Figura 5.6. Deposição de pigmentos amarronzados nas plântulas. ....	43
Figura 5.7. Porcentagem de Germinação Relativa. ....	44
Figura 5.8. Porcentagem de inibição do crescimento relativo do hipocótilo. ....	45
Figura 5.9. Crescimento Relativo do Hipocótilo. ....	45
Figura 5.10. Influência do ferro dissolvido no crescimento relativo hipocótilo. ....	46
Figura 5.11. Inibição do Crescimento Relativo da Radícula. ....	47
Figura 5.12. Crescimento Relativo da Radícula. ....	47
Figura 5.13. Curvas de comparação da CL <sub>50</sub> com a redução dos parâmetros físico-químicos. ....	49
Figura 5.14. Relação DBO <sub>5</sub> /DQO das amostras tratadas por ferricitrato. ....	50
Figura 5.15. Porcentagem de biodegradação (D <sub>t</sub> ). ....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Técnicas de tratamento de lixiviado de aterro sanitários e suas respectivas aplicações.....	16
Tabela 3.2. Estudos realizados com diferentes técnicas para tratamento de lixiviado de aterro sanitário e seus respectivos autores. ....	17
Tabela 3.3. Estudos realizados sobre ensaios de biodegradabilidade.....	22
Tabela 3.4. Estudos realizados sobre ensaios de toxicidade.....	25
Tabela 5.1. Caracterização do LAS bruto.....	36
Tabela 5.2. Caracterização das amostras .....	38
Tabela 5.3. Concentração letal para 50% dos organismos. ....	48

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

$\cdot O_2H$	Radical hidroperoxila
$\cdot OH$	Radical Hidroxila
<i>ABNT</i>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<i>CENO</i>	Concentração de Efeito Não-Observado
<i>CEO</i>	Concentração de Efeito Observado
<i>CI<sub>50</sub></i>	Concentração de Inibição para causar a morte de 50% dos organismos
<i>CL<sub>50</sub></i>	Concentração Letal para 50% dos organismos
<i>COD</i>	Carbono Orgânico Dissolvido
<i>CONAMA</i>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<i>CONSEMA</i>	Conselho Estadual do Meio Ambiente
<i>CPC</i>	Coletor Parabólico Concentrador
<i>CRH</i>	Crescimento Relativo do Hipocótilo
<i>CRR</i>	Crescimento Relativo da Radícula
<i>CTR</i>	Central de Tratamento de Resíduos
<i>D<sub>t</sub></i>	Porcentagem de biodegradabilidade
<i>ETES</i>	Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário
<i>GA</i>	Germinação Absoluta
<i>GR</i>	Germinação Relativa
<i>ICRH</i>	Inibição do Crescimento Relativo do Hipocótilo
<i>ICRR</i>	Inibição do Crescimento Relativo da Radícula
<i>IG</i>	Índice de Germinação
<i>LAS</i>	Lixiviado de Aterro Sanitário
<i>NBR</i>	Norma Brasileira Regulamentadora
<i>OECD</i>	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
<i>PERS</i>	Plano Estadual de Resíduos Sólidos
<i>PNRS</i>	Política Nacional de Resíduos Sólidos
<i>POA</i>	Processos Oxidativos Avançados
<i>RSU</i>	Resíduo Sólido Urbano
<i>USEPA</i>	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

## RESUMO

Júlia Bitencourt Welter. Avaliação da fitotoxicidade e da biodegradabilidade de um lixiviado de aterro sanitário tratado por foto-Fenton induzido por ferricitrato.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a toxicidade e a biodegradabilidade de amostras de um lixiviado de aterro sanitário (LAS) tratado pela reação ferricitrato. Para isto, utilizando um fotoreator de escala laboratorial, em sistema batelada, foi aplicada uma reação ferricitrato com o pH da solução 6,0 e 100 mg de Fe L<sup>-1</sup> (1:3 de Fe:ácido cítrico) e retiradas amostras ao longo do tratamento para posteriores ensaios fitotóxicos e de biodegradabilidade. A biodegradabilidade foi avaliada através de ensaios realizados em conformidade com o teste Zahn-Wellens. A fitotoxicidade foi analisada a partir de testes de germinação aplicados à *Lactuca sativa*, através da diluição das amostras tratadas em diferentes concentrações, tendo como variáveis-resposta o índice de germinação (IG), as germinações absoluta e relativa (GA e GR), os crescimentos relativos do hipocótilo e da radícula (CRH e CRR) bem como suas inibições (ICRH e ICRR). Além disto, foram calculadas as concentrações letais a 50% dos organismos testados (CL<sub>50</sub>). Nestas condições, foram obtidas respostas significativas de redução dos compostos orgânicos tais como a DQO, DBO, COD e absorvância a 254 nm, bem como melhoria nas condições de biodegradabilidade (DBO/DQO) confirmadas pelos ensaios. Segundo os testes Zahn-Wellens, o LAS bruto é constituído por uma pequena parcela de compostos biodegradáveis em relação a DBO/DQO (0,18), o que pode ser melhorado ao longo do tratamento ferricitrato, alcançando uma relação de cerca de 0,26 após cerca de 64 mM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> consumido. Contudo, os testes de fitotoxicidade confirmaram os benefícios da reação ferricitrato na oxidação de compostos inicialmente tóxicos (CL<sub>50</sub> ≈ 15%), uma vez que a CL<sub>50</sub> evolui para ≈ 53%.

**Palavras-chave:** Tratamento de águas residuárias, Ensaio biológico, Fitotoxicidade, Biodegradabilidade, Lixiviado de aterro sanitário.

## ABSTRACT

Júlia Bitencourt Welter. Assessment of phytotoxicity and biodegradability assays of a sanitary landfill leachate treated by photo-Fenton-ferrictrate.

The phytotoxicity and biodegradability of the sanitary landfill leachate (SLL) samples treated by the ferrictrate reaction were evaluated. Thus, using the lab-scale photoreactor based on the batch system, an ferrictrate reaction with pH of the solution 6 and 100 mg Fe L<sup>-1</sup> (1:3 of Fe: citric acid) was performed, and samples were taken during the treatment to follow bioassays. Biodegradability was evaluate by Zahn-Wellens test, while the phytotoxicity assays was performed using the *Lactuca sativa* germinations. Using different dilutions, variables responses such as germination index (GI), absolute and relative germination (AG and RG), relative growth of the hypocotyl and radicle (RGH and RGR) as well as its inhibitions (IRGH and IRGR); were analyzed. In addition, lethal concentrations of 50% tested organisms was calculated (LC<sub>50</sub>). In such conditions, good responses of COD, BOD, DOC and absorbance at 254 nm reductions were obtained, as well as biodegradability conditions were increased (BOD/COD) confirmed by the biodegradability assays. According to the Zahn-Wellens test, the untreated SLL consist in a low portion of biodegradability compounds in terms of BOD/COD ratio (0.18), which can be increased during the ferrictrate treatment, leading a  $\approx 0.26$  ratio after  $\approx 64$  mM of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> consumed. However, the benefits of chemical oxidation of toxic compounds (LC<sub>50</sub>  $\approx 15\%$ ) was confirmed by the phytotoxicity assays, once that the LC<sub>50</sub> increase to  $\approx 53\%$ .

**Keywords:** Wastewater treatment, Bioassays, Phytotoxicity, Biodegradability, Sanitary landfill leachate.

## 1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento populacional associado ao desenvolvimento econômico e industrial promove um aumento nas taxas de consumo e, conseqüentemente, da produção de resíduos sólidos urbanos (RSU). Recentemente, uma série de graves incidentes de poluição com grande repercussão, associadas principalmente a má gestão de resíduos, vêm sendo noticiadas aumentando a preocupação dos gestores públicos (Giusti, 2009; Ahmed e Lan, 2012).

No Brasil foi instituída a Política Nacional dos Resíduos Sólidos-PNRH (Lei Federal nº 12.305/2010) a qual propõe como disposição adequada dos RSU os aterros sanitários. Embora existam práticas que reduzam o volume de resíduos destinados aos aterros sanitários, há ainda geração de chorume ou lixiviado de forma inevitável, principalmente devido à percolação da água da chuva através dos resíduos e dos produtos da sua decomposição (Deng e Englehardt, 2006; Silva *et al.*, 2013a; Silva *et al.*, 2013b; Amor *et al.*, 2015).

Os lixiviados de aterro sanitário (LAS) são caracterizados como uma mistura complexa de contaminantes orgânicos e inorgânicos refratários e recalcitrantes que geralmente apresentam toxicidade aguda e crônica, tais como hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, pesticidas, produtos farmacêuticos, hormônios, metais pesados e ácidos húmicos e fúlvicos. Sendo assim, necessitam de tratamento antes de serem despejados no meio ambiente (Deng e Englehardt, 2006; Silva *et al.*, 2013a; Silva *et al.*, 2013b; Amor *et al.*, 2015).

Atualmente, diversas técnicas têm sido aplicadas para o tratamento do LAS, e dentre elas os processos oxidativos avançados (POA) têm-se destacado. Estes caracterizam-se essencialmente pela transformação de poluentes orgânicos em dióxido de carbono, água e ânions inorgânicos através de uma série de reações químicas de degradação envolvendo agentes oxidantes, tal como o radical hidroxila ( $\cdot\text{OH}$ ). Os POA's apresentam inúmeras vantagens, tais como a mineralização do poluente, fragmentação de compostos refratários e recalcitrantes a outros tratamentos, redução potencial da geração de lodo, são de possível integração com outros processos, altas velocidades de reação, consomem menos energia, requer menor área de implantação e possibilita tratamento *in situ* (Deng e Englehardt, 2006; Silva *et al.*, 2013a; Oliveira, 2013; Manenti, 2013; Amor *et al.*, 2014).

Dentre os POA's, o processo foto-Fenton vem sendo amplamente estudado e aplicado no tratamento de LAS. Seu mecanismo de atuação é a combinação do processo Fenton com radiação UV-Vis. O processo resume-se na regeneração do  $\text{Fe}^{2+}$  pela reação com o peróxido de hidrogênio em excesso, gerando  $\cdot\text{OH}$  com alto poder oxidante. Ainda que seja uma técnica bastante eficaz, há geração de sub-produtos tóxicos durante a reação. Sendo assim, testes de toxicidade e de biodegradabilidade devem ser realizados a fim assegurar que o efluente tratado esteja isento desses poluentes e conseqüentemente de causar danos ao meio ambiente (Oller, 2011; Manenti, 2013).

Ainda, Oller (2011) afirma que muitas vezes os POA's podem ser aplicados como pré-tratamento do efluente em estudo, uma vez que tratamentos biológicos muitas vezes não são satisfatórios para atender às exigências legais. Por este motivo, são realizados testes de biodegradabilidade e toxicidade a fim de garantir que não haja mais presença de compostos recalcitrantes e tóxicos, possibilitando integrar técnicas de tratamento. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a toxicidade e a biodegradabilidade de um lixiviado de aterro sanitário tratado pela reação foto-Fenton induzida por ferricitrato. Para isto, foram realizados ensaios de germinação utilizando *Lactuca sativa* como organismo-teste e ensaios Zahn-Wellens de biodegradabilidade em amostras tratadas e não tratadas do lixiviado.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Avaliar a fitotoxicidade aguda e a biodegradabilidade de um lixiviado de aterro sanitário tratado pela reação de foto-Fenton induzido por ferricitrato.

### **2.2. Objetivos específicos**

A partir dos ensaios de germinação e do teste Zahn-Wellens, pretende-se:

- Caracterizar o LAS;
- Tratar o LAS pela reação ferricitrato utilizando um protótipo de um foto-reator em sistema batelada;
- Avaliar a toxicidade aguda das amostras através da inibição do crescimento da raiz e do hipocótilo;
- Estimar a concentração letal a 50% dos organismos (CL<sub>50</sub>);
- Obter a porcentagem de biodegradabilidade das amostras tratadas.



### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1. Problemática ambiental do lixiviado de aterro sanitário**

O crescente aumento populacional associado ao desenvolvimento econômico e industrial promove o aumento nas taxas de consumo e, conseqüentemente, da produção de resíduos sólidos urbanos (RSU). Recentemente, incidentes graves de poluição com grande repercussão, associadas em parte à má gestão de resíduos, vêm sendo noticiadas aumentando a preocupação dos gestores públicos quanto a falta de legislação adequada. Com isso, inúmeros países introduzem novas legislações de controle e adequação dos resíduos gerados (Giusti, 2009; Ahmed e Lan, 2012).

No Brasil, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) através da Lei Federal nº 12.305/2010, a qual visa a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental, aprimoramento de tecnologias limpas de forma a minimizar impactos ambientais, redução de volume e periculosidade de resíduos, entre outros. Para isto executa-se a elaboração de planos de resíduos sólidos, pesquisas científicas, incentivo à coleta seletiva e sistemas de logística reversa. Ainda em esfera nacional, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) desenvolve e atualiza constantemente resoluções que norteiam as práticas relacionadas ao meio ambiente (Brasil, 2010).

Destas, pode-se salientar a Resolução CONAMA nº 357/2005, alterada e complementada pela Resolução CONAMA nº 430/2011, as quais estabelecem condições e padrões de lançamento de efluentes. Embora estes padrões sejam estabelecidos para disposição em corpo hídrico, o artigo 2º da Resolução CONAMA nº 430/2011, deixa explícito que a disposição de efluentes no solo não poderá causar poluição ou contaminação de águas subterrâneas ou superficiais. Ainda, o artigo 27 da Resolução CONAMA nº 396/2008, referente à classificação e diretrizes para enquadramento de águas subterrâneas, afirma que quando isto ocorrer, não poderão ser conferidas às águas subterrâneas características que não estejam de acordo com seu enquadramento, vetando esta prática quando as águas pertencerem à Classe Especial. Independentemente de a disposição ser em corpo hídrico ou no solo, ambas deverão ser precedidas de plano específico e programa de monitoramento da qualidade da

água a ser aprovado pelo órgão ambiental competente (Brasil, 2005; Rio Grande do Sul, 2006a; Rio Grande do Sul, 2006b; Brasil, 2008; Brasil, 2011).

É incumbência dos Estados desenvolver Planos Estaduais de Resíduos Sólidos (PERS) para que se tenha conhecimento do panorama atual e, através deste, desenvolver ações e metas que garantam uma gestão adequada dos resíduos sólidos. Neste contexto, deve-se observar a ordem de prioridade no que se refere à gestão e gerenciamento destes resíduos: não-geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final adequada dos rejeitos. Grande parte dos RSU não passíveis de reutilização, reciclagem ou compostagem são destinados a incineradores ou aterros sanitários (Giusti, 2009; BRASIL, 2010; Ahmed e Lan, 2012).

De acordo com Ahmed e Lan (2012), os aterros sanitários são a opção de destinação final de resíduos sólidos urbanos mais utilizados, principalmente por ser uma solução econômica. No entanto, os aterros sanitários requerem monitoramento ambiental severo e de longo prazo, desde a etapa de planejamento e operação, até após o fechamento das células, devido à produção de chorume.

McBean *et al.* (1995) explicam que a biodegradação dos RSU ocorre em três etapas com características e substratos distintos para cada uma. A primeira etapa é a decomposição aeróbica, a qual ocorre na presença de oxigênio. Nesta etapa, microrganismos aeróbicos degradam matéria orgânica à dióxido de carbono, água, compostos orgânicos parcialmente degradados e calor.

A segunda etapa, conhecida como acidogênica, fase ácida ou não-metanogênica, envolve microrganismos facultativos que ocupam o lugar dos aeróbicos à maneira em que o oxigênio se torna escasso no meio. Nesta etapa, altas concentrações de ácidos, amônia, hidrogênio e dióxido de carbono são produzidos. Com o aumento da concentração de dióxido de carbono, conseqüentemente há diminuição do pH do meio, o que ocasiona a dissolução de outros compostos orgânicos e inorgânicos. Tem-se então um lixiviado de aterro sanitário (LAS) com alta condutividade.

Por fim, a última etapa da biodegradação, conhecida como metanogênica, ocorre quando não mais houver oxigênio no meio reacional, envolvendo apenas microrganismos anaeróbicos metanogênicos. Estes microrganismos têm metabolismo lento se comparados aos anteriores e podem levar anos para degradar compostos orgânicos remanescentes. Ainda, fazem uso dos produtos da fase anterior, como por exemplo o hidrogênio e ácido acético. O

consumo de ácidos orgânicos faz com que o pH do meio reacional atinja faixas entre 7 e 8 e, com isso, o lixiviado torna-se menos agressivo quimicamente e possui menos compostos orgânicos.

Os ácidos orgânicos que não podem ser diretamente usados pelos microrganismos são convertidos a metano por uma etapa intermediária. É importante lembrar que ácidos graxos voláteis servem de substrato para bactérias acetotróficas, mas que, em altas concentrações, tornam-se tóxico. Esses microrganismos obtêm energia a partir de duas reações: (i) redução de dióxido de carbono à metano e água através da adição de hidrogênio e (ii) clivagem do ácido acético à metano e dióxido de carbono (McCarty, 1963). Nitrogênio e ácido sulfídrico podem também ser gerados nesta etapa da biodegradação, sendo o primeiro formado no processo de desnitrificação no qual o íon nitrato é reduzido enquanto o segundo é produzido pela redução do sulfato.

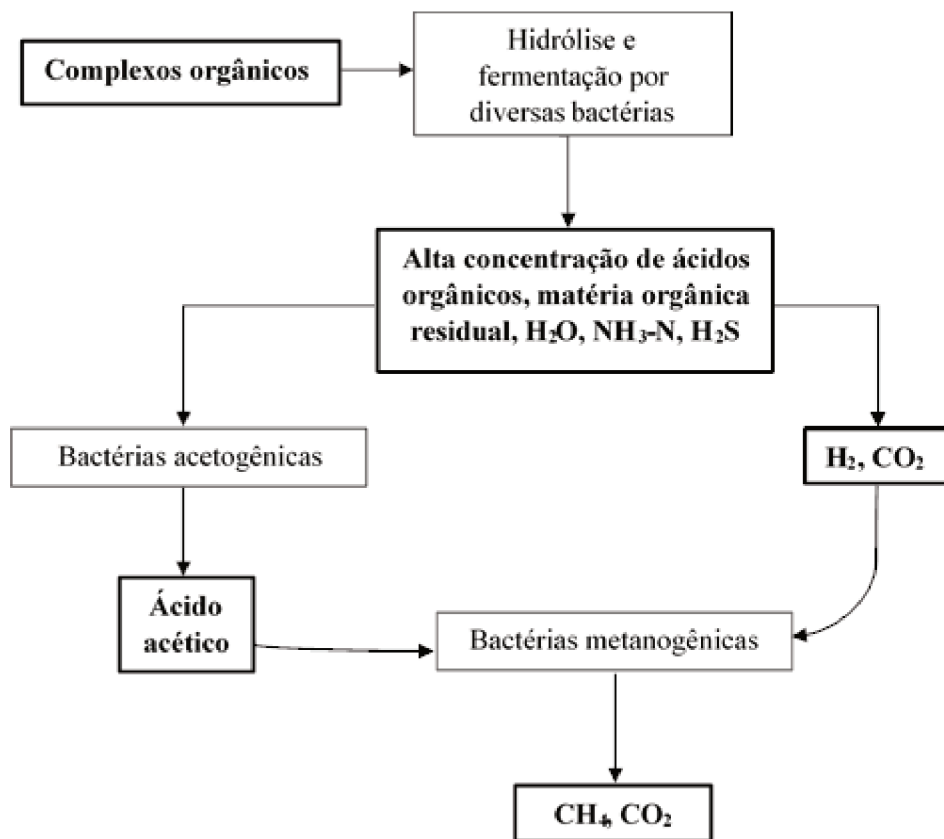
Vale ressaltar que a fase metanogênica não indica o término da fase acetogênica, uma vez que a mesma continua de forma simultânea. O que acontece é que o crescimento das bactérias metanogênicas torna-se tão alto que a taxa de consumo dos produtos finais da fase acetogênica torna-se igual a taxa de produção dos mesmos (McCarty, 1963).

Embora existam práticas que reduzam o volume de resíduos destinados aos aterros sanitários, há ainda a geração de chorume ou lixiviado, principalmente devido à percolação da água da chuva através dos resíduos e dos produtos da sua decomposição. Os LAS são caracterizados por uma mistura complexa de poluentes orgânicos e inorgânicos recalcitrantes e refratários tais como hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, pesticidas, produtos farmacêuticos, hormônios, metais pesados e ácidos húmicos e fúlvicos; que apresentam por vezes toxicidade aguda e crônica (Deng e Englehardt, 2006; Silva *et al.*, 2013a; Silva *et al.*, 2013b; Amor *et al.*, 2015).

Com o passar do tempo, o LAS passa por sucessivas etapas de estabilização e decomposição da matéria orgânica (aeróbica, acetogênica, metanogênica), alterando suas propriedades, tais como DBO<sub>5</sub>, DQO, relação DBO<sub>5</sub>/DQO, nitrogênio amoniacal e pH. De todas essas propriedades, a mais significativa é a relação DBO<sub>5</sub>/DQO, pois está diretamente relacionada à biodegradabilidade do LAS e à idade do aterro. Baixos valores nessa relação indicam aterros mais antigos e altos valores indicam aterros novos. A maior parte da matéria biodegradável deverá ser decomposta na etapa de estabilização e, por isso, a relação DBO<sub>5</sub>/DQO diminui com o tempo, uma vez que a porção não-biodegradável será mantida

inalterada. LAS estabilizados apresentam também elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal e matéria recalcitrante, como os ácidos húmicos. Os ácidos húmicos e fúlvicos são responsáveis por baixos valores na relação DBO<sub>5</sub>/DQO, uma vez que suas estruturas estão sujeitas a alterações com o passar do tempo e tornam-se mais resistentes à atividade de bactérias. Além disso, esses ácidos são responsáveis pelo transporte de poluentes hidrofóbicos (Bodzek *et al.*, 2006; Deng e Englehardt, 2006; Ahmed e Lan, 2012; Amor *et al.*, 2015).

O mecanismo da biodegradação pode ser facilmente compreendido através do fluxograma apresentado a seguir (Figura 3.1).



**Figura 3.1.** Fluxograma das etapas da biodegradação.

Quando não tratado, o LAS pode permear o solo, atingindo águas subterrâneas ou misturar-se com águas superficiais, contribuindo para a poluição destes e atingindo os ecossistemas aquáticos e comunidades vegetais constituintes das margens dos corpos hídricos. Além disso, pode causar maus odores e aerossóis, embora estes efeitos sejam temporários

(Bodzek *et al.*, 2006; Deng e Englehardt, 2006; Silva *et al.*, 2013a; Silva *et al.*, 2013b; Amor *et al.*, 2015; Ahmed e Lan, 2012).

### 3.2. Técnicas de tratamento do Lixiviado de Aterro Sanitário

Uma vez que o LAS apresenta-se como grande desafio para a comunidade científica, diversas técnicas de tratamento são estudadas, tais como processos biológicos (aeróbios e anaeróbios convencionais, *wetlands*, lagoas de estabilização e atenuação monitorada) (Kettunen *et al.*, 1996; Yabroudi *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2015), tratamentos físico-químicos (flotação, coagulação/floculação, precipitação química, adsorção, troca iônica, eletroquímicos) (Foul, 2009; Castilhos Jr *et al.*, 2010; Aziz *et al.*, 2011; Felici *et al.*, 2013), filtração por membrana (microfiltração, nanofiltração, ultrafiltração, osmose reversa) (Tsilogeorgisa *et al.*, 2007; Sir *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2013), processos oxidativos avançados (POA's) tais como O<sub>3</sub>/UV, TiO<sub>2</sub>/UV, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV, Fenton, foto-Fenton, eletro-Fenton, eletro-foto-Fenton, entre outros (Malato *et al.*, 2009; Manenti *et al.*, 2014; Lutterbeck *et al.*, 2015; Cheng *et al.*, 2015; Giannakis *et al.*, 2015; Xu *et al.*, 2015) ou a combinação destes (Bodzek *et al.*, 2006; Deng e Englehardt, 2006; Silva *et al.*, 2013a; Silva *et al.*, 2013b; Amor *et al.*, 2015;).

Estudos apontam que processos biológicos são eficazes para tratar LAS novos - correspondentes à aterros com menos de 5 anos - com altos valores na relação DBO<sub>5</sub>/DQO (> 0,6). No entanto, com o envelhecimento do LAS a relação DBO<sub>5</sub>/DQO torna-se baixa (< 0,3) e a decomposição torna-se difícil devido à presença de compostos tóxicos e substâncias recalcitrantes. Consequentemente, aplicam-se processos físico-químicos para a remediação do LAS, dos quais os mais usuais são coagulação/floculação, osmose reversa, adsorção por carbono ativado e POA's (Bodzek *et al.*, 2006; Deng e Englehardt, 2006; Silva *et al.*, 2013a; Silva *et al.*, 2013b; Amor *et al.*, 2015). Jardim e Canela (2004), apontam que o efluente será: de difícil biodegradação quando a relação DBO<sub>5</sub>/DQO < 0,2; passível de biodegradação quando 0,2 < DBO<sub>5</sub>/DQO < 0,4; facilmente biodegradável quando DBO<sub>5</sub>/DQO > 0,4. Ainda, afirmam que o requisito mínimo de biodegradabilidade é de uma relação DBO<sub>5</sub>/DQO = 0,3.

A Tabela 3.1, expressa as diversas técnicas de tratamento de LAS com suas respectivas aplicações e, a Tabela 3.2, apresenta estudos realizados com diferentes técnicas para tratamento do LAS.

**Tabela 3.1.** Técnicas de tratamento de lixiviado de aterro sanitários e suas respectivas aplicações.

<b>Processo de tratamento</b>	<b>Aplicação</b>
<b>Processos biológicos</b>	
Lodo ativado	
Reatores em batelada sequenciais	
Bacias de estabilização aeradas	Remoção de compostos orgânicos
Filtros biológicos	
Lagoas anaeróbias	
Nitrificação/Desnitrificação	Remoção de nitrogênio
<b>Processos físico-químicos</b>	
Sedimentação/flotação	Remoção de sólidos suspensos
Filtração	
Adsorção	Remoção de compostos orgânicos
Oxidação por ar úmido	
Troca iônica	Remoção de compostos inorgânicos dissolvidos
Ultrafiltração	Remoção de bactérias e elevado peso molecular orgânico
Osmose reversa	Dissolução de soluções inorgânicas
Neutralização	Controle de pH
Precipitação	Remoção de metais pesados e alguns ânions
Oxidação	Remoção de compostos orgânicos e desintoxicação de algumas espécies inorgânicas
Evaporação	Apenas quando a descarga não for permitida
<i>Air stripping</i>	Remoção de amônia e compostos orgânicos voláteis

Fonte: adaptado de Tchobanoglous e Kreith, 2002.

**Tabela 3.2.** Estudos realizados com diferentes técnicas para tratamento de lixiviado de aterro sanitário e seus respectivos autores.

<b>Estudo</b>	<b>Autor</b>
Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por coagulação/floculação em combinação com processos Fenton e foto-Fenton solar.	Amor <i>et al.</i> , 2015.
Tratamento de lixiviado de aterro utilizando bio-reatores de membrana: uma revisão.	Ahmed e Lan, 2012.
Tratamento de lixiviado de aterro pelo processo Fenton.	Deng e Englehardt, 2006.
Tratamento de lixiviado de aterro sanitário utilizando combinação dos processos foto-Fenton solar e oxidação biológica em escala pré-industrial.	Silva <i>et al.</i> , 2013a.
Estudo da aplicação de foto-Fenton ( $Fe^{2+}/H_2O_2$ ) solar no pré-tratamento do chorume	Cavalcanti <i>et al.</i> , 2013.
Combinação de Processos Oxidativos Avançados e tratamentos biológicos para descontaminação de águas residuárias – Uma revisão.	Oller <i>et al.</i> , 2011.
Sistema de tratamento de vários estágios para lixiviado de aterro sanitário bruto combinando nitrificação/desnitrificação biológica/foto-Fenton solar/processos biológicos em escala pré-industrial – Melhoria da biodegradabilidade e perfil de evolução de poluentes traço.	Silva <i>et al.</i> , 2013b.
Avaliação dos parâmetros de uma reação foto-Fenton solar na oxidação de lixiviado de aterro sanitário em escala laboratorial.	Silva <i>et al.</i> , 2015.
Foto-Fenton solar como uma pré-oxidação para tratamento biológico de lixiviado.	Vilar <i>et al.</i> , 2011a.
Tratamento de efluente têxtil por processos oxidativos avançados foto-induzidos.	Vilar <i>et al.</i> , 2011b.
Tratamento de lixiviado de aterro sanitário utilizando combinação de foto-Fenton solar e reator biológico de imobilização de biomassa em escala piloto.	Vilar <i>et al.</i> , 2011c.
Cinética da oxidação por ar úmido como pré-tratamento e melhoria da biodegradabilidade de um efluente industrial complexo.	Tembhekar <i>et al.</i> , 2014.

### 3.3. Processos Oxidativos Avançados – POA's

Os POA's são considerados tecnologias viáveis para o tratamento de efluentes com compostos refratários e recalcitrantes. Caracterizam-se pela transformação de poluentes orgânicos em dióxido de carbono, água e ânions inorgânicos através de uma série de reações químicas de degradação envolvendo agentes oxidantes tal como o radical hidroxila ( $\cdot\text{OH}$ ). Apresentam inúmeras vantagens, tais como mineralização do poluente, aplicação para a fragmentação dos compostos refratários e recalcitrantes a outros tratamentos, não geram lodo, possível integração com outros processos, altas velocidades de reação, consomem menos energia, requer menor área de implantação e possibilita tratamento *in situ* (Deng e Englehardt, 2006; Oliveira, 2013; Silva *et al.*, 2013a; Amor *et al.*, 2014; Manenti, 2013).

Os POA's podem ser classificados de duas maneiras: (i) homogêneos, nos quais os catalisadores apresentam-se dissolvidos e; (ii) heterogêneos, nos quais os catalisadores apresentam-se suspensos. Com isto, a degradação dos poluentes orgânicos pode ser realizada por agentes oxidantes gerados a partir de uma série de reações químicas tais como de fotólise direta da  $\text{H}_2\text{O}$  bem como dos catalisadores com irradiação UV, e a oxi-redução dos catalisadores com oxidantes ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) (Teixeira e Jardim, 2004; Manenti, 2013).

Podem ser aplicados isoladamente ou combinados com tratamento prévio ou posterior. Quando de forma isolada, devem promover uma oxidação completa dos poluentes e, quando em combinação com outros tratamentos, deve-se promover oxidação parcial, visando transformar poluentes em substâncias biodegradáveis ou em substâncias mais facilmente removíveis por processos convencionais (Oliveira, 2013; Manenti, 2013).

Dentre os POA's, o processo Fenton vem sendo muito estudado. Tal processo utiliza  $\text{H}_2\text{O}_2$  como agente oxidante e ferro na forma reduzida ( $\text{Fe}^{2+}$ ) como catalisador para geração de  $\cdot\text{OH}$ , em meio reacional ácido. Esses radicais são não seletivos e responsáveis por mineralizar a matéria orgânica refratária em compostos mais biodegradáveis para que possam ser posteriormente tratados com métodos biológicos, além de reagir de  $10^6$  a  $10^{12}$  vezes mais rápido que oxidantes como o ozônio (Deng e Englehardt, 2006; Silva *et al.*, 2013a; Amor *et al.*, 2014; Manenti, 2013).



### 3.3.1. Reação foto-Fenton

O processo foto-Fenton baseia-se no processo Fenton e tem se mostrado como um dos mais promissores para remoção de componentes orgânicos recalcitrantes, além de apresentar benefício econômico no que diz respeito à utilização de luz solar como fonte de irradiação. Seu mecanismo de atuação é a combinação do processo Fenton com radiação UV-Vis. A interação dos reagentes da reação Fenton com radiação ultravioleta faz com que o poder oxidativo do reagente aumente. O processo resume-se em regeneração do  $\text{Fe}^{2+}$  pela reação com o  $\text{H}_2\text{O}_2$  em excesso. A eficiência do reagente na produção de  $\cdot\text{OH}$  é oriunda da foto-redução do  $\text{Fe}^{3+}$  a íon ferroso, da fotólise de quelatos de  $\text{Fe}^{3+}$  com ligantes orgânicos intermediários ( $\text{L}^-$ ) e da fotólise do peróxido de hidrogênio (Amor *et al.*, 2015; Manenti, 2013;).

Manenti (2013) afirma que o processo foto-Fenton é catalisado por íons ferrosos que são hidrolisados, formando hidróxidos solúveis. Para tanto, o pH do meio reacional deve ser ácido, tornando-se uma variável interferente na velocidade da reação de degradação dos compostos orgânicos, pois se as condições não forem ideais, os íons ferrosos podem precipitar na forma de hidróxidos. Outra variável importante é a concentração de ferro: quanto maior for, maior será a taxa de remoção do substrato, até que atinja um valor no qual a adição de mais ferro não irá alterar a velocidade de reação. Deste modo, é imprescindível determinar a concentração de ferro adequada para cada situação, uma vez que ela pode gerar sub-produtos contaminantes à solução.

É importante determinar também a concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  ideal para a reação, pois caso isto não ocorra, poderão ser gerados sub-produtos intermediários entre o substrato e o produto final esperado após o término da reação. A combinação do  $\text{H}_2\text{O}_2$  com os  $\cdot\text{OH}$  podem levar à formação do radical hidroperoxila ( $\cdot\text{O}_2\text{H}$ ), o qual é menos reativo que os  $\cdot\text{OH}$  e diferentemente deste, não contribui para a degradação dos compostos orgânicos. Além disso, podem ocorrer reações em série de consumo de radicais, reduzindo a capacidade oxidativa (Manenti, 2013).

Embora a reação foto-Fenton tenha alta eficiência na degradação de compostos orgânicos e inorgânicos, algumas pesquisas têm mostrado que o íon ferro pode complexar com os próprios poluentes orgânicos e precipitar. Por este motivo, estudos vêm sendo realizados com a utilização de complexos ferricarboxílicos tais como ferricitrato (Seraghni *et*

*al.*, 2012), ferrioxalato (Monteagudo *et al.*, 2012), Fe(III)+EDDS (Huang *et al.*, 2012) e Fe(III)+EDTA (Manenti *et al.*, 2015) visando minimizar esse efeito. Esses complexos apresentam algumas vantagens: são mais estáveis, possibilitando a disponibilidade do íon ferro na solução; são mais fotoativos, proporcionando maiores taxas de geração de  $\cdot\text{OH}$ ; as reações podem ocorrer em pH mais próximo ao neutro uma vez que quando complexado o íon ferro mantém-se dissolvido no meio sem precipitar (Seraghni *et al.*, 2012; Manenti *et al.*, 2015).

Oliveira (2013) afirma que é importante que sejam realizados testes de toxicidade após o tratamento, haja vista que compostos intermediários tóxicos podem ser formados na reação ou pode ocorrer a bio-ativação de moléculas anteriormente inócuas, fazendo com que o efluente tratado demonstre toxicidade superior ao efluente bruto. A eliminação completa de determinado poluente não configura o efluente tratado como não-tóxico, justificando a necessidade dos testes de toxicidade.

### **3.3.2. Integração de técnicas de tratamento**

Segundo Oller (2011), as principais vias de destruição de compostos tóxicos em efluentes são a biodegradação e a fotodegradação. A fotodegradação é um mecanismo importante no que se refere à eliminação de hidrocarbonetos aromáticos, hidrocarbonetos aromáticos clorados, fenóis clorados e pesticidas. Nesse processo, um foto-sensibilizador absorve luz e transfere energia para o poluente. Já a biodegradação corresponde ao processo de degradação do composto através da atividade metabólica de microrganismos vivos.

Sendo assim, nem sempre os processos biológicos de degradação são satisfatórios para atender os padrões exigidos em lei, uma vez que muitas substâncias orgânicas são tóxicas ou resistentes ao tratamento biológico. Portanto, necessitam-se alternativas viáveis para tratar estes compostos recalcitrantes à atividade bacteriana. Contudo, a oxidação química aplicada na fragmentação destes compostos recalcitrantes para formas mais simples, e por vezes biodegradáveis, torna-se atrativa. Logo, uma potencial alternativa é combinar essas duas técnicas de tratamento, aplicando os processos químicos como pré-tratamento para converter os compostos orgânicos recalcitrantes em compostos intermediários mais biodegradáveis para que, então, o efluente possa ser encaminhado para tratamento biológico. Dessa forma o custo do processo seria reduzido consideravelmente. No entanto, correm-se riscos com a formação

de subprodutos intermediários da degradação bem como subprodutos do próprio processo (reagentes adicionados).

O pré-tratamento químico serve, portanto, para promover oxidação parcial da parte biologicamente persistente. Para isso, a mineralização dos compostos deve ser mínima, a fim de evitar gastos desnecessários com produtos químicos e energia. Contudo, se o tempo de pré-tratamento for muito curto, os compostos intermediários gerados poderão assemelhar-se com os compostos não-biodegradáveis, comprometendo o tratamento biológico. Para tanto, é importante que testes de biodegradabilidade sejam realizados após o tratamento químico (Oller, 2011).

Oller (2011) complementa ainda que devem ser combinadas técnicas apropriadas para obter opções viáveis tecnicamente e economicamente. A interação entre técnicas deve levar em conta as características individuais de cada uma e seus propósitos no tratamento do efluente. De maneira geral, sempre deverão ser feitas otimizações para cada etapa.

A realização de testes de toxicidade durante as etapas do tratamento por POA's pode ser importante, uma vez que em alguns casos a toxicidade do efluente chega a valores máximos após o pré-tratamento, devido aos compostos intermediários formados. É válido lembrar que estes compostos podem ser mais tóxicos para os sistemas biológicos do que o composto original e que diferentes processos de oxidação podem resultar em diferentes compostos intermediários (Oller, 2011).

Ainda, a realização dos testes de toxicidade durante o pré-tratamento pode fornecer informações importantes sobre quando a porcentagem de inibição muda o suficiente para que possam ser feitos testes de biodegradabilidade, uma vez que a mudança significativa na toxicidade está normalmente associada à mudança na biodegradabilidade. Além disso, os estudos de toxicidade servem para demonstrar quando o efluente estará apto a ser disposto de forma segura para o meio ambiente (Oller, 2011).

### **3.4. Testes de biodegradabilidade**

Machado (2013) define biodegradabilidade como “a capacidade de um composto ser degradado por atividade microbiana”. É importante mensurar esta capacidade a fim de evitar futuros problemas ou custos desnecessários com a operação do tratamento aplicado ao

efluente, bem como com a manutenção do mesmo. A Tabela 3.3 apresenta alguns estudos já realizados sobre ensaios de biodegradabilidade de diferentes efluentes.

Os compostos biodegradáveis são aqueles suscetíveis à decomposição por ação microbiana e são classificados de três maneiras: rapidamente, moderadamente e lentamente biodegradáveis (Moravia, 2007). Os compostos rapidamente biodegradáveis são usualmente encontrados na forma solúvel, consistindo em moléculas simples que podem ser digeridas por bactérias heterotróficas. Já, os compostos moderadamente e lentamente biodegradáveis encontram-se na forma particulada.

**Tabela 3.3.** Estudos realizados sobre ensaios de biodegradabilidade.

<b>Estudo</b>	<b>Autor</b>
Um estudo comparativo de diferentes testes para determinação da melhoria da biodegradabilidade durante tratamento por POA de solução aquosa de compostos recalcitrantes tóxicos.	Ballesteros <i>et al.</i> , 2010.
Avaliação da biodegradabilidade e da toxicidade de um efluente têxtil tratado por processo de eletrocoagulação otimizado.	Manenti <i>et al.</i> , 2015.
Avaliação da biodegradabilidade aeróbia de lixiviado de um aterro sanitário	Machado, 2013.
Aprimoramento da biodegradabilidade de um lixiviado após lagoa biológica utilizando reação foto-Fenton solar e ainda combinando com processo biológico de lodo ativado, em escala pré-industrial.	Silva <i>et al.</i> , 2013c.

Outra categoria distinta de compostos também é conhecida como compostos recalcitrantes, os quais são caracterizados por serem resistentes à biodegradação e têm tendência de persistirem e de se acumularem no ambiente. Esses compostos não são necessariamente tóxicos aos microrganismos, apenas não reagem ao ataque metabólico dos mesmos (Moravia, 2007).

A biodegradabilidade de um composto ou de um efluente é determinada com base em variados fatores, tais como: fonte e quantidade de microrganismos no meio e condições físico-químicas (concentração de oxigênio, temperatura, pH, entre outros) (Lange e Amaral, 2009). O fato de um composto não ser rapidamente biodegradado pode indicar que o mesmo possui potencial de biodegradabilidade, ou seja, pode haver uma biodegradabilidade inerente. O método mais utilizado para determinação desta biodegradabilidade é o teste de Zahn-Wellens (OECD, 1992).

### 3.5. Testes de toxicidade

Está expresso no parágrafo 1º, do art. 16 da Resolução CONAMA nº 430/2011, que “os efluentes oriundos de sistemas de disposição final de resíduos sólidos de qualquer origem devem atender às condições e padrões definidos neste artigo”. E o artigo 18 complementa: “o efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de ecotoxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente” (Brasil, 2011).

No estado do Rio Grande do Sul, o Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA), instituiu a Resolução CONSEMA nº 128/2006, referente à fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais, a qual em seu artigo 9º especifica que os efluentes líquidos de que trata devem estar em conformidade com os padrões de toxicidade estabelecidos em resolução específica. Visto isso, foi instituída também a Resolução CONSEMA nº 129/2006, a qual prevê a definição de critérios e padrões de emissão para toxicidade de efluentes líquidos em águas superficiais. Esta resolução especifica que os testes de toxicidade devem ser realizados em conformidade com metodologias definidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) ou metodologias estrangeiras reconhecidas (Rio Grande do Sul, 2006a; Rio Grande do Sul, 2006b).

Haja vista que frequentemente descobrem-se novas substâncias tóxicas que conferem periculosidade à saúde pública e ao meio ambiente, os testes de toxicidade ganharam importância no meio científico. Configuram-se em ensaios realizados para avaliar a capacidade de uma amostra em produzir efeitos deletérios nos organismos-testes (animais, plantas, microrganismos ou outros conjuntos de células), ou seja, para averiguar potenciais efeitos adversos de substâncias tóxicas sobre organismos de diferentes ecossistemas (Rio Grande do Sul, 2006; Brasil, 2008; Brasil, 2011; Castro, 2013).

Os testes de toxicidade podem ser classificados como agudos ou crônicos, diferenciados pelo tempo de exposição do organismo-teste à substância em estudo. Os testes de toxicidade aguda têm como objetivo verificar a ocorrência de efeitos deletérios rápidos e severos sobre os organismos-teste, usualmente representados por mortalidade ou imobilidade de 50% dos organismos, quando estes forem expostos às amostras simples ou compostas em curto período em relação ao seu ciclo de vida. Nestes testes, os resultados podem ser

avaliados através dos valores de Concentração de Inibição de 50% dos organismos (CI<sub>50</sub>) e Concentração Letal em 50% dos organismos (CL<sub>50</sub>). No entanto, o fato de determinada substância não apresentar efeitos adversos de mortalidade ou imobilidade, não necessariamente significa que a mesma não seja tóxica (Rio Grande do Sul, 2006; Brasil, 2011; Castro, 2013).

Quando isto ocorrer, podem ser realizados testes de toxicidade crônica, que visam avaliar os efeitos subletais, ou seja, os efeitos deletérios causados por amostras simples ou compostas, quando os organismos-teste são expostos por longo período, afetando uma ou mais funções biológicas dos mesmos, como crescimento, reprodução ou comportamento. Nestes testes, os efeitos são expressos em Concentração de Efeito Não Observado (CENO), correspondente à maior concentração da substância em que não são apresentados efeitos deletérios estatisticamente significativos na sobrevivência e reprodução dos organismos; e Concentração de Efeito Observado (CEO) (Rio Grande do Sul, 2006; Brasil, 2011; Castro, 2013).

Castro (2013), afirma que deve-se conhecer previamente a fisiologia, genética e comportamento dos organismos-teste a fim de facilitar e garantir interpretação adequada dos resultados. As diferentes características biológicas entre espécies de organismos respondem de maneiras diferentes aos ensaios, ou seja, espécies diferentes têm sensibilidades diferentes. No Brasil, os organismos-teste usualmente utilizados são bactérias, algas, microcrustáceos, minhocas e peixes. Contudo, testes de toxicidade aguda podem ser realizados também com sementes de *Lactuca sativa*, através de ensaios de germinação e desenvolvimento das radículas.

Estes ensaios são padronizados internacionalmente pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) e pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) e vêm sendo amplamente utilizados para avaliação da toxicidade de compostos solúveis em água pura e também em misturas complexas, como efluentes industriais, águas residuais, lixiviados, sedimentos, entre outros. São ensaios relativamente simples, de baixo custo e de curta duração. Ainda, apresentam vantagem sobre os ensaios envolvendo algas ou plantas aquáticas, uma vez que não há necessidade de que amostras líquidas com altos valores de cor ou turbidez sejam filtradas previamente, nem mesmo de ajustar o pH e a dureza da amostra, podendo assim preservá-la sem retenção de substâncias que poderiam apresentar toxicidade (Sobrero e Ronco, 2004; Castro, 2013).

Os ensaios de germinação e desenvolvimento das radículas da *L. sativa* são realizados nos primeiros dias do seu desenvolvimento, haja vista de que ocorrem uma série de processos fisiológicos importantes e que a presença de uma substância tóxica poderia alterá-los, podendo causar anomalias ou interferir na sobrevivência da planta. Embora os ensaios com *L. sativa* sejam usualmente de toxicidade aguda, efeitos subletais também podem ser observados por meio de efeitos sobre o desenvolvimento das radículas (Sobrero e Ronco, 2004; Castro, 2013). Sobrero e Ronco (2004) explicam que os testes são feitos de maneira estática, por um período de 120 horas, avaliando os efeitos fitotóxicos de compostos puros ou misturas complexas no processo de germinação e desenvolvimento das radículas. Os efeitos se apresentam pela inibição na germinação ou no alongamento das radículas e do hipocótilo. Estes ensaios se diferenciam dos ensaios de germinação tradicionais, pois podem ser percebidos efeitos de compostos solúveis em baixíssimas concentrações, que mesmo não sendo suficientes para inibir a germinação, podem atrasar ou inibir o alongamento das radículas e do hipocótilo. Apesar de a *L. sativa* não ser uma espécie representativa dos ecossistemas aquáticos, os resultados dos testes podem fornecer dados a respeito dos possíveis efeitos causados às comunidades vegetais que compõem as margens dos corpos hídricos. A Tabela 3.4 apresenta alguns estudos já realizados sobre ensaios de toxicidade utilizando diferentes organismos-teste e diferentes efluentes.

**Tabela 3.4.** Estudos realizados sobre ensaios de toxicidade.

<b>Estudo</b>	<b>Autor</b>
Avaliação da fitotoxicidade de efluente industrial com policontaminantes utilizando alface ( <i>Lactuca sativa</i> ) como bioindicador.	Charles <i>et al.</i> , 2011.
Estudo da toxicidade de efluente têxtil tratado por foto-fenton artificial utilizando as espécies <i>Lactuca sativa</i> e <i>Artemia Salina</i>	Palácio <i>et al.</i> , 2012.
Avaliação toxicológica de nanopartículas de óxido de cromo (III) em microcrustáceo <i>Daphnia magna</i> , bactéria <i>Aliivibrio fischeri</i> e semente de <i>Lactuca sativa</i>	Puerari., 2014.
Ensaio biológico com sementes para avaliar a redução da toxicidade do chorume tratado por processo fotoquímico	Pelegri <i>et al.</i> , s.d.
Avaliação ecotoxicológica dos percolados das colunas de cinza de carvão e de solos com cinza de carvão utilizando <i>Lactuca sativa</i> e <i>Daphnia similis</i> como organismos teste	Castro, 2013.
Avaliação das variações da biotoxicidade de lixiviado de aterro através da penetração em colunas de solo.	Zhu <i>et al.</i> , 2013.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Amostras, reagentes, solventes e soluções

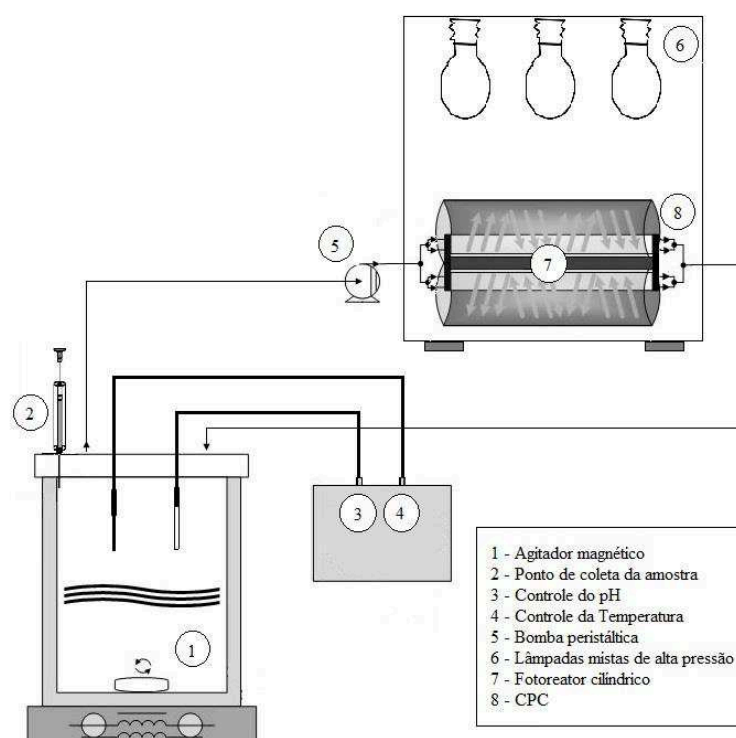
As amostras de lixiviado foram coletadas em uma Central Regional de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos, localizada no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Esta Central de Tratamento consiste na recepção e disposição dos resíduos sólidos urbanos, previamente triados, de diversos municípios circunvizinhos, sendo que apenas o material orgânico é destinado para as células de disposição. O chorume, oriundo do processo de decomposição do material orgânico, é percolado e lixiviado até os drenos que o conduzem para um sistema de tratamento de efluentes baseado na osmose reversa. As amostras tratadas e não tratadas pela reação foto-Fenton foram preservadas de acordo com o Standard Methods (APHA, 2005).

Todos os reagentes e solventes químicos utilizados apresentam pureza de grau analítico. A água destilada foi produzida utilizando um sistema Millipore® (Nova Instruments, NI 2007). Ácido sulfúrico (Vetec, 1,5 M) e hidróxido de sódio (ALPHATEC, 6 M) foram utilizados para ajustar o pH das amostras, quando necessário. Peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) (ALPHATEC, 30% v/v,  $1.10\text{ g cm}^{-3}$ ), sulfato de Fe(II) hepta-hidratado ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ , Vetec) e cloreto de Fe(III) hexa-hidratado ( $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ , Merck) foram utilizados como reagentes Fenton. Ácido cítrico ( $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$ , Merck) foi utilizado como ligante orgânico. Metavanadato de amônia (Sigma-Aldrich) e ácido acético (Panreac, 99,5%), bem como 1,10-fenantrolina ( $C_{12}H_8N_2$ , Fluka, 99%) e ácido ascórbico ( $C_6H_8O_6$ , Synth, 176,13%), foram utilizados para as determinações de  $H_2O_2$  e Fe total dissolvido, respectivamente. Para o preparo das soluções minerais utilizadas para o teste de Zahn-Wellens foram utilizados fosfato monopotássico ( $KH_2PO_4$ , Vetec), fosfato de potássio dibásico ( $K_2HPO_4$ , Vetec), fosfato dissódico ( $Na_2HPO_4$ , Dinâmica), cloreto de amônio ( $NH_4Cl$ , Vetec), cloreto de cálcio ( $CaCl_2$ , Dinâmica), sulfato de magnésio ( $MgSO_4$ , Vetec) e cloreto de ferro ( $FeCl_3$ , Vetec), além de glicose ( $C_6H_{12}O_6$ , ALPHATEC) para o preparo da solução referência. Para a realização dos testes de toxicidade, foram utilizadas sementes de *Lactuca sativa* (Isla Sementes), todas com índice de germinação de 95% e 100% de pureza.



## 4.2. Procedimento experimental

As reações ferricitrato foram realizadas utilizando um fotoreator de escala laboratorial, desenvolvido com base em um protótipo comercial (ATLAS, modelo SUNTEST XLS+), descrito por Soares *et al.* (2014) e Manenti *et al.* (2015). O fotoreator encontra-se instalado no Laboratório de Efluentes da Universidade Federal da Fronteira Sul-UFFS, *Campus Cerro Largo-RS*. A Figura 4.1 apresenta um desenho esquemático do sistema fotocatalítico utilizado.



**Figura 4.1.** Sistema fotocatalítico.

O recipiente de borossilicato foi preenchido com 1 L de lixiviado, o qual foi conectado por tubos de teflon ao fotoreator cilíndrico em borossilicato (Schott-Duran 3.3, Alemão, *cutoff* 280 nm, diâmetro interno de 46.4 mm, 180 mm de comprimento, e espessura de 1.8 mm). O fotoreator foi posicionado no centro focal dos coletores parabólicos concentradores (CPC's), os quais se utilizam da reflexão proporcionada pela superfície do alumínio anodizado eletropolido para concentrar a irradiação UV. O recipiente de vidro foi posicionado sobre um agitador magnético (Centauro, modelo CAMA-15), mantendo uma constante agitação para a

homogeneização da solução durante os experimentos. Neste momento, uma pequena alíquota da amostra inicial foi coletada.

Após, a bomba peristáltica (MS TECNOPON, DMC 100) foi ligada recirculando o LAS, e mantendo uma taxa de fluxo de 0,63 L min<sup>-1</sup> dentro do sistema fechado. Três lâmpadas mistas de alta pressão de Hg (FLC-E40, 500 W) foram ligadas proporcionando uma radiação de 1500 W, o que corresponde a uma irradiação de luz UV-Vis de cerca de 9 W<sub>UV</sub> m<sup>-2</sup>, medidos pelo sensor UV (Apogee, modelo UM-200) no centro do fotoreator. No sistema fechado, uma fração (27%) do total de lixiviado permaneceu dentro do fotoreator durante 0,43 min., e constantemente irradiada por luz UV-visível. Enquanto isso, o volume remanescente foi mantido no escuro durante 1,16 min. Além disto, o sistema é equipado por um medidor de pH e temperatura da solução (HANNA, modelo HI 3221). A quantidade de energia UV acumulada por unidade de volume de lixiviado ( $Q_{UV,n}$ , J L<sup>-1</sup>) no interior do reator, no intervalo de tempo  $\Delta t$ , foi estimado pela Equação 4.1, descrita por Malato *et al.* (2002).

$$Q_{UV,n} = Q_{UV,n-1} + \Delta t_n \overline{UV}_{G,n} \frac{A_r}{V_t}; \Delta t_n = t_n - t_{n-1} \quad (4.1)$$

onde:  $t_n$  (s) é o tempo correspondente para o número  $n$  de amostras,  $V_t$  (L) é o volume total no reator,  $A_r$  (m<sup>2</sup>) é a área superficial iluminada do coletor e  $\overline{UV}_{G,n}$  é a média de irradiação UV medida durante o período de tempo  $\Delta t_n$  (s).

Após um curto período de transferência de energia UV e conseqüentemente calor, aguardou-se que a temperatura da solução fosse estabilizada (de ~ 20 para 45°C). Além disto, o pH da solução foi ajustado para os valores requeridos (6,0) (Manenti *et al.*, 2015) e nova alíquota foi coletada. Para isto, o sistema foi equipado com um medidor de pH e temperatura da solução (HANNA, modelo HI 3221).

Antes de iniciar as reações, os íons catalíticos (100 mg Fe(III) L<sup>-1</sup>) e o ácido cítrico foram adicionados ao efluente em proporções pré-estabelecidas de 1:3 M (Seraghni *et al.*, 2012) e uma alíquota foi recolhida após cada etapa ( $\approx$  5 min.), para avaliar a homogeneização e a concentração de ferro dissolvido definitivo.

Finalmente, cada execução de reação foi iniciada quando a primeira dose de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (500 mg L<sup>-1</sup>) foi adicionado ao efluente. Periodicamente, alíquotas de amostras tratadas foram recolhidas até que fosse consumido todo o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> adicionado.

Utilizando este método, foi realizado um experimento cinético monitorando a degradação dos compostos orgânicos (descoloração e redução dos compostos aromáticos simples a 254 nm) e o consumo relativo de  $\text{H}_2\text{O}_2$  residual em excesso. Baseado nesta cinética, um novo experimento foi realizado adicionando pontualmente apenas a quantidade requerida de  $\text{H}_2\text{O}_2$  para atingir cada ponto de tratamento, denominado ensaio de biodegradabilidade. Somente após aferição do total consumo do  $\text{H}_2\text{O}_2$  foram coletadas as amostras, e uma nova dose de  $\text{H}_2\text{O}_2$  foi adicionado para a continuidade da reação. Este procedimento é de fundamental importância para que não haja efeitos adversos nas análises envolvendo microrganismos e oxidação biológica causada pelo excesso de peróxido.

As amostras coletadas foram destinadas para a realização das determinações físico-químicas. Para os ensaios biológicos, o pH da solução coletada foi ajustado para aproximadamente 7.

### **4.3. Determinações analíticas**

A determinação da concentração de peróxido de hidrogênio foi realizada por espectrofotometria utilizando o método metavanadato de amônio (Nogueira *et al.*, 2005). Este método baseia-se na formação de um cátion de cor vermelho-alaranjado quando o peróxido reage com o metavanadato. A absorvância do  $\text{H}_2\text{O}_2$  é detectada por espectrofotometria a 450 nm. A concentração do íon ferro foi determinada através do método colorimétrico com 1:10 Fenantrolina. Este método baseia-se na complexação do cátion  $\text{Fe}^{2+}$  com este composto, dando origem à um complexo colorido que é detectado através da medição da absorvância a 510 nm. Para a determinação do ferro total é realizada uma redução do cátion  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$  através da adição de ácido ascórbico (ISO 6332, 1988). A demanda bioquímica de oxigênio ( $\text{DBO}_5$ ) foi determinada de acordo com o protocolo OECD-301F utilizando um sistema OxiTop (respirometria manométrica), conforme descrito no Standard Methods (APHA, 2005). A demanda química de oxigênio (DQO) foi determinada pelo método colorimétrico de refluxo fechado conforme descrito no Standard Methods (APHA, 2005). Esta metodologia foi aferida em quintuplicatas analíticas utilizando uma solução padrão (CombiCheck 20) com  $750 \pm 75 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ . O resultado médio obtido foi de  $718 \pm 18,9 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ . O carbono orgânico dissolvido (COD), o qual é uma subtração do carbono total dissolvido (CTD) do carbono inorgânico dissolvido (CID), bem como o nitrogênio total foram determinados utilizando um

analisador de carbono orgânico total (Shimadzu, modelo TOC-VCPH). A cor foi determinada utilizando o método descrito no Standard Methods (APHA, 2005) e expresso em unidades de cor (Pt-Co). Para medição da cor adotou-se uma diluição de 1:50. A turbidez foi determinada utilizando um turbidímetro (PoliControl, AP 2000 iR) e expressa em unidades de turbidez (NTU). O pH e a temperatura das soluções foi aferido utilizando um pHmetro/temperatura (HANNA, HI 3221). A condutividade foi determinada utilizando um condutivímetro (Digimed, DM-32). Os sólidos totais (ST), suspensos (SS), voláteis (SV) e fixos (SF) foram determinados utilizando métodos gravimétricos segundo o Standard Methods (APHA, 2005). A absorvância nos comprimentos de onde máxima absorção relativa aos compostos aromáticos simples (254 nm) e conjugados (228, 284 e 310 nm) foram avaliados utilizando um espectrofotômetro UV-Vis (Thermo-Scientific, Evolution 201). A concentração de polifenóis totais (mg ácido cafeico L<sup>-1</sup>) foi determinada por espectroscopia a 765 nm utilizando o reagente Folin-Ciocalteu (Folin e Ciocalteu, 1927). Todas as amostras foram previamente centrifugadas a 3000 rpm durante 3 min (CELM, LS-3 Plus), exceto para as determinações dos sólidos, COD, DQO e DBO<sub>5</sub>. Partes das análises foram realizadas na Central Analítica da Universidade Estadual do Oeste do Paraná-UNIOESTE, *Campus Toledo-PR*.

#### **4.4. Ensaio biológicos**

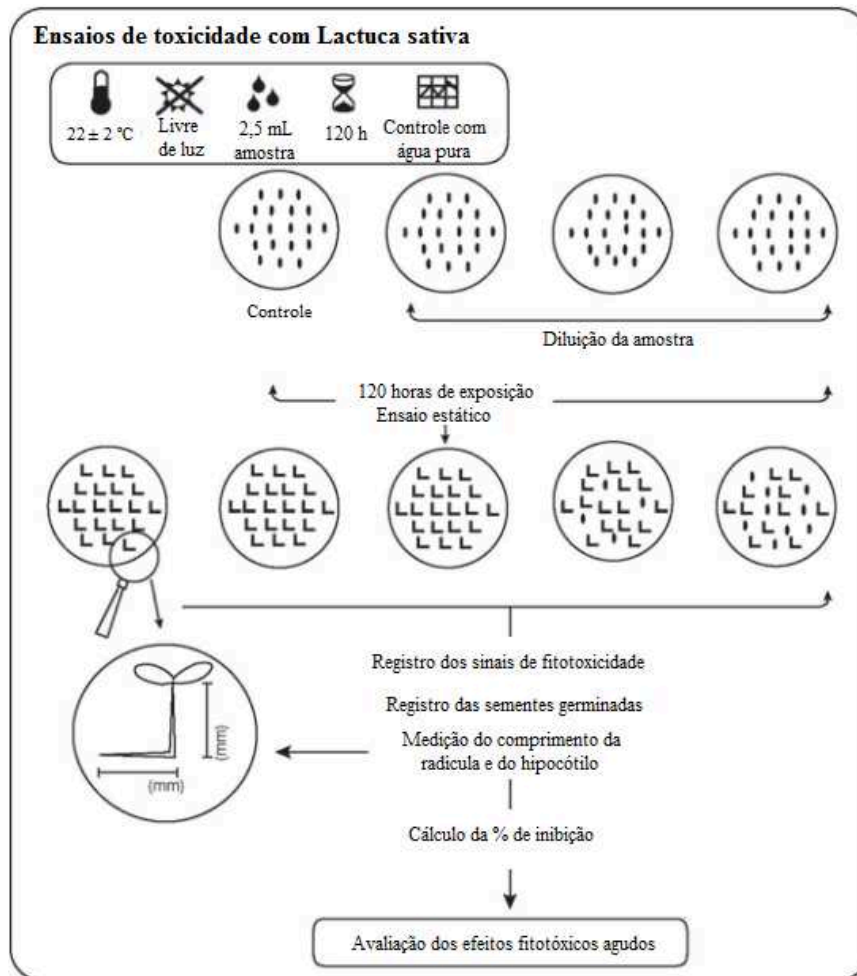
Os ensaios biológicos foram realizados nos Laboratórios de Efluentes e Ecotoxicologia da Universidade Federal da Fronteira Sul-UFFS, *Campus Cerro Largo-RS*.

##### **4.4.1. Ensaio de fitotoxicidade aguda com *Lactuca sativa***

Os ensaios com sementes de *Lactuca sativa* foram realizados seguindo a metodologia proposta por Sobrero e Ronco (2004).

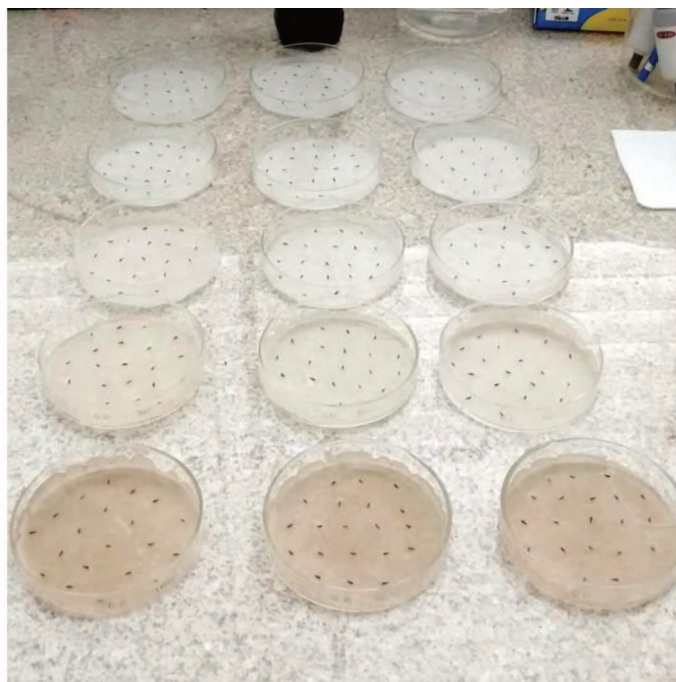
Primeiramente, as amostras do lixiviado tratado foram diluídas para 1, 3, 10, 30 e 100% em água de abastecimento público, além de um controle utilizando apenas água de abastecimento público. Os ensaios foram realizados em placas de Petri de 90 mm de diâmetro, sendo colocado um disco de papel filtro sobre cada uma. A fim de acompanhar o crescimento das raízes e do hipocótilo, o papel filtro foi saturado com 2,5 mL de amostra diluída, onde

foram distribuídas 20 sementes de *Lactuca sativa* de maneira equidistante. Visando evitar perdas por evaporação, as placas foram cobertas com filme plástico. Posteriormente foram incubadas por 120 horas, mantendo a temperatura de  $22 \pm 2$  °C e livre de luz. Os ensaios foram realizados em triplicata. As Figuras 4.2 e 4.3 representam, respectivamente, o esquema do teste de fitotoxicidade e a realização do mesmo.



Fonte: adaptado de Sobrero e Ronco, 2004.

**Figura 4.2.** Representação esquemática do teste de fitotoxicidade.



**Figura 4.3.** Realização do teste de fitotoxicidade.

A avaliação da fitotoxicidade foi realizada através da comparação dos efeitos observados na germinação das amostras tratadas, não tratadas e o controle. Após o período de exposição, obteve-se a concentração letal média (CL<sub>50</sub>), ou seja, a concentração de amostra que provoca a morte (não-germinação) de 50% dos organismos expostos, além do efeito na germinação no crescimento das raízes e do hipocótilo.

Para determinação do efeito nas raízes e hipocótilo, foram realizadas medidas de ambos em cada uma das plântulas com o auxílio de paquímetro digital. A medida da raiz foi realizada considerando desde o nó (região de transição entre a raiz e o hipocótilo) até o ápice radicular. Para medir o hipocótilo, considerou-se desde o nó até a inserção dos cotilédones.

Para obter os resultados do teste de germinação, deve-se calcular a média e o desvio padrão, estimando a porcentagem de inibição do crescimento das raízes e dos hipocótilos, os quais consideram a média de comprimento de cada diluição em relação à média de comprimento do branco, conforme as Equações 4.2 a 4.5.

$$\% \text{ crescimento relativo à raiz} = \frac{MCRA}{MCRC} \cdot 100 \quad (4.2)$$

$$\% \text{ inibição do crescimento relativo à raiz} = \frac{MCRA - MCRC}{MCRC} \cdot 100 \quad (4.3)$$

Onde: *MCRA*, média do comprimento da raiz na amostra e; *MCRC*, média do comprimento da raiz no controle.

$$\% \text{ crescimento relativo ao hipocótilo} = \frac{MCHA}{MCHC} \cdot 100 \quad (4.4)$$

$$\% \text{ inibição do crescimento relativo ao hipocótilo} = \frac{MCHA - MCHC}{MCHC} \cdot 100 \quad (4.5)$$

Onde: *MCHA*, média do crescimento do hipocótilo nas amostras e, *MCHC*, média do crescimento do hipocótilo no controle.

Para o cálculo da porcentagem de inibição da germinação, considerou-se a média do número de sementes germinadas em cada diluição em relação ao número de sementes germinadas no controle. Para tanto foram utilizadas as Equações 4.6 a 4.8.

$$\% \text{ de germ. relativa} = \frac{NSGA}{NSGC} \cdot 100 \quad (4.6)$$

$$\% \text{ de germ. absoluta} = \frac{NSG}{NST} \cdot 100 \quad (4.7)$$

$$\text{Índice de germinação} = \% \text{ de germ. Absoluta} \times MCRA \quad (4.8)$$

Onde: *NSGA*, número de sementes germinadas na amostra; *NSGC*, número de sementes germinadas no controle; *NSG*, número de sementes germinadas e; *NST*, número de sementes totais.

Os valores da  $CL_{50}$  foram estimados através do programa Trimmed Spearman-Kärber Method<sup>®</sup>, versão 1.5 (Hamilton *et al.*, 1977).

#### **4.4.2. Testes Zahn-Wellens de biodegradabilidade**

O ensaio foi realizado em conformidade com o protocolo EC, Directive 88/3030EEC (OECD, 1992). Todas as amostras estavam isentas de peróxido de hidrogênio, uma vez que



este é prejudicial ao desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela oxidação biológica.

Primeiramente, foram preparadas quatro soluções, das quais posteriormente obteve-se o meio mineral utilizado nos ensaios. As soluções são compostas por 8,5 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 21,75 g de  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 33,4 g de  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , 0,5 g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 36,4 g de  $\text{CaCl}_2$ , 22,5 g de  $\text{MgSO}_4$  e 0,25 g de  $\text{FeCl}_3$ , diluídos em água destilada. O lodo ativado utilizado nos ensaios foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário (ETES) localizado no noroeste do RS. Após a coleta, o lodo foi centrifugado e o redissolvido no meio mineral durante duas horas. Posteriormente, a biomassa redissolvida foi novamente centrifugada e pesada.

Antes de iniciar os ensaios, as amostras tiveram o pH ajustado para  $\approx 7$ . Foram utilizados Erlenmeyers de 250 mL, nos quais foram adicionados 240 mL de amostra, massa de inóculo (biomassa preparada) e meio mineral. A massa de inóculo adicionada em cada Erlenmeyer foi calculada a partir da Equação 4.8. Paralelamente, foram feitos ensaios com branco e com composto de referência. Para o branco, utilizou-se 240 mL de água destilada e a massa de inóculo foi calculada a partir da média dos valores utilizados nas amostras. Para o controle, utilizou-se como composto de referência solução de glicose, com valor de COD igual ao valor máximo de COD das amostras e a massa de inóculo foi equivalente ao valor máximo de inóculo utilizado nas amostras.

$$\text{Massa de inóculo} = \frac{3}{0,09} \cdot 240 \cdot \text{COD da amostra} \quad (4.8)$$

Os ensaios foram feitos durante 28 dias consecutivos, sob agitação constante e temperatura de 25°C. Após 3 horas do início dos ensaios, os frascos foram retirados e pesados, considerando este, o peso zero. Neste momento foi feita a primeira leitura do COD. Posteriormente, a cada 4 dias foi feita nova leitura, sempre completando a massa perdida por evaporação com água destilada. Nos últimos dois dias do ensaio, também foram feitas leituras.

A porcentagem de biodegradação foi determinada através da Equação 4.9.

$$Dt = \left[ 1 - \frac{c_t - c_B}{c_A - c_{BA}} \right] \cdot 100 \quad (4.9)$$



Onde:  $D_t$ , porcentagem de biodegradabilidade;  $C_A$  e  $C_{BA}$ , concentração de COT (mg C.L<sup>-1</sup>) da mistura e do branco do ensaio, respectivamente, após 3 horas do início do experimento;  $C_t$  e  $C_B$ , concentração de COT (mg C.L<sup>-1</sup>), determinado na mistura e no branco, no tempo  $t$  de amostragem.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Caracterização do LAS

A Tabela 5.1 apresenta a caracterização do lixiviado bruto.

**Tabela 5.1.** Caracterização do LAS bruto.

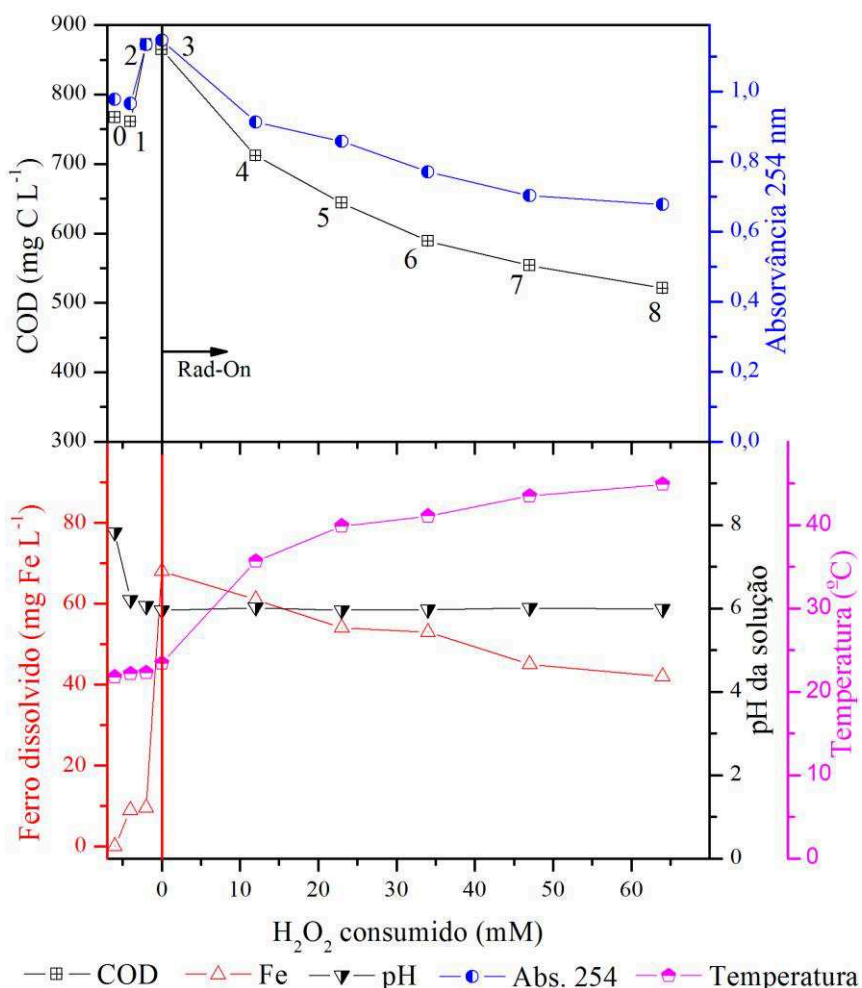
Parâmetros	Valor	Unidades
pH	7,86	Escala Sörensen
Temperatura	20,8	°C
Cor (dil. 1:50)	203	mg Pt-Co L <sup>-1</sup>
Turbidez	59	NTU
Polifenóis totais	197	mg ácido cafeico L <sup>-1</sup>
Absorvância em 254 nm	0,983	-
Sólidos Totais (ST)	5	g L <sup>-1</sup>
Sólidos Suspensos (SS)	433	mg L <sup>-1</sup>
Sólidos Voláteis (SV)	397	mg L <sup>-1</sup>
Sólidos Fixos (SF)	115	mg L <sup>-1</sup>
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	2350	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>
Demanda Biológica de Oxigênio (DBO <sub>5</sub> )	420	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>
DBO <sub>5</sub> /DQO	0,18	-
Carbono Total Dissolvido (CTD)	933	mg C L <sup>-1</sup>
Carbono Inorgânico Dissolvido (CID)	159	mg C L <sup>-1</sup>
Carbono Orgânico Dissolvido (COD)	774	mg C L <sup>-1</sup>
Nitrogênio Total Dissolvido (NTD)	427	mg N L <sup>-1</sup>
Ferro dissolvido	9,2	mg Fe L <sup>-1</sup>

Este chorume bruto (sem tratamento) é caracterizado por apresentar elevada coloração (preto/castanha) e turbidez, bem como elevado teor orgânico expresso em altos valores de demanda química e bioquímica de oxigênio (DQO e DBO<sub>5</sub>), carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total. Além disto, a fração dos componentes orgânicos biologicamente oxidáveis geralmente é baixa (DBO<sub>5</sub>/DQO < 0,2 = não biodegradável). Estas características possivelmente são originárias da quebra de moléculas de substâncias húmicas, dos próprios microrganismos e seus metabólitos, bem como hidrocarbonetos aromáticos, os quais são representados pela elevada absorvância nos comprimentos de onda relativos (228, 254, 284 e 310 nm). Além disto, uma fração de material inorgânico lhe confere um pH levemente

alcalino, alta condutividade e dureza. Estas características justificam a necessidade do tratamento antes de qualquer outra forma de despejo em corpos hídricos bem como sua própria disposição nos solos.

## 5.2. Experimento foto-Fenton-ferricitrato

A Figura 5.1 apresenta os perfis de degradação do COD e dos compostos aromáticos que absorvem a 254 nm, bem como a concentração de íons ferro dissolvido, a temperatura e o pH da solução durante a reação ferricitrato. E o Tabela 5.2, apresenta a nomenclatura e a relativa descrição de cada amostra (A0-A8), bem como os valores analisados.



**Figura 5.1.** Perfis de degradação do COD e dos compostos aromáticos, bem como a concentração de íons ferro dissolvido, a temperatura e o pH da solução durante a reação ferricitrato.

**Tabela 5.2.** Caracterização das amostras.

Am.	Descrição	pH da solução	Íon ferro (mg L <sup>-1</sup> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> consumido mM	COD (mg C L <sup>-1</sup> )	Abs. 254 nm	DQO (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	DBO <sub>5</sub> /DQO
0	Bruto	7,82	0	0	767	0,978	2350	420	0,18
1	pH ajustado	6,20	8,9	0	761	0,966	2320	400	0,17
2	Adição do ligante	6,05	9,5	0	872	1,134	2410	440	0,18
3	Adição de 100 mg Fe(III) L <sup>-1</sup> e 12 mM de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	5,95	68	0	865	1,147	2393	440	0,18
4	Após consumir 12 mM de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	6,02	61	12	712	0,913	2210	380	0,17
5	Após consumir mais 11 mM de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	5,95	54	23	644	0,858	1975	340	0,17
6	Após consumir mais 11 mM de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	5,97	53	34	589	0,771	1624	360	0,22
7	Após consumir mais 13 mM de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	6,01	45	47	554	0,703	1413	340	0,24
8	Após consumir mais 17 mM de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	5,98	42	64	521	0,677	1310	340	0,26

Embora as concentrações de íon ferro adicionadas não estejam totalmente disponíveis para a reação, foram obtidos significativos abatimentos nos valores dos parâmetros analisados (ver Figura 5.1). Com isto, a eficiência da reação pode ser confirmada também devido ao elevado consumo de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, o qual é requerido para a produção de <sup>•</sup>OH. Nos primeiros momentos da reação, cerca de apenas 70% do íon ferro foi detectado, possivelmente devido a complexação de parte destes para formar o complexo ferricitrato e parte complexado com os poluentes orgânicos presentes no LAS.

No entanto, nos primeiros ciclos de oxirredução (até cerca de 4 kJ<sub>UV</sub> L<sup>-1</sup>) do Fe e reagindo com o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, intensificou-se a geração de <sup>•</sup>OH, confirmado pelo aumento significativo no consumo de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> até aproximadamente 64 mM L<sup>-1</sup>, e pelas favoráveis cinéticas de degradação de todos os parâmetros analisados. Com isto, elevadas oxidações ocorreram atacando os poluentes orgânicos. Após, conforme reduz as concentrações de poluentes bem como a eficiência do complexante, uma vez que o ácido cítrico também é fotodegradado, as concentrações de íon ferro reduzem para cerca de 45%. Além disto, pesquisas

recentes relatam que partes dos subprodutos desta degradação são os ácidos carboxílicos de baixo peso molecular, os quais também complexam com o íon ferro, e para além, são mais estáveis requerendo maiores intensidades de energia para sua oxidação (Manenti *et al.*, 2014; Soares *et al.*, 2014; Manenti *et al.*, 2015).

Com isto, elevadas oxidações foram obtidas apresentando reduções em cerca de 31% dos compostos aromáticos, 32% do COD, bem como cerca de 19% e 44% da DBO<sub>5</sub> e da DQO, respectivamente, melhorando circunstancialmente a relação DBO<sub>5</sub>/DQO inicial do efluente (0,18) para 0,26, o que pode ser um indicador das melhores condições de biodegradabilidade no LAS tratado (ver Tabela 5.2). Contudo, as amostras (A0-A8) foram submetidas aos ensaios biológicos para aferir os efeitos tóxicos e de biodegradabilidade do tratado.

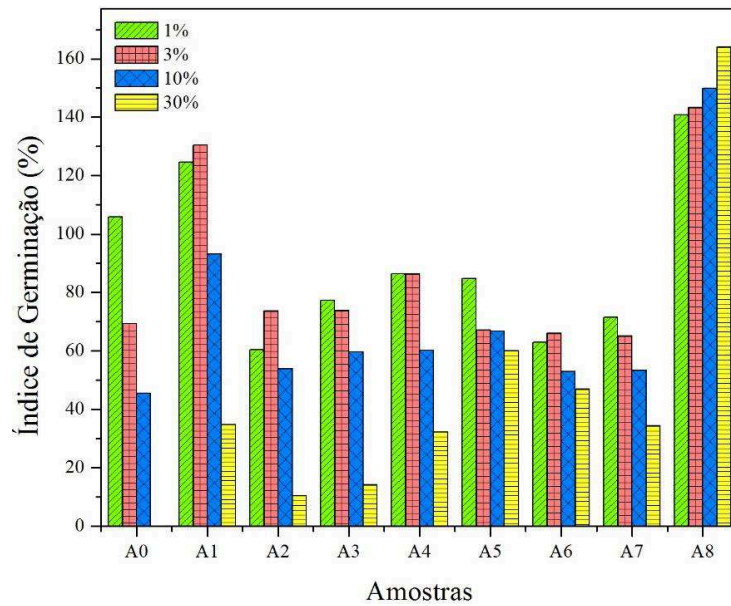
### **5.3. Avaliação da fitotoxicidade**

A fitotoxicidade foi analisada a partir de testes de germinação aplicados à *Lactuca sativa*. Os resultados obtidos foram expressos através do Índice de Germinação (IG), da Germinação Absoluta (GA), da Germinação Relativa (GR), do Crescimento e Inibição do Crescimento Relativo do Hipocótilo (CRH e ICRH) e do Crescimento e Inibição do Crescimento Relativo da Radícula (CRR e ICRR). Todos os dados obtidos foram calculados a partir de medições (Apêndice A) e as respostas expostas são dadas em porcentagem.

#### **5.3.1. Índice de Germinação**

Os resultados do Índice de Germinação estão contidos na Figura 5.2.

Conforme pode ser observado na Figura 5.2, a tendência das amostras é diminuir o IG conforme as concentrações da amostra aumentam, com exceção da amostra A8. Ainda, pode-se observar que o menor valor de IG foi obtido na amostra A0 (LAS bruto), no qual IG = 0,07% e, que o maior valor de IG foi obtido na amostra A8, na qual IG = 163,98%, sendo ambos na concentração de 30% da amostra. Desta forma, como a reação ferricitrato apresentou certa eficiência de remoção dos parâmetros analisados, a qualidade do efluente tratado pode ser confirmada pela melhoria dos índices de germinação após submetida ao tratamento.



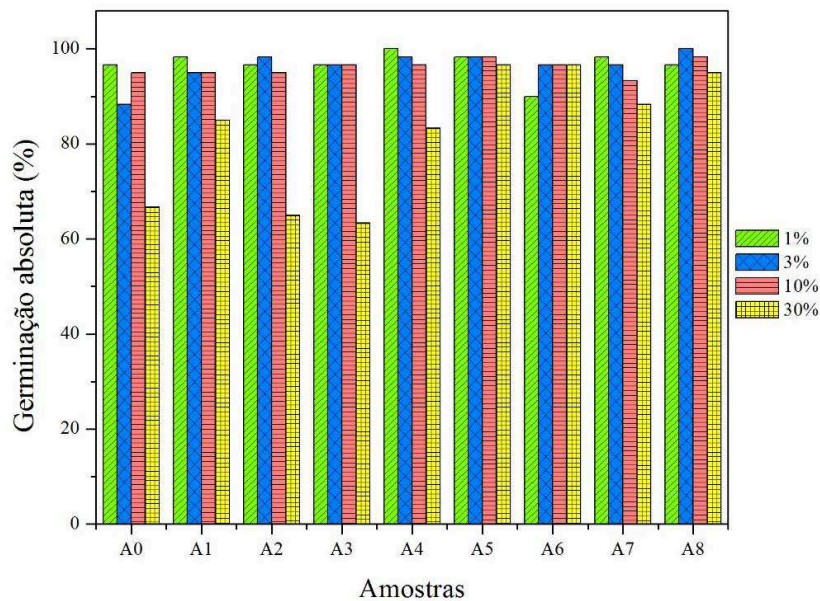
**Figura 5.2.** Índice de Germinação.

Testes estatísticos não foram realizados, uma vez que Sobrero e Ronco (2004) afirmam que estes são necessários apenas se as sementes do controle negativo (branco) tiverem germinação inferior à 50%, o que não foi observado em nenhum dos ensaios realizados. Ainda, as autoras sugerem que índices de germinação superiores à 100% podem ser referentes a diluição de alguns poluentes, os quais em baixas concentrações podem atuar como micronutrientes. No entanto, isto não deve ser considerado como fator positivo nos ensaios.

### 5.3.2. Germinação Absoluta

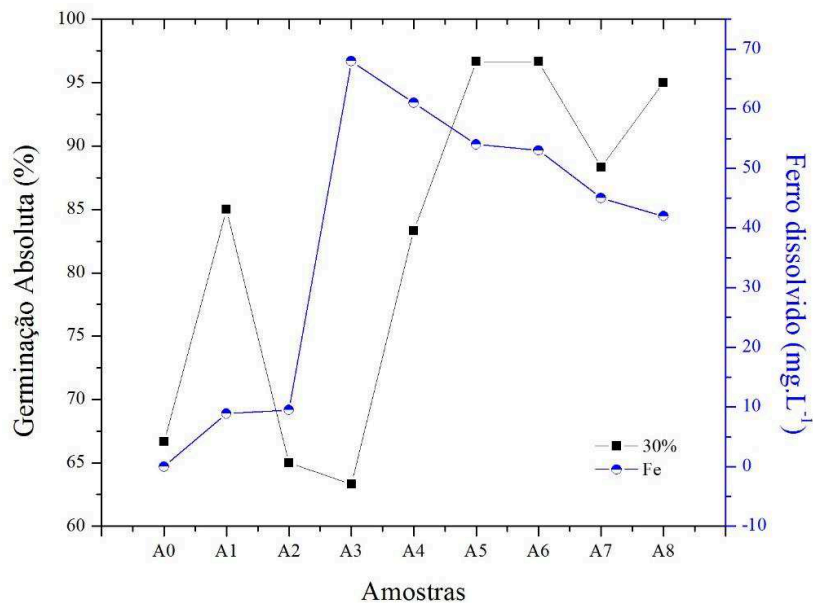
As porcentagens de Germinação Absoluta obtidas com os testes estão apresentadas na Figura 5.3.

Pode-se observar que em todas as amostras a GA foi nula quando as sementes foram submetidas à concentração de 100% (sem diluição). Ainda, os resultados mais significantes podem ser observados na concentração de 30%, na qual puderam ser percebidas grandes variações no comportamento das amostras. Tal fato não se observa nas outras concentrações. Além disto, o menor valor de GA foi também obtido na concentração de 30%, na amostra A3, no qual  $GA = 63,33\%$ .



**Figura 5.3.** Porcentagem de Germinação Absoluta.

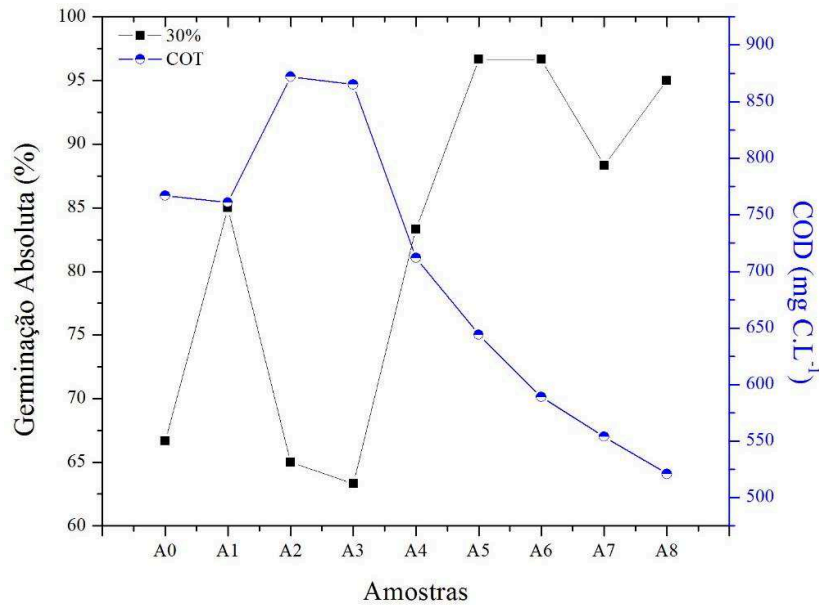
Alguns estudos afirmam que plantas submetidas a concentrações tóxicas de ferro geralmente apresentam sintomas visuais como, por exemplo, deposição de pigmentos amarronzados que causam escurecimento do sistema radicular e, ainda, redução do crescimento ou até mesmo morte do vegetal. Ainda, quando a concentração de ferro é considerada tóxica, usualmente são provocados desbalanços nutricionais, ocasionando deficiência de outros nutrientes essenciais, como fósforo, manganês, potássio e zinco (Jucoski, 2011; Ponnampereuma, 1972; Benckiser *et al.*, 1984; Yamuchi, 1989). Com isto, as Figuras 5.4 e 5.5 apresentam a relação entre a GA com as concentrações de ferro dissolvido e carbono orgânico dissolvido (COD) das amostras, respectivamente.



**Figura 5.4.** Relação entre a Germinação Absoluta em concentração de 30% e a concentração de ferro dissolvido nas amostras.

Em alguns indivíduos pode-se observar a deposição de pigmentos amarronzados (Figura 5.6), no entanto, conforme a Figura 5.4, o ferro não se apresentou como fator limitante à germinação nem mesmo ao crescimento das sementes, não sendo, neste estudo, tóxico para as amostras. Contudo, conforme a Figura 5.5, pode-se notar que o comportamento da germinação absoluta para concentrações de 30% foi inversamente proporcional ao comportamento da curva da concentração de COD. Ou seja, ao passo em que diminui a concentração de COD na amostra, aumenta a porcentagem de GA, o que resulta em um tratado de melhor qualidade quanto aos efeitos tóxicos.





**Figura 5.5.** Relação entre a Germinação Absoluta na concentração de 30% e a concentração de carbono orgânico dissolvido das amostras.



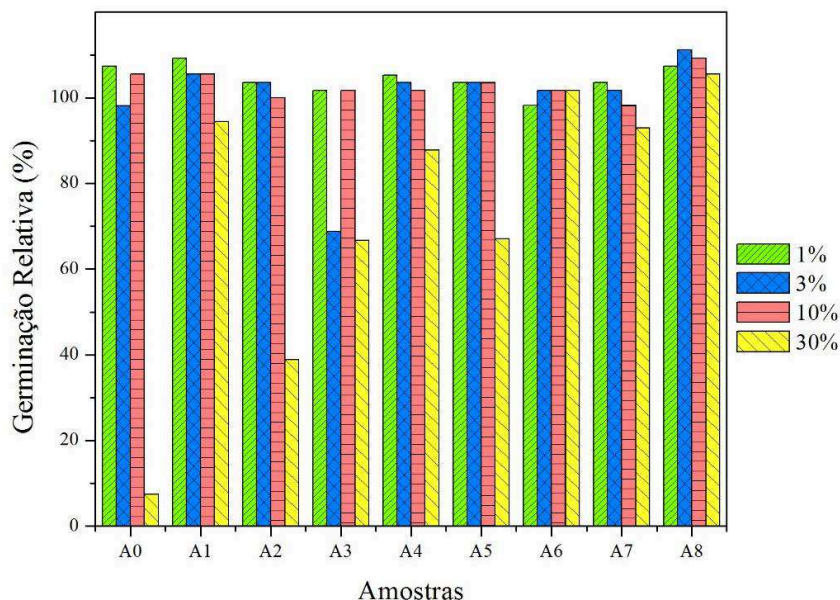
**Figura 5.6.** Deposição de pigmentos amarronzados nas plântulas.

### 5.3.3. Germinação Relativa

Os valores obtidos na Germinação Relativa, em porcentagem, estão apresentados na Tabela 5.5, a seguir.

Analisando a Figura 5.7, vê-se que o menor valor de GR foi obtido na amostra A0 (LAS bruto) em concentração de 30%, na qual  $GR = 7,41\%$  e que o maior valor de GR foi obtido na amostra A8 em concentração de 10%, na qual  $GR = 109,26\%$ . De maneira análoga à germinação absoluta, a maior oscilação dos valores de GR deu-se em concentrações de 30%.

Ainda, para melhor visualização dos dados obtidos, foi plotado um gráfico de colunas, apresentado na Figura 5.7.

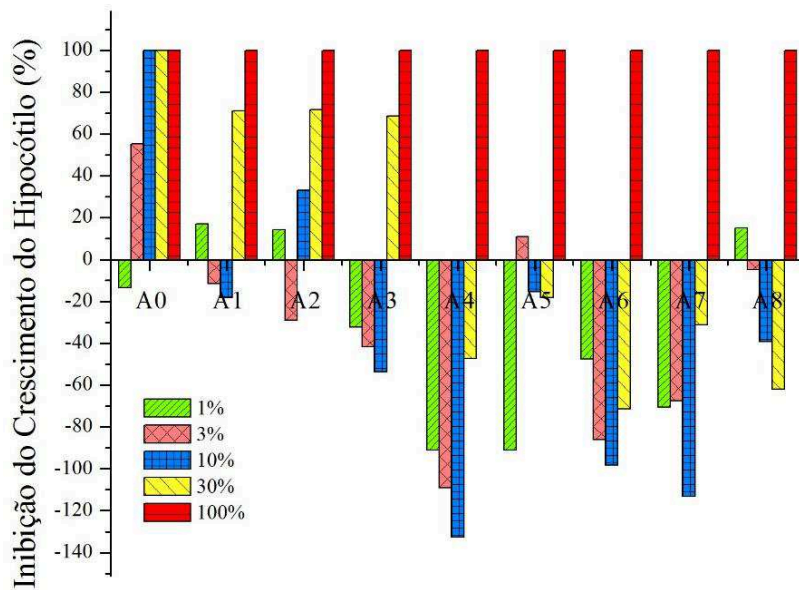


**Figura 5.7.** Porcentagem de Germinação Relativa.

#### 5.3.4. Crescimento e Inibição do Crescimento Relativo do Hipocótilo

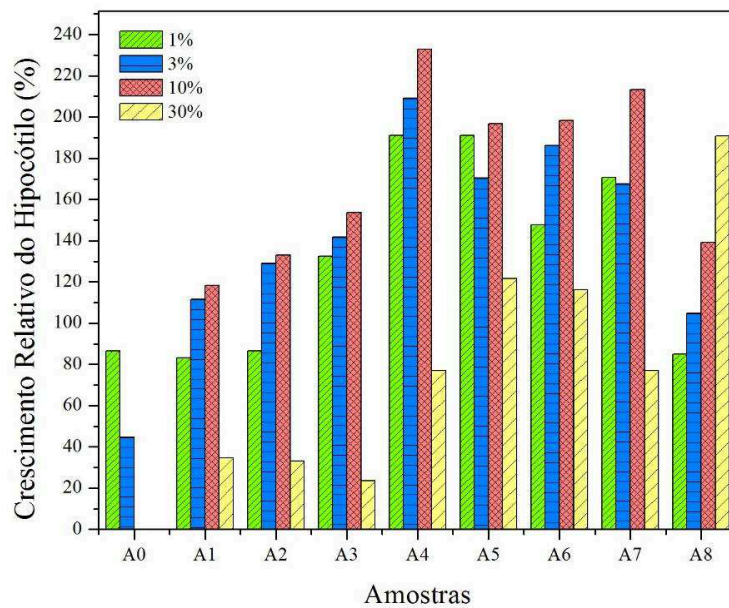
Dos valores das porcentagens de Inibição do Crescimento Relativo do Hipocótilo obtidos, foi plotado um gráfico para melhor visualização dos resultados, o qual está apresentado na Figura 5.8.

Pode-se observar, na Figura 5.8, que alguns dos valores apresentam-se negativos. Haja vista que o cálculo da ICRH leva em consideração a média de crescimento do hipocótilo no controle, pode-se afirmar que não houve inibição em tais casos, mas sim que o crescimento do hipocótilo foi maior que no controle. Ainda, é possível observar que, para todas as sementes submetidas à concentração de 100% do LAS, independente da amostra, a inibição foi de 100%, ou seja, o crescimento do hipocótilo foi nulo. Com exceção das concentrações de 100%, os maiores valores de inibição podem ser observados na amostra A0 (LAS bruto) em concentrações de 10% e 30%. A menor inibição ocorreu na concentração de 30% para a amostra A5, logo após o início do tratamento, na qual  $ICRH=10,85\%$ .



**Figura 5.8.** Porcentagem de inibição do crescimento relativo do hipocótilo.

A Figura 5.9, apresenta o gráfico do Crescimento Relativo do Hipocótilo.

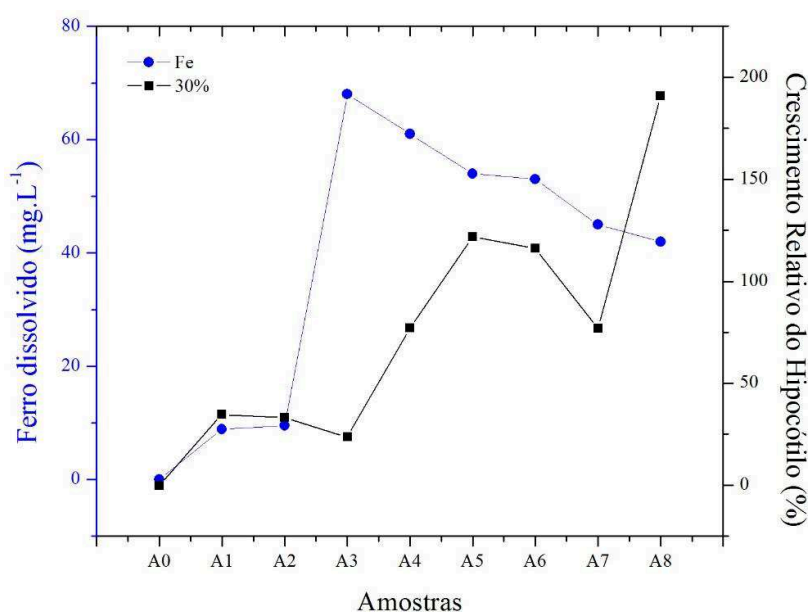


**Figura 5.9.** Crescimento Relativo do Hipocótilo.

Uma vez que a inibição foi total para as concentrações de 100%, optou-se por ocultá-la na Figura 5.9. A partir da mesma, pode-se constatar que os maiores valores de CRH foram atingidos na concentração de 10%, com exceção das amostras A0 e A8. O maior valor aferido foi de 232,68% na amostra A4, em concentração de 10%. Os menores valores foram obtidos

na amostra A0, nas concentrações de 10% e 30%. Percebe-se que houve melhora significativa nos valores do CRH antes mesmo de iniciar o tratamento, o que pode estar relacionado a perda de poluentes por volatilização no momento da acidificação, bem como pela adição do ácido cítrico, o qual é orgânico e pode ter colaborado para o desenvolvimento.

Assim como visto na germinação absoluta, para o CRH também é possível verificar que o ferro contido nas amostras não apresentou efeitos tóxicos (Figura 5.10), uma vez que mesmo havendo concentrações dos íons ferrosos em solução, o CRH evoluiu significativamente.

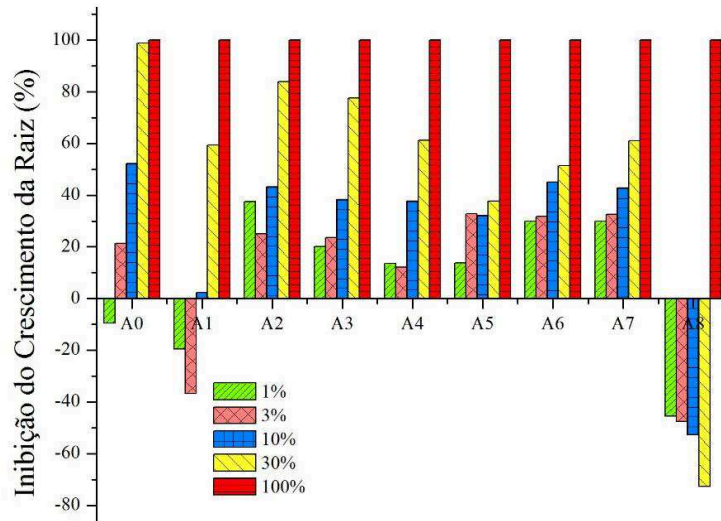


**Figura 5.10.** Influência do ferro dissolvido no crescimento relativo hipocótilo.

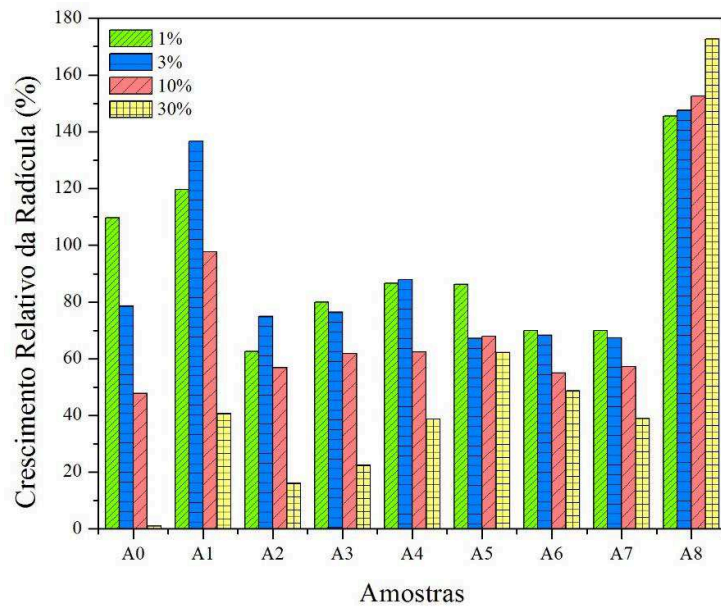
### 5.3.5. Crescimento e Inibição do Crescimento Relativo da Radícula

As porcentagens de Inibição do Crescimento Relativo da Radícula podem ser observadas na Figura 5.11. Pode-se constatar, a partir da Figura 5.11, que os maiores valores de inibição são atingidos nas concentrações de 30% e 100%, os quais são muito próximos ou iguais a 100% - ou seja, não houve crescimento da radícula. Além disso, diferente da ICRH, valores negativos são aferidos apenas nas amostras A0, A1 e A8. Isto é, apenas nestes casos, o crescimento da radícula foi superior ao crescimento da radícula no controle. Tal fato pode ser averiguado na Figura 5.12, a qual traz o gráfico da porcentagem de Crescimento Relativo da Radícula.

Da mesma maneira que o CRH, neste gráfico optou-se por ocultar o CRR para concentração de 100%, haja vista que a inibição foi total, isto é, não houve crescimento relativo. Como mencionado anteriormente, é possível perceber que os maiores valores de CRR são obtidos nas amostras A0, A1 e A8, nas quais a ICRR foi negativa.



**Figura 5.11.** Inibição do Crescimento Relativo da Radícula.



**Figura 5.12.** Crescimento Relativo da Radícula.

### 5.3.6. Análise da CL<sub>50</sub>

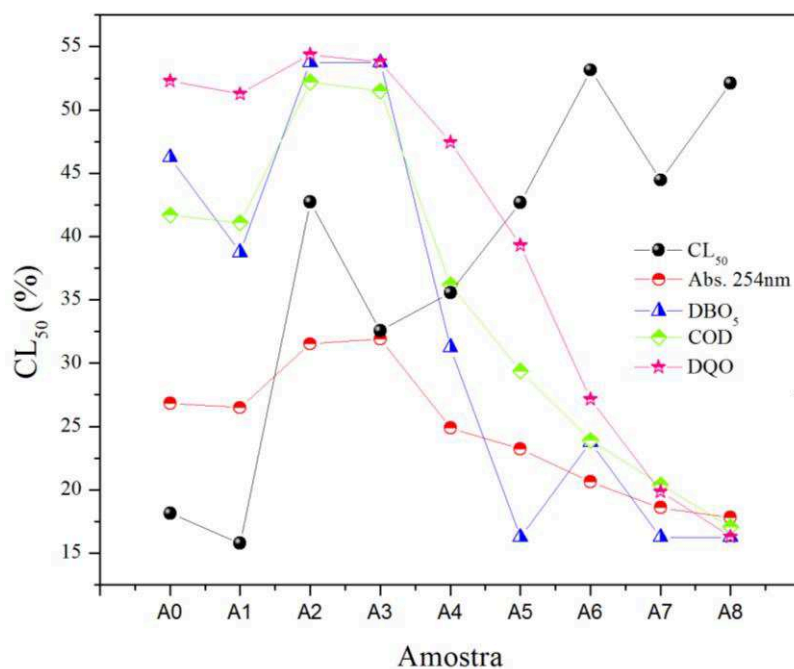
Todos os dados obtidos foram analisados utilizando o software Trimmed Spearman-Kärber Method<sup>®</sup>, versão 1.5 (Hamilton *et al.*, 1977) e as respostas da Concentração Letal para 50% dos organismos testes estão apresentadas na Tabela 5.3. A relação desta com a remoção de parâmetros físico-químicos está apresentada na Figura 5.13.

**Tabela 5.3.** Concentração letal para 50% dos organismos.

Amostra	CL <sub>50</sub> (%)	Intervalo de Confiança (95%)
A0	18,14	(15;20)
A1	15,78	(13;18)
A2	42,73	(36;49)
A3	32,56	(27;39)
A4	35,57	(30;41)
A5	42,68	(37;48)
A6	53,15	(50;56)
A7	44,46	(38;51)
A8	52,11	(48;55)

É possível afirmar que quanto maior o valor da CL<sub>50</sub>, menos nociva é a amostra. Com isso, afere-se que a amostra A6, é menos nociva que as demais e, que a amostra A1, correspondente à alíquota retirada no momento da neutralização do LAS, é a mais nociva aos organismos.





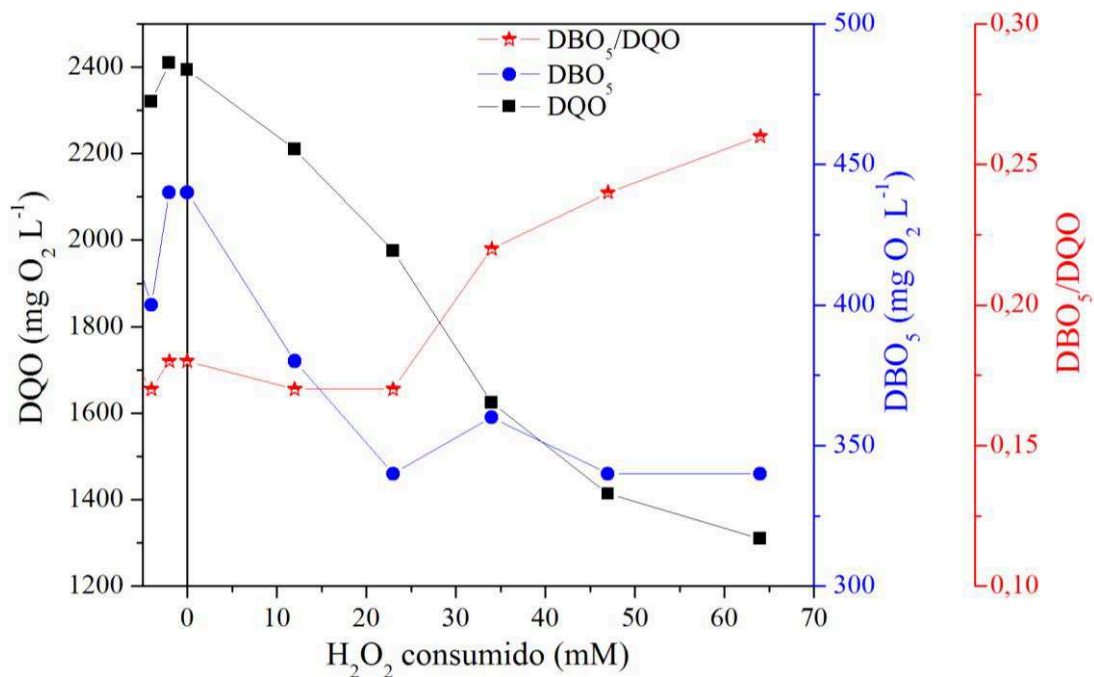
**Figura 5.13.** Curvas de comparação da CL<sub>50</sub> com a redução dos parâmetros físico-químicos.

Através da Figura 5.13, vê-se que, com a quebra de compostos aromáticos (Abs. 254nm), há melhorias das características tóxicas. Tal fato pode ser observado a partir da amostra A3, na qual são adicionados os reagentes da reação foto-Fenton. Além disso, observa-se que ao iniciar o tratamento do LAS, todos os parâmetros físico-químicos avaliados têm suas concentrações reduzidas, enquanto os valores da CL<sub>50</sub> tendem a aumentar.

Conforme mencionado anteriormente, a redução da toxicidade pode prover informações acerca da biodegradabilidade das amostras em estudo, sendo assim, é possível perceber que quanto maiores os valores da CL<sub>50</sub>, melhor a relação DBO<sub>5</sub>/DQO (mais biodegradável).

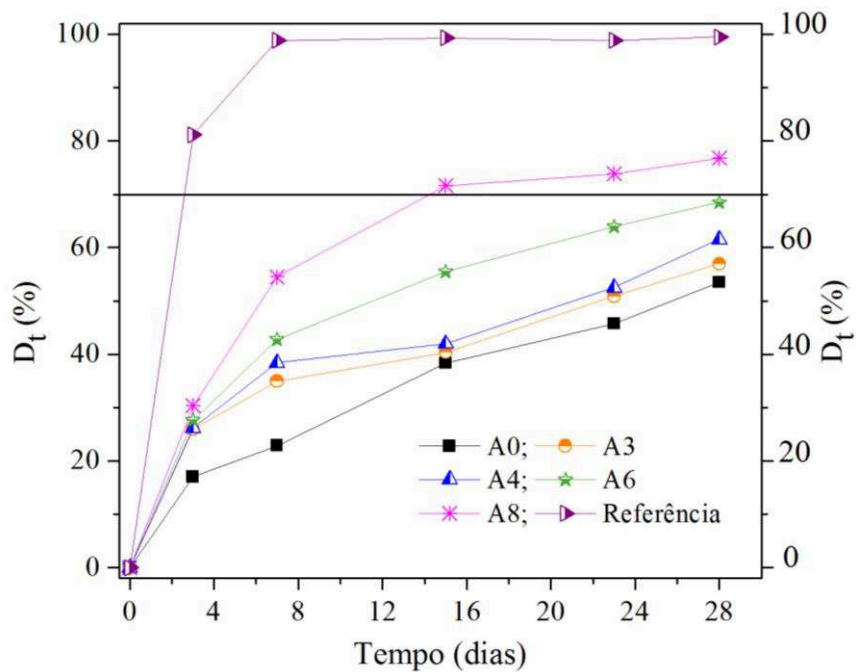
#### 5.4. Avaliação da biodegradabilidade

Todos os dados obtidos nos ensaios de Zahn-Wellens são apresentados no Apêndice B e as respostas estão expressas em D<sub>t</sub>. Conforme visto anteriormente, a relação DBO<sub>5</sub>/DQO mostra-se como um dos parâmetros mais importantes no que diz respeito à biodegradabilidade. Sendo assim, analisando a Figura 5.14, é possível afirmar que esta relação melhora com o tratamento do LAS, uma vez que inicialmente esta relação era de 0,18 e após o tratamento atingiu valor de 0,26.



**Figura 5.14.** Relação DBO<sub>5</sub>/DQO das amostras tratadas por ferricitrato.

Com isto, após o desenvolvimento do teste Zahn-Wellens de biodegradabilidade, plotou-se um gráfico da D<sub>t</sub> de algumas das amostras em estudo (Figura 5.15).



**Figura 5.15.** Porcentagem de biodegradação (D<sub>t</sub>).



No protocolo EC, *Directive 88/3030EEC* (OECD, 1992) consta que o teste só será válido se a amostra contendo o composto referência atingir  $D_t = 70\%$  em até 14 dias. Através da Figura 5.15 pode-se, então, afirmar que o teste é válido. Com isso, de acordo com os resultados obtidos no teste de Zahn-Wellens, as condições ideais para atingir um efluente biodegradável se dão na última amostra tratada (A8), correspondente à 64 mM de  $H_2O_2$  consumido, quando a redução da DQO foi de 44% e da DBO foi de 19%. Ainda, nesta amostra a razão  $DBO_5/DQO$  apresenta-se muito próxima ao mínimo exigido para aferir característica de biodegradabilidade (Figura 5.14).

Todas as outras amostras estudadas e avaliadas não atingiram porcentagem de biodegradabilidade a partir do teste. Porém, conforme discutido anteriormente e a partir da Figura 5.14, pode-se afirmar que as amostras A6 e A7 possuem relação  $DBO_5/DQO$  superiores a 0,2, ou seja, são passíveis de biodegradação, mas deve-se ter cuidado ao escolher um processo biológico de tratamento para que se tenha remoção desejável da carga orgânica.

## 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Os dados obtidos mostraram que a oxidação química proporcionada pela reação ferricitrato pode melhorar as condições de toxicidade e biodegradabilidade de um lixiviado de aterro sanitário. Utilizando concentrações de 100 mg de Fe L<sup>-1</sup> (1:3, Fe:ácido cítrico) foi possível gerar complexos ferricarboxílicos de ferricitrato mais estáveis, fotossensíveis e solúveis, proporcionando obter elevadas oxidações do LAS a um pH próximo à neutralidade. Nestas condições, foram obtidas respostas significativas de redução dos compostos orgânicos tais como a DQO, DBO, COD e absorvância a 254 nm, bem como melhoria nas condições de biodegradabilidade (DBO/DQO) confirmadas pelos ensaios de biodegradabilidade. Segundo os testes Zahn-Wellens, o LAS bruto é constituído por uma pequena parcela de compostos biodegradáveis em relação a DBO/DQO (0,18), o que pode ser melhorado ao longo do tratamento ferricitrato, alcançando uma relação de cerca de 0,26 após cerca de 64 mM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> consumido. Contudo, os testes de fitotoxicidade confirmaram os benefícios da reação ferricitrato na oxidação de compostos inicialmente tóxicos (CL<sub>50</sub> ~ 15%), uma vez que a CL<sub>50</sub> evolui para ~ 53% dos organismos testes. Além disto, as concentrações residuais dos subprodutos do processo de tratamento, tais como o íon ferro bem como o ligante orgânico, não apresentaram efeitos tóxicos aparentes aos organismos testes.

Com isto, sugere-se que a oxidação química seja interrompida no momento em que as condições de biodegradabilidade sejam atingidas, integrando-a a um subsequente tratamento dos compostos remanescentes baseado na oxidação biológica. Ainda, sugere-se que sejam realizados testes toxicológicos com organismos-teste de diferentes níveis tróficos a fim de caracterizar melhor o efluente em estudo quanto à sua toxicidade.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, F.N.; LAN, C.Q. Treatment of landfill leachate using membrane bioreactors: A review. **Desalination**, n.287, p.41-54, 2012.

AMOR, C. et al. Mature landfill leachate treatment by coagulation-flocculation combined with Fenton and solar photo-Fenton processes. **Journal of Harzadous Materials**, n.286, p.261-268, 2015.

APHA (American Public Health Association); AWWA (American Water Works Association); WEF (Water Environment Federation). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21<sup>a</sup> Ed. Washington – DC: APHA, 2005.

AZIZ, H. A. et al. Removal of HighStrength Colour from Semi-Aerobic Stabilized Landfill Leachate via Adsorption on Limestone and Activated Carbon Mixture. **Research Journal of Chemical Science**. Vol. 1(6), 1-7, Sept. 2011.

BALLESTEROS, M.M.M. et al. A comparative study of different tests for biodegradability enhancement determination during AOP treatment of recalcitrant toxic aqueous solutions. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v.73, p.1189-1195, 2010.

BENCKISER, G et al. Effect of iron fertilization on exudation activity, iron-reducing populations and Fe<sup>++</sup> formation in the rhizosphere rice (*Oryza sativa* L.) in relation to iron toxicity. **Plant and Soil**, 79: 305-316, 1984.

BODZEK, M. et al. Treatment of landfill leachate. In: Wang, L. K. et al. **Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment**, CRC Press, p.1257-1315, 2004.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 de março de 2005. p.58-63.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), **Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 de maio de 2011. p.83.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), **Resolução nº 396 de 03 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 07 de abril de 2008. p.64-68.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 de agosto de 2010.

CASTILHOS Jr, A. B.; DALSSASSO, R. L. ; ROHERS, F.; Pré-tratamento de lixiviados de aterros sanitários por filtração direta ascendente e coluna de carvão ativado. **Eng Sanit Ambient** v.15 n.4 385-392. 2010.

CASTRO, F. J. **Avaliação ecotoxicológica dos percolados das colunas de cinza de carvão e de solos com cinza de carvão utilizando Lactuca sativa e Daphnia similis como organismos teste.** 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2013.

CAVALCANTI, A. S. et al. Estudo da aplicação de foto-Fenton ( $Fe^{2+}/H_2O_2$ ) solar no pré-tratamento do chorume. **Revista Electrónica del Comité de Medio Ambiente.** v.5, 2013.

CHARLES, J. et al. Evaluation the phytotoxicity of polycontaminated industrial effluents using the lettuce plant (*Lactuca sativa*) as a bioindicator. **Ecotoxicology and Environmental Safety.** v.74, p.2057-206, 2011.

CHENG, M. et al. Hydroxyl radicals based advanced oxidation processes (AOPs) for remediation of soils contaminated with organic compounds: A review. **Chemical Engineering Journal** 284. 582–598. 2015.

DENG, Y.; ENGLEHARDT, J.D. Treatment of landfill leachate by the Fenton process. **Water Research,** n.40, p.3684-3694, 2006.

FELICI, E. M. et al. Remoção de carga orgânica recalcitrante de lixiviado de resíduos sólidos urbanos pré-tratado biologicamente por coagulação química-floculação-sedimentação. 177 **Eng Sanit Ambient,** v.18 n.2, (177-184). 2013.

FOLIN, O., CIOCALTEAU, V. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. **J. Biol. Chem.** 73, 627–650. 1927.

FOUL, A.A. et al. Primary treatment of anaerobic landfill leachate using activated carbon and limestone: batch and column studies. **Int. J. Environ. Waste Manage.** 4, 282-298. 2009.

GIANNAKIS, S. et al. Effect of advanced oxidation processes on the micropollutants and the effluent organic matter contained in municipal wastewater previously treated by three different secondary methods. **Water Research** 84. 295e306. 2015.

GIUSTI, L. A review of waste management practices and their impact on human health. **Waste Management,** n.29, p-2227-2239, 2009.

HAMILTON, M.A.; RUSSO, R.C.; THURSTON, R.V. Trimmed Spearman-Kärber Method for Estimating Median Lethal Concentrations in Toxicity Bioassays. **Environmental Science Technology** 11 (7), (1977) 714-719; Correction: 12 (4) (1978) 417 for a discussion of this method.

HUANG, W.Y.; BRIGANTE M.; WU F.; HANNA, K.; MAILHOT, G. Development of a new homogenous photo-Fenton process using Fe(III)–EDDS complexes. *J. Photochem. Photobiol. A Chem.* 239. 17–23. 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6332:1988**, Water quality - Determination of iron - Spectrometric method using 1,10-phenanthroline. 1988.

JARDIM, W. F.; CANELA, M. C. **Caderno Temático: Fundamentos da Oxidação Química no Tratamento de Efluentes e Remediação de Solos**. IQ/Unicamp, UENF/RJ, 2004.

JUCOSKI, G.O. **Toxicidade de ferro e metabolismo antioxidativo em Eugenia uniflora L.** Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

KETTUNEN R. H.; HOILIJOKI T. H.; RINTALA J. A.; Anaerobic and sequential anaerobic-aerobic treatments of municipal landfill leachate at low temperatures. **Bioresources Technology.** 58. 31-40. 1996.

LANGE, L.C.; AMARAL, M.C.S. **Geração e características do lixiviado**. In: GOMES, L.P. (coord.). Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. Rio de Janeiro: ABES, 2009, v. 1, p. 26-59.

LIU, M. et al. Treatment performance and N<sub>2</sub>O emission in the UASB-A/O shortcut biological nitrogen removal system for landfill leachate at different salinity. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry.** 2015.

LUTTERBECK, C. A. et al. Degradation of 5-FU by means of advanced (photo)oxidation processes: UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV/Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/TiO<sub>2</sub>—Comparison of transformation products, ready biodegradability and toxicity. **Science of the Total Environment** 527–528. 232–245. 2015.

MACHADO, E.C.C. **Avaliação da biodegradabilidade aeróbia de lixiviado de um aterro sanitário**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

MALATO, S. et al. Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: Recent overview and trends. *Catal. Today*, 147. 1-59. 2009.

MANENTI, D.R. **Tratamento de efluente têxtil utilizando os processos eletrofloculação, foto-Fenton e biológico integrados**. 229p. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

MANENTI, D. R. et al. Performance evaluation of different solar advanced oxidation processes applied to the treatment of a real textile dyeing wastewater. **Environmental Science and Pollution Research**. DOI 10.1007/s11356-014-2767-1, 2014.

MANENTI, D.R. Insights into photo-Fenton process using iron(III)-organic ligand complexes applied to a real textile wastewater treatment. **Chemical Engineering Journal**. v.266. p.203-212. 2015.

MANENTI, D. R.; SOARES, P. A.; MODENES, A. N.; ESPINOZA-QUINONES, F. R.; BOAVENTURA, R. A.R.; BERGAMASCO, R.; VILAR, V. J. P. Insights into solar photoFenton process using iron(III)–organic ligand complexes applied to real textile wastewater treatment. **Chemical Engineering Journal** . n. 266 pg. 203–212. 2015.

McBEAN, E.A., ROVERS, F. FARQUHAR, G.J. Solid waste landfill engineering and design. Prentice hall. 1995.

McCARTY, P.L. Principles and Application in Aquatic Microbiology. **Rudolf Research Conference Proceedings**, Rutgers University. Ed. H. Heikeleluan and W. Danders. New York, 1963.

MONTEAGUDO, J.M.; DURÁN, A.; CORRAL J.M.; CARNICER, A.; FRADES, J.M.; ALONSO, M.A. Ferrioxalate-induced solar photo-Fenton system for the treatment of winery wastewaters. **Chemical Engineering Journal**. 181– 182 pg. 281– 288. 2012.

MORAVIA, W. G. **Avaliação do tratamento de lixiviado de aterro sanitário através de processo oxidativo avançado conjugado com sistema de separação por membranas**. Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2010.

NOGUEIRA R. F. P; OLIVEIRA M. C.; PATERLINI W. C. Simple and fast spectrophotometric determination of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in photo-Fenton reactions using metavanadate. **Talanta** 66, 86-91. 2005.

OECD. OECD guidelines for the testing of chemicals. **Test no. 302B: Inherent biodegradability: Zahn–Wellens/EMPA**. Paris: OECD Publishing; 1992

OLIVEIRA, G.S. **Avaliação da toxicidade de efluente kraft após tratamento por Processos Oxidativos Avançados**. Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Processos Ambientais do Campus Curitiba da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2013.

OLLER, I. et al. Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination - A review. **Science of the Total Environment**, n.409, p.4141-4146, 2011.

PALÁCIO, S.M. et al. Estudo da toxicidade de efluente têxtil tratado por foto-Fenton artificial utilizando as espécies *Lactuca sativa* e *Artemia salina*. **Engevista**. v.14, n.2, p.127-134, 2012.

PELEGRINI, N.N.B. et al. Ensaios biológicos com sementes para avaliar a redução da toxicidade do chorume tratado por processo fotoquímico. **Minerva**. v.6, n.3, p.219-228, s.d.

PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, 24: 29-76, 1972.

PUERARI, R.C. **Avaliação toxicológica de nanopartículas de óxido de cromo(III) em microcrustáceo *Daphnia magna*, bactéria *Aliivibrio fischeri* e semente de *Lactuca sativa*.** Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Sanitária Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. 2014.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Meio Ambiente. Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA), **Resolução nº128 de 2006.** Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Meio Ambiente. Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA), **Resolução nº129 de 2006.** Dispõe sobre a definição de Critérios e Padrões de Emissão para Toxicidade de Efluentes Líquidos lançados em águas superficiais do Estado do Rio Grande do Sul.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Meio Ambiente. Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA), **Resolução nº251 de 2010.** Dispõe sobre a prorrogação do prazo para cumprimento do Art. 9º da Resolução CONSEMA 129/2006 que define Critérios e Padrões de Emissão para Toxicidade de Efluentes Líquidos lançados em águas superficiais do Estado do Rio Grande do Sul.

SAWYER, C., McCARTY, P., PARKIN, G. **Chemistry for Environmental Engineering and 733 Science**, McGraw-Hill Education, 2003.

SERAGHNI, et al. Fe(III)-Citrate-Complex-Induced Photooxidation of 3-Methylphenol in Aqueous Solution. **International Journey of Photoenergy**. v. 2012, p.1-10, 2012.

SILVA, T.F.C.V. et al. Sanitary landfill leachate treatment using combined solar photo-Fenton and biological oxidation processes at pre-industrial scale. **Chemical Engineering Journal**, n.228, p.850-866, 2013a.

SILVA, T.F.C.V. et al. Multistage treatment system for raw leachate from sanitary landfill combining biological nitrification-denitrification/solar photo-Fenton/biological processes, at a scale close to industrial - Biodegradability enhancement and evolution profile of trace pollutants. **Water Research**, n.47, p.6167-6186, 2013b.

SILVA, T.F.C.V. et al. Biodegradability enhancement of a leachate after biological lagooning using a solar driven photo-Fenton reaction, and further combination with an activated sludge biological process, at pre-industrial scale. **Water Research**, n.47, p.3534-3557, 2013c.

SILVA, T.F.C.V. et al. Insights of a solar photo-Fenton reaction parameters in the oxidation of a sanitary landfill leachate at lab-scale. **Journal of Environmental Management**, n.164, p.32-40, 2015.

SÍR, M. et al. The effect of humic acids on the reverse osmosis treatment of hazardous landfill leachate. Prague, Czech Republic. **Journal of Hazardous Materials**. 2011.

SOARES, P. A. et al. Insights into real cotton-textile dyeing wastewater treatment using solar advanced oxidation processes. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, p. 932–945, 2014.

SOBRERO, M.C; RONCO, A. Ensayo de toxicidad aguda com semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L). In: Morales, G.C. **Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas**: Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones, IMTA, p.72-79., 2004.

TCHENOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F. **Handbook of solid waster management**. McGraw-Hill. 2ed. 2002.

TEIXEIRA, C. P. A. B.; JARDIM, W. F. **Caderno Temático – Processos Oxidativos Avançados – Conceitos Teóricos**. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Laboratório de Química Ambiental, Volume 3 Campinas – SP, 2004.

TEMBLHEKAR, P.D. et al. Kinetics of wet air oxidation pretreatment and biodegradability enhancement of a complex industrial wastewater. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. 2014.

TSILOGEORGISA, J. et al. Application of a membrane sequencing batch reactor for landfill leachate treatment. **Desalination**, 221, 483-493. 2007

VILAR, et al. Solar photo-Fenton as a pre-oxidation step for biological treatment of landfill leachate in a pilot plant with CPCs. **Catalysis Today**. v. 161, p.228-234.2011a.

VILAR, et al. Treatment of a sanitary landfill leachate using combined solar photo-Fenton and biological immobilizes biomass reactor at a pilot scale. **Water Research**. v. 45, p.2647-2658. 2011b.

VILAR, et al. Treatment of textile wastewaters by solar-driven advanced oxidation processes. **Solar Energy**. v. 85, p.1927-1934, 2011c.

XU Y.; LIN Z.; HUI Z.; Mineralization of sucralose by UV-based advanced oxidation processes: UV/PDS versus UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. **Chemical Engineering Journal** 285.392–401. 2015.

YABROUDI S. C.; MORITA D. M.; ALÉM P.; Landfill Leachate Treatment over Nitritation/Denitritation in an Activated Sludge Sequencing Batch Reactor. **APCBEE Procedia** 5. 163 – 168. 2013.

YAMUCHI, M. Rice bronzing in Nigeria caused by nutrient imbalances and its control by potassium sulfate application. **Plant and Soil**, 117: 275-286, 1989.

ZHANG, G. et al. Aerobic SMBR/reverse osmosis system enhanced by Fenton oxidation for advanced treatment of old municipal landfill leachate. **Bioresource Technology** 142. 261–268. 2013.

ZHU, N. et al. Evaluating biotoxicity variations of landfill leachate as penetrating through the soil column. **Wasta Management**. v.33, p.1750-1757, 2013.



## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A

**Quadro 1.** Medidas da radícula e do hipocótilo para amostra A0.

BRANCO		1%		3%		10%		30%		100%	
Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
PLACA 01	1,250	2,220	0,631	1,032	0,794	0,762	0,515	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,700	1,245	0,984	1,114	0,830	0,779	0,293	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,140	2,900	0,798	1,043	0,561	0,866	0,316	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,160	1,790	0,448	1,086	1,265	0,796	0,090	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,620	2,050	0,689	1,100	0,417	0,604	0,247	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,600	1,140	1,056	1,409	1,018	0,859	0,231	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,730	1,340	0,827	1,128	0,732	0,412	0,299	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,890	0,940	0,807	1,776	0,590	0,695	0,365	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,135	1,000	0,737	1,256	0,285	0,167	0,366	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,025	2,350	1,108	1,571	0,697	0,963	0,367	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,862	1,810	0,945	1,019	0,532	0,776	0,388	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,010	1,900	1,071	1,551	0,315	0,690	0,284	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,914	1,300	0,809	1,324	0,691	0,760	0,286	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,946	0,635	0,736	1,011	0,227	0,398	0,114	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,819	2,327	0,761	0,869	0,408	0,354	0,283	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,525	1,014	0,563	1,096	0,196	0,224	0,237	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,448	0,628	0,935	1,123	0,357	0,435	0,236	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,412	0,412	0,894	0,403	0,343	0,230	0,165	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	1,250	1,630	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,553	0,622	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PLACA 02			1,251	2,161	1,077	1,039	0,166	0,000	0,128	0,000	0,000
			1,268	1,822	0,733	0,515	0,277	0,000	0,127	0,000	0,000
			1,540	2,943	0,691	0,551	0,306	0,000	0,127	0,000	0,000
			1,319	1,553	1,126	0,449	0,343	0,000	0,105	0,000	0,000
			1,235	1,256	1,029	0,854	0,363	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,183	1,437	0,402	0,496	0,222	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,310	1,246	0,952	0,955	0,314	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,742	0,629	0,698	0,815	0,402	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,929	0,927	0,166	0,339	0,384	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,859	1,165	0,311	0,246	0,426	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,047	1,398	1,072	1,396	0,338	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,915	0,914	0,862	0,592	0,404	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,256	0,626	0,442	0,774	0,277	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,601	0,961	0,285	0,442	0,384	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,810	1,892	0,214	0,349	0,386	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,232	0,000	0,784	0,368	0,453	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,159	0,291	1,028	0,482	0,371	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,280	0,799	0,677	0,461	0,306	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,097	0,345	0,588	0,545	0,302	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	0,422	0,000	0,000	0,000	0,000

BRANCO		1%		3%		10%		30%		100%	
Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
<b>PLACA 03</b>		0,812	1,447	1,069	1,385	0,732	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,838	1,183	0,495	0,421	0,535	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		1,250	1,882	1,053	1,324	0,459	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		1,276	2,189	1,019	0,739	0,342	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		1,348	2,357	0,863	1,022	0,558	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,855	0,902	0,848	1,108	0,566	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		1,069	1,737	0,813	1,000	0,842	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		1,011	1,649	0,937	1,240	0,661	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,789	1,081	0,670	0,810	0,790	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,690	0,799	0,512	0,586	0,312	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,806	1,244	0,870	1,033	0,419	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,548	0,545	0,935	0,732	0,529	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		1,415	1,721	0,665	0,554	0,440	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,294	0,412	0,807	0,672	0,324	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		1,363	1,321	0,835	0,609	0,540	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,801	1,040	0,000	0,475	0,477	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		1,093	1,301	0,000	0,000	0,436	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,527	1,047	0,000	0,000	0,622	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,495	0,720	0,000	0,000	0,283	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

**Quadro 2.** Medidas da radícula e do hipocótilo para amostra A1.

<b>BRANCO</b>		<b>1%</b>		<b>3%</b>		<b>10%</b>		<b>30%</b>		<b>100%</b>		
<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	
<b>PLACA 01</b>	0,843	1,117	1,596	1,670	0,672	1,180	0,690	1,197	0,270	0,416	0,000	0,000
	0,912	1,826	0,890	0,825	1,072	1,312	0,550	0,940	0,307	0,350	0,000	0,000
	0,885	1,738	0,727	0,708	1,483	0,890	0,623	1,438	0,508	0,646	0,000	0,000
	0,718	1,234	0,709	0,817	0,953	0,998	0,278	0,184	0,230	0,397	0,000	0,000
	0,667	0,834	1,082	1,180	1,300	1,087	0,292	0,380	0,195	0,333	0,000	0,000
	0,592	1,004	1,215	1,160	0,755	1,646	0,320	0,212	0,230	0,222	0,000	0,000
	0,516	0,746	0,495	0,250	0,740	0,515	0,224	0,291	0,252	0,311	0,000	0,000
	0,782	0,961	0,798	0,928	1,053	0,988	0,790	1,564	0,260	0,227	0,000	0,000
	0,525	0,448	0,958	1,000	0,704	1,116	0,547	1,147	0,370	0,690	0,000	0,000
	0,623	0,842	0,930	0,754	0,596	1,155	0,504	0,354	0,170	0,251	0,000	0,000
	0,637	0,943	0,520	0,270	1,264	1,112	0,470	0,840	0,193	0,217	0,000	0,000
	0,435	0,812	0,412	0,220	1,027	1,292	0,508	1,124	0,150	0,260	0,000	0,000
	0,438	0,277	0,393	0,000	0,434	0,436	0,335	0,488	0,352	0,320	0,000	0,000
	0,501	0,847	0,384	0,260	0,796	0,743	0,228	1,104	0,137	0,115	0,000	0,000
	0,613	0,582	0,439	0,277	0,970	1,583	0,429	1,110	0,329	0,000	0,000	0,000
	0,461	0,000	0,294	0,000	0,414	0,260	0,135	0,262	0,512	0,278	0,000	0,000
	0,404	0,458	0,380	0,000	0,480	0,268	0,155	0,201	0,465	0,397	0,000	0,000
	0,279	0,000	0,334	0,150	1,057	1,227	0,540	0,810	0,492	0,337	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,220	0,000	1,044	0,486	0,219	0,163	0,218	0,255	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,218	0,157	0,739	1,044	0,000	0,000	0,310	0,385	0,000	0,000
<b>PLACA 02</b>			1,029	1,210	0,836	0,770	0,910	1,677	0,535	0,664	0,000	0,000
			0,880	1,082	0,511	0,333	1,093	1,909	0,220	0,358	0,000	0,000
			0,723	0,882	0,617	0,277	0,803	1,728	0,421	0,512	0,000	0,000
			1,210	1,110	0,377	0,315	0,611	1,095	0,186	0,295	0,000	0,000
			0,964	0,897	0,680	0,715	0,690	0,884	0,180	0,135	0,000	0,000
			0,542	0,648	1,213	1,283	0,260	0,388	0,336	0,540	0,000	0,000
			0,925	1,723	0,410	0,510	0,244	0,668	0,250	0,194	0,000	0,000
			0,674	0,733	0,452	0,568	0,405	0,470	0,200	0,250	0,000	0,000
			0,533	0,487	0,958	1,265	0,290	0,290	0,190	0,185	0,000	0,000
			0,658	0,678	0,547	0,303	0,630	0,900	0,300	0,170	0,000	0,000
			1,226	1,616	0,217	0,219	0,980	1,885	0,255	0,228	0,000	0,000
			1,080	1,446	0,408	0,368	0,381	0,425	0,315	0,350	0,000	0,000
			0,984	0,452	1,332	0,735	0,877	1,100	0,280	0,000	0,000	0,000
			0,653	0,470	0,734	0,837	0,540	0,575	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,438	0,290	0,474	0,366	0,847	1,168	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,390	0,246	0,563	0,806	0,506	1,161	0,400	0,225	0,000	0,000
			0,333	0,213	0,810	1,293	0,746	0,995	0,193	0,190	0,000	0,000
			0,234	0,226	0,670	0,472	0,387	0,422	0,143	0,000	0,000	0,000
			0,263	0,133	0,000	0,000	0,408	0,483	0,247	0,185	0,000	0,000
			0,387	0,205	0,000	0,000	0,000	0,000	0,180	0,138	0,000	0,000

BRANCO		1%		3%		10%		30%		100%	
Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
<b>PLACA 03</b>		0,550	0,976	0,584	0,831	0,873	1,546	0,140	0,000	0,000	0,000
		1,148	1,363	0,744	1,660	0,899	1,303	0,263	0,235	0,000	0,000
		0,822	0,714	1,060	1,398	0,600	0,792	0,175	0,000	0,000	0,000
		0,913	1,029	1,357	1,599	0,643	0,600	0,260	0,294	0,000	0,000
		0,637	0,746	0,796	1,540	1,002	1,670	0,187	0,130	0,000	0,000
		1,034	0,700	1,300	1,651	0,544	0,785	0,240	0,190	0,000	0,000
		0,916	0,852	1,322	1,139	0,843	1,359	0,191	0,000	0,000	0,000
		1,005	0,490	0,377	0,375	0,935	1,046	0,298	0,475	0,000	0,000
		0,734	0,508	0,333	0,221	0,570	1,540	0,105	0,000	0,000	0,000
		0,668	0,400	0,540	0,742	0,712	1,200	0,180	0,000	0,000	0,000
		0,592	0,650	1,065	1,132	0,788	1,517	0,293	0,304	0,000	0,000
		0,437	0,485	0,440	0,363	0,803	1,314	0,120	0,000	0,000	0,000
		1,368	1,578	1,040	1,520	0,370	0,682	0,109	0,388	0,000	0,000
		0,748	0,400	1,085	1,430	0,367	0,847	0,000	0,000	0,000	0,000
		1,160	0,797	1,344	1,874	0,700	1,020	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,300	0,170	1,134	1,270	0,647	1,547	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,256	0,158	0,330	0,172	0,240	0,260	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,475	0,285	0,240	0,222	0,734	1,360	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,306	0,157	0,222	0,000	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

**Quadro 3.** Medidas da radícula e do hipocótilo para amostra A2.

<b>BRANCO</b>		<b>1%</b>		<b>3%</b>		<b>10%</b>		<b>30%</b>		<b>100%</b>		
<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	
<b>PLACA 01</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,940	0,882	0,950	1,176	0,211	0,000	0,000	0,000
	2,225	1,339	0,665	0,177	1,379	1,089	1,167	1,418	0,326	0,201	0,000	0,000
	1,890	1,216	0,997	0,178	1,034	0,765	0,743	0,726	0,321	0,000	0,000	0,000
	1,792	1,045	0,564	0,000	0,670	0,673	0,968	1,222	0,246	0,000	0,000	0,000
	1,148	0,828	0,939	0,244	1,312	0,752	0,806	1,062	0,261	0,000	0,000	0,000
	0,646	0,513	0,660	0,254	0,885	0,754	0,739	0,824	0,314	0,000	0,000	0,000
	0,460	0,000	0,560	0,000	1,071	1,086	0,683	0,946	0,000	0,000	0,000	0,000
	2,079	0,580	0,701	0,279	0,905	0,744	1,165	0,814	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,557	0,000	0,487	0,000	1,213	1,160	0,917	0,564	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,943	0,402	0,544	0,000	0,607	0,764	1,201	1,586	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,696	0,515	0,714	0,140	0,948	0,948	0,892	1,524	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,247	0,385	0,622	0,000	0,639	0,523	0,476	0,405	0,000	0,000	0,000	0,000
	2,189	0,833	0,728	0,000	0,585	0,406	0,647	0,466	0,000	0,000	0,000	0,000
	2,677	0,900	0,947	0,256	0,305	0,000	0,809	0,968	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,803	0,756	0,657	0,068	0,980	0,671	1,418	1,587	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,384	0,000	0,802	0,211	0,462	0,000	0,815	0,768	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,005	0,576	0,755	0,137	0,465	0,000	1,277	1,218	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,576	0,177	0,527	0,000	0,706	0,388	0,503	0,434	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,057	0,649	0,862	0,215	0,250	0,000	0,550	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,260	0,297	0,424	0,000	0,000	0,000	0,975	1,136	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>PLACA 02</b>			1,130	0,642	1,222	1,107	0,925	1,334	0,171	0,374	0,000	0,000
			1,273	1,062	1,660	1,135	0,797	1,280	0,312	0,381	0,000	0,000
			1,548	1,082	2,157	1,077	0,755	0,814	0,380	0,414	0,000	0,000
			1,087	0,725	1,030	1,418	1,026	0,776	0,246	0,250	0,000	0,000
			1,071	0,640	0,861	1,412	0,858	0,934	0,322	0,288	0,000	0,000
			0,000	0,000	1,420	0,870	0,728	0,373	0,384	0,355	0,000	0,000
			0,306	0,305	1,356	1,311	0,837	1,324	0,433	0,380	0,000	0,000
			1,582	0,925	1,045	1,242	0,647	1,012	0,257	0,258	0,000	0,000
			0,402	0,447	1,423	1,103	0,642	0,707	0,185	0,238	0,000	0,000
			0,202	0,151	1,007	1,325	0,474	0,256	0,188	0,205	0,000	0,000
			1,438	1,010	1,056	1,287	0,344	0,151	0,438	0,310	0,000	0,000
			1,130	0,759	1,040	0,671	0,939	1,193	0,385	0,392	0,000	0,000
			0,352	0,000	1,215	1,204	0,786	0,618	0,357	0,320	0,000	0,000
			1,653	0,922	1,357	0,500	0,405	0,211	0,278	0,196	0,000	0,000
			0,380	0,000	1,065	0,618	0,720	0,882	0,393	0,354	0,000	0,000
			1,419	1,101	0,428	0,000	0,862	0,649	0,346	0,327	0,000	0,000
			1,200	1,023	0,597	0,310	0,348	0,423	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,300	0,000	0,435	0,000	0,525	0,430	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,918	0,733	0,357	0,190	0,330	0,226	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,672	0,369	0,257	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

BRANCO		1%		3%		10%		30%		100%	
Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
		1,079	1,036	1,440	1,544	0,652	0,780	0,402	0,275	0,000	0,000
		1,041	0,929	1,622	1,134	0,814	1,284	0,278	0,245	0,000	0,000
		0,800	0,893	1,280	1,520	0,496	0,294	0,248	0,000	0,000	0,000
		0,867	0,651	1,118	0,940	1,031	1,082	0,445	0,244	0,000	0,000
		0,617	0,495	1,632	1,426	0,772	0,984	0,312	0,306	0,000	0,000
		1,045	1,109	0,676	0,669	1,006	1,164	0,314	0,220	0,000	0,000
		0,958	0,867	0,904	0,797	0,883	0,849	0,332	0,249	0,000	0,000
		1,194	1,269	1,180	0,825	0,317	0,305	0,198	0,279	0,000	0,000
		1,517	1,367	1,302	1,364	0,793	1,158	0,175	0,176	0,000	0,000
		0,967	0,504	0,792	0,611	0,523	0,722	0,331	0,331	0,000	0,000
		0,524	0,518	0,978	0,770	0,554	0,447	0,268	0,215	0,000	0,000
		0,202	0,173	1,205	0,887	0,582	0,682	0,213	0,144	0,000	0,000
		0,271	0,166	0,118	0,000	0,508	0,413	0,510	0,366	0,000	0,000
		0,902	0,998	0,727	0,421	0,393	0,365	0,305	0,347	0,000	0,000
		0,248	0,158	0,821	0,508	0,511	0,298	0,254	0,169	0,000	0,000
		0,534	0,577	0,420	0,194	0,438	0,442	0,221	0,182	0,000	0,000
		1,034	1,033	0,724	0,272	0,625	0,870	0,338	0,268	0,000	0,000
		0,607	0,483	1,059	0,716	0,436	0,287	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,208	0,096	0,562	0,202	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,324	0,150	0,456	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

PLACA 03

**Quadro 4.** Medidas da radícula e do hipocótilo para amostra A3.

<b>BRANCO</b>		<b>1%</b>		<b>3%</b>		<b>10%</b>		<b>30%</b>		<b>100%</b>		
<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	
<b>PLACA 01</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	1,082	0,837	0,969	1,234	0,506	0,495	0,000	0,000
	2,225	1,339	1,343	1,161	1,255	1,298	0,700	1,447	0,371	0,264	0,000	0,000
	1,890	1,216	1,326	0,761	1,395	1,376	0,716	0,768	0,434	0,456	0,000	0,000
	1,792	1,045	2,198	1,301	1,019	0,814	0,581	0,582	0,471	0,372	0,000	0,000
	1,148	0,828	1,178	1,424	1,549	0,890	0,906	0,622	0,631	0,457	0,000	0,000
	0,646	0,513	0,736	0,353	0,926	1,207	1,019	1,433	0,337	0,478	0,000	0,000
	0,460	0,000	0,649	0,527	0,772	0,972	1,231	1,218	0,340	0,746	0,000	0,000
	2,079	0,580	0,456	0,414	1,396	1,212	1,172	1,263	0,332	0,610	0,000	0,000
	0,557	0,000	1,740	1,081	0,645	0,514	0,378	0,208	0,192	0,279	0,000	0,000
	0,943	0,402	0,359	0,225	0,762	0,495	1,072	1,378	0,674	0,310	0,000	0,000
	0,696	0,515	1,302	0,953	0,392	0,179	0,630	0,920	0,499	0,315	0,000	0,000
	1,247	0,385	1,660	1,147	1,143	0,878	0,445	0,303	0,524	0,566	0,000	0,000
	2,189	0,833	0,828	1,105	0,629	0,290	0,701	0,568	0,352	0,262	0,000	0,000
	2,677	0,900	0,499	0,700	0,535	0,000	0,718	0,767	0,439	0,602	0,000	0,000
	1,803	0,756	1,424	0,913	0,449	0,318	1,197	0,974	0,382	0,000	0,000	0,000
	0,384	0,000	1,416	0,363	0,872	0,956	1,079	1,350	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,005	0,576	0,280	0,000	0,941	1,321	0,396	0,251	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,576	0,177	0,319	0,083	0,707	0,934	0,695	1,199	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,057	0,649	0,910	0,809	0,379	0,000	0,618	0,877	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,260	0,297	0,950	0,893	0,506	0,256	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>PLACA 02</b>			0,305	0,097	1,318	1,265	1,376	1,027	0,478	0,314	0,000	0,000
			0,252	0,064	1,013	1,518	1,463	1,676	0,424	0,323	0,000	0,000
			0,875	1,029	0,785	0,911	0,657	1,272	0,493	0,265	0,000	0,000
			1,358	0,956	1,351	1,131	0,779	0,525	0,432	0,319	0,000	0,000
			1,161	1,278	1,141	0,699	0,906	1,152	0,374	0,265	0,000	0,000
			1,184	1,260	1,236	0,686	0,575	0,886	0,402	0,254	0,000	0,000
			1,788	1,282	1,446	1,116	0,946	1,291	0,503	0,275	0,000	0,000
			1,261	1,382	0,893	0,757	0,961	1,291	0,374	0,217	0,000	0,000
			0,831	0,731	0,816	0,478	0,576	1,325	0,302	0,265	0,000	0,000
			0,617	0,970	0,808	0,822	0,374	0,000	0,376	0,311	0,000	0,000
			0,648	1,104	0,644	0,792	0,783	0,303	0,378	0,251	0,000	0,000
			0,714	0,398	1,289	1,028	1,004	1,361	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,644	0,253	1,025	0,850	1,008	1,105	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,716	0,661	1,304	0,688	0,846	1,377	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,791	0,658	0,769	0,770	0,761	1,277	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,322	0,417	1,451	1,357	0,606	0,496	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,712	0,873	1,035	1,592	0,593	0,461	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,435	0,793	0,717	0,454	0,789	0,725	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,646	0,322	0,658	0,000	0,502	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,684	1,037	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000



BRANCO		1%		3%		10%		30%		100%	
Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
<b>PLACA 03</b>		1,922	0,402	1,227	1,141	0,384	0,305	0,347	0,264	0,000	0,000
		1,623	0,464	2,156	1,285	0,987	1,656	0,393	0,000	0,000	0,000
		1,679	1,079	0,950	1,210	0,261	0,000	0,704	0,000	0,000	0,000
		1,554	1,216	0,894	0,916	0,529	0,783	0,586	0,000	0,000	0,000
		1,462	0,921	1,341	1,286	0,310	0,000	0,582	0,000	0,000	0,000
		1,399	1,075	0,656	0,589	1,011	1,325	0,429	0,000	0,000	0,000
		0,736	0,474	1,543	1,389	0,470	0,628	0,318	0,283	0,000	0,000
		0,782	0,772	0,699	0,853	0,631	0,791	0,503	0,201	0,000	0,000
		1,197	0,382	0,955	0,337	0,598	0,746	0,514	0,330	0,000	0,000
		1,137	0,819	0,591	0,528	1,357	1,353	0,432	0,213	0,000	0,000
		1,218	0,839	1,109	0,941	1,165	1,354	0,305	0,000	0,000	0,000
		1,362	0,556	0,818	0,697	0,568	0,713	0,420	0,210	0,000	0,000
		0,482	0,186	1,105	1,382	0,942	1,243	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,667	0,596	1,070	0,632	1,278	1,576	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,448	1,009	0,427	0,000	0,747	0,874	0,000	0,000	0,000	0,000
		1,332	0,867	0,366	0,000	0,338	0,782	0,000	0,000	0,000	0,000
		1,078	0,909	0,971	0,653	0,857	1,031	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,848	0,676	1,146	0,909	0,576	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,643	0,441	1,361	0,993	0,585	0,724	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,000	0,000	0,000	0,000	1,293	0,967	0,000	0,000	0,000	0,000

**Quadro 5.** Medidas da radícula e do hipocótilo para amostra A4.

<b>BRANCO</b>		<b>1%</b>		<b>3%</b>		<b>10%</b>		<b>30%</b>		<b>100%</b>		
<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	
<b>PLACA 01</b>	0,000	0,000	1,845	2,097	1,828	2,759	1,159	2,442	0,919	2,117	0,000	0,000
	2,225	1,339	1,597	1,443	1,650	1,679	0,948	1,976	0,952	1,793	0,000	0,000
	1,890	1,216	0,741	1,295	1,587	2,229	0,976	2,203	0,588	0,521	0,000	0,000
	1,792	1,045	0,894	1,390	1,780	1,365	1,026	2,031	0,752	1,048	0,000	0,000
	1,148	0,828	0,771	1,015	2,037	2,629	0,911	0,931	0,831	1,603	0,000	0,000
	0,646	0,513	1,385	2,345	1,717	1,878	0,781	1,078	0,778	1,274	0,000	0,000
	0,460	0,000	0,948	0,783	1,347	1,621	1,016	2,383	0,839	1,982	0,000	0,000
	2,079	0,580	1,297	1,870	1,669	1,828	0,904	0,767	0,525	0,716	0,000	0,000
	0,557	0,000	1,656	1,741	0,968	1,735	1,377	1,665	0,592	1,375	0,000	0,000
	0,943	0,402	1,426	2,059	0,975	0,926	0,561	1,090	0,479	1,152	0,000	0,000
	0,696	0,515	1,897	1,438	1,492	0,722	0,861	1,295	0,619	1,041	0,000	0,000
	1,247	0,385	0,959	1,556	0,470	1,096	0,594	1,659	0,391	0,865	0,000	0,000
	2,189	0,833	0,880	0,649	0,818	0,314	1,020	2,443	0,774	1,553	0,000	0,000
	2,677	0,900	0,770	0,852	0,826	0,498	0,965	2,206	0,605	1,026	0,000	0,000
	1,803	0,756	0,765	0,595	1,342	0,594	1,348	1,462	0,537	1,104	0,000	0,000
	0,384	0,000	0,402	0,272	0,479	1,082	0,571	1,162	0,357	0,000	0,000	0,000
	1,005	0,576	0,676	0,438	0,441	0,337	0,593	0,481	0,459	0,000	0,000	0,000
	0,576	0,177	0,702	0,886	0,464	0,351	0,333	0,240	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,057	0,649	0,464	0,000	0,392	0,346	0,344	0,521	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,260	0,297	0,258	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>PLACA 02</b>			1,188	1,322	1,985	2,407	1,051	1,518	0,950	1,659	0,000	0,000
			0,747	1,758	1,665	1,284	0,668	0,970	0,753	1,812	0,000	0,000
			1,652	1,529	1,912	2,163	0,823	0,447	0,776	1,483	0,000	0,000
			1,761	2,294	1,382	1,890	0,636	1,023	0,882	1,563	0,000	0,000
			1,086	1,685	0,660	1,447	0,981	2,105	0,552	1,216	0,000	0,000
			1,249	2,277	1,447	1,583	0,643	0,585	0,785	1,860	0,000	0,000
			1,286	1,390	1,518	2,355	1,315	2,226	0,381	1,123	0,000	0,000
			0,748	1,469	1,426	0,454	0,913	1,492	0,483	0,319	0,000	0,000
			0,910	1,858	0,821	1,790	1,104	2,229	0,517	0,431	0,000	0,000
			1,076	1,026	1,577	1,284	1,159	2,372	0,601	0,917	0,000	0,000
			1,211	1,904	0,759	1,204	0,946	1,608	0,474	0,902	0,000	0,000
			0,972	0,558	0,599	0,915	0,836	1,920	0,615	0,796	0,000	0,000
			0,764	0,481	1,005	1,453	1,077	1,971	0,285	0,727	0,000	0,000
			0,568	0,468	0,810	1,103	1,223	1,914	0,379	0,513	0,000	0,000
			0,898	0,535	0,839	0,942	0,848	0,897	0,421	0,579	0,000	0,000
			0,496	0,000	0,392	0,219	0,449	0,665	0,462	0,792	0,000	0,000
			0,376	0,000	0,450	0,698	0,404	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,572	0,210	0,639	0,532	0,378	0,269	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,441	0,000	0,275	0,281	0,367	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,573	0,000	0,243	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

BRANCO		1%		3%		10%		30%		100%	
Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
<b>PLACA 03</b>		1,695	1,829	2,082	2,420	1,342	2,626	0,753	1,356	0,000	0,000
		1,530	2,358	1,417	2,371	0,966	1,324	0,770	1,530	0,000	0,000
		1,761	1,589	1,478	1,911	0,826	1,398	0,517	1,052	0,000	0,000
		1,984	1,729	1,578	2,021	0,424	0,706	0,502	0,845	0,000	0,000
		2,396	1,589	1,712	1,902	0,501	0,574	0,412	1,130	0,000	0,000
		1,015	0,678	1,228	1,279	1,081	1,802	0,482	0,775	0,000	0,000
		1,649	1,289	1,547	1,349	0,859	2,732	0,541	1,027	0,000	0,000
		1,615	2,315	0,436	0,567	1,435	2,436	0,485	1,107	0,000	0,000
		1,638	0,811	1,467	1,950	0,804	1,462	0,481	0,752	0,000	0,000
		1,718	1,238	0,953	1,022	0,782	1,984	0,342	1,012	0,000	0,000
		1,325	1,784	0,779	0,837	0,519	1,564	0,443	1,086	0,000	0,000
		0,903	0,502	1,142	0,615	0,564	0,988	0,360	0,626	0,000	0,000
		1,608	0,520	0,775	0,776	0,501	0,947	0,325	0,481	0,000	0,000
		0,771	0,421	1,737	2,305	0,526	0,664	0,588	1,147	0,000	0,000
		0,883	0,262	0,572	0,508	0,772	2,196	0,560	0,776	0,000	0,000
		0,586	0,782	0,857	0,574	0,405	1,146	0,439	0,365	0,000	0,000
		0,479	0,514	0,923	0,381	0,512	0,601	0,336	0,000	0,000	0,000
		0,764	0,559	0,577	0,387	0,512	0,320	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,423	0,313	0,769	0,000	0,275	0,662	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,271	0,000	0,226	0,000	0,348	0,140	0,000	0,000	0,000	0,000

**Quadro 6.** Medidas da radícula e do hipocótilo para amostra A5.

BRANCO		1%		3%		10%		30%		100%		
Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	
PLACA 01	0,000	0,000	1,14	1,76	1,544	2,254	1,269	2,469	0,807	1,460	0,000	0,000
	2,225	1,339	1,788	2,011	1,001	1,430	1,304	2,470	0,480	1,622	0,000	0,000
	1,890	1,216	1,433	1,559	1,142	2,100	0,890	1,493	1,050	1,730	0,000	0,000
	1,792	1,045	1,396	0,818	1,186	1,826	0,644	1,293	0,783	1,635	0,000	0,000
	1,148	0,828	0,92	0,986	0,764	0,950	0,716	1,386	0,830	1,135	0,000	0,000
	0,646	0,513	1,112	1,584	1,463	2,300	0,975	0,606	0,625	0,788	0,000	0,000
	0,460	0,000	1,214	1,372	1,183	1,489	1,162	1,804	0,522	0,445	0,000	0,000
	2,079	0,580	1,187	1,569	0,638	0,690	0,511	0,970	1,023	1,933	0,000	0,000
	0,557	0,000	1,244	1,842	0,970	0,328	0,635	1,120	0,824	1,211	0,000	0,000
	0,943	0,402	0,503	0,352	1,216	1,778	0,850	1,443	0,451	0,698	0,000	0,000
	0,696	0,515	0,626	0,558	0,772	0,773	0,970	1,340	0,575	0,911	0,000	0,000
	1,247	0,385	1,288	1,438	0,845	0,805	0,970	2,040	0,450	0,850	0,000	0,000
	2,189	0,833	0,762	0,876	0,672	0,737	0,880	1,120	0,975	1,655	0,000	0,000
	2,677	0,900	0,834	0,627	1,394	1,051	0,572	0,516	0,644	0,607	0,000	0,000
	1,803	0,756	0,58	0,507	0,590	1,133	0,790	0,907	0,747	1,434	0,000	0,000
	0,384	0,000	0,539	0,462	0,603	1,070	0,640	0,607	0,415	0,807	0,000	0,000
	1,005	0,576	0,635	0,465	0,510	0,255	0,790	0,507	0,457	0,650	0,000	0,000
	0,576	0,177	0,567	0,592	0,565	0,266	2,164	1,649	0,569	0,880	0,000	0,000
	1,057	0,649	0,492	0,35	0,260	0,219	0,519	0,308	0,470	0,245	0,000	0,000
	1,260	0,297	0,231	0,136	1,489	0,775	0,185	0,145	0,447	1,045	0,000	0,000
PLACA 02			1,620	1,933	1,352	1,924	1,150	1,542	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,521	1,58	1,215	2,011	1,156	2,156	0,000	0,000	0,000	0,000
			1,142	1,778	0,721	0,456	0,826	1,546	0,826	2,147	0,000	0,000
			1,052	1,424	0,890	1,354	1,700	2,050	1,048	2,217	0,000	0,000
			1,255	1,124	1,661	1,979	0,830	1,434	0,913	2,284	0,000	0,000
			1,419	0,846	0,590	0,708	1,136	1,587	0,707	1,717	0,000	0,000
			1,594	1,527	0,873	1,370	1,095	1,828	0,664	0,557	0,000	0,000
			1,054	1,399	0,700	1,070	1,270	2,292	0,243	0,150	0,000	0,000
			1,242	1,41	0,830	0,617	1,094	1,654	0,777	1,830	0,000	0,000
			1,68	1,500	0,954	0,833	0,627	0,244	1,022	1,882	0,000	0,000
			1,506	1,739	1,223	1,954	1,230	2,380	0,693	1,804	0,000	0,000
			1,156	1,043	1,016	0,534	1,356	1,658	0,823	1,616	0,000	0,000
			0,837	1,142	0,995	0,740	0,905	1,248	1,195	2,117	0,000	0,000
			1,095	0,922	0,320	0,200	0,319	0,416	0,780	1,931	0,000	0,000
			0,922	0,775	0,322	0,255	0,448	0,289	0,858	1,577	0,000	0,000
			0,687	0,446	0,266	0,230	0,947	0,476	0,385	0,516	0,000	0,000
			0,334	0,181	1,396	1,698	1,190	2,275	0,367	0,520	0,000	0,000
			0,511	0,38	1,497	1,960	0,142	0,344	0,503	0,760	0,000	0,000
			0,466	0,238	0,377	0,000	0,747	2,187	0,514	0,857	0,000	0,000
			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,800	1,620	0,000	0,000

BRANCO		1%		3%		10%		30%		100%	
Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
<b>PLACA 03</b>		1,795	1,491	1,138	1,948	1,138	1,948	0,677	0,727	0,000	0,000
		1,990	1,790	0,542	0,480	0,542	0,480	1,510	2,521	0,000	0,000
		1,644	1,790	1,558	1,634	1,558	1,634	0,708	0,820	0,000	0,000
		1,712	1,840	0,862	1,246	0,862	1,246	1,470	2,374	0,000	0,000
		1,252	1,517	1,630	1,646	1,630	1,646	1,690	2,070	0,000	0,000
		1,534	1,610	0,380	1,266	0,380	1,266	1,325	2,344	0,000	0,000
		1,67	0,833	0,650	0,869	0,650	0,869	1,120	2,234	0,000	0,000
		1,507	1,840	1,438	0,735	1,438	0,735	1,122	2,172	0,000	0,000
		1,612	1,530	0,548	0,871	0,548	0,871	1,152	2,012	0,000	0,000
		1,080	1,291	0,330	0,412	0,330	0,412	0,676	1,588	0,000	0,000
		1,708	1,534	0,390	0,520	0,390	0,520	0,872	1,369	0,000	0,000
		1,548	1,263	0,960	1,328	0,960	1,328	0,837	1,330	0,000	0,000
		0,730	0,534	0,766	0,363	0,766	0,363	0,754	0,683	0,000	0,000
		0,368	0,431	0,546	0,840	0,546	0,840	0,993	1,530	0,000	0,000
		0,279	0,174	0,667	0,312	0,667	0,312	0,895	0,751	0,000	0,000
		0,812	0,918	0,355	0,220	0,355	0,220	1,188	2,107	0,000	0,000
		0,916	0,986	0,470	0,470	0,470	0,470	0,655	0,757	0,000	0,000
		1,360	1,760	0,307	0,250	0,307	0,250	0,582	0,670	0,000	0,000
		0,339	0,213	0,344	0,160	0,344	0,160	0,865	0,909	0,000	0,000
		0,285	0,160	0,654	0,360	0,654	0,360	0,607	0,500	0,000	0,000

**Quadro 7.** Medidas da radícula e do hipocótilo para amostra A6.

<b>BRANCO</b>		<b>1%</b>		<b>3%</b>		<b>10%</b>		<b>30%</b>		<b>100%</b>		
<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	
<b>PLACA 01</b>	0,000	0,000	1,780	1,642	0,989	2,195	0,572	1,698	0,803	1,303	0,000	0,000
	2,225	1,339	2,167	2,034	1,246	1,216	0,407	0,842	0,724	0,916	0,000	0,000
	1,890	1,216	0,705	1,892	1,136	1,193	0,466	1,225	0,651	0,832	0,000	0,000
	1,792	1,045	1,961	2,094	1,433	2,296	0,876	1,976	0,545	0,777	0,000	0,000
	1,148	0,828	2,223	1,857	1,658	2,040	0,467	1,352	0,512	0,849	0,000	0,000
	0,646	0,513	1,645	1,513	1,839	1,836	0,922	0,827	0,676	1,049	0,000	0,000
	0,460	0,000	1,441	1,726	1,064	2,392	0,278	0,975	0,322	0,703	0,000	0,000
	2,079	0,580	1,090	1,402	1,583	2,212	0,662	1,022	0,518	1,209	0,000	0,000
	0,557	0,000	1,176	0,620	1,143	1,953	0,284	0,571	0,536	1,036	0,000	0,000
	0,943	0,402	0,793	0,330	0,836	0,727	0,456	0,604	0,484	0,944	0,000	0,000
	0,696	0,515	0,962	0,845	1,178	1,355	0,355	0,632	0,347	0,855	0,000	0,000
	1,247	0,385	0,674	0,358	0,991	0,808	1,065	1,676	0,721	0,483	0,000	0,000
	2,189	0,833	0,518	0,610	0,826	1,301	0,356	0,895	0,358	0,787	0,000	0,000
	2,677	0,900	0,438	0,361	0,797	0,988	0,404	0,874	0,306	0,495	0,000	0,000
	1,803	0,756	0,569	0,359	0,597	1,398	0,242	0,308	0,416	0,992	0,000	0,000
	0,384	0,000	0,387	0,304	0,794	1,310	0,416	0,256	0,152	0,000	0,000	0,000
	1,005	0,576	0,405	0,355	0,365	0,557	0,233	0,000	0,136	0,000	0,000	0,000
	0,576	0,177	0,491	0,000	0,428	0,269	0,464	0,000	0,373	0,000	0,000	0,000
	1,057	0,649	0,329	0,251	0,367	0,397	0,065	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,260	0,297	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>PLACA 02</b>			1,050	1,758	1,542	1,726	1,001	2,397	0,874	1,881	0,000	0,000
			1,239	1,320	0,768	1,321	1,441	2,125	0,840	1,790	0,000	0,000
			0,889	1,251	0,705	1,109	1,253	2,407	0,818	1,007	0,000	0,000
			0,639	1,456	0,943	0,736	1,237	2,418	0,345	1,047	0,000	0,000
			1,182	1,278	1,358	1,059	1,244	2,268	0,663	0,879	0,000	0,000
			0,940	1,086	0,789	0,447	0,912	1,705	0,701	1,504	0,000	0,000
			0,827	1,323	0,877	1,749	1,349	2,349	0,787	1,388	0,000	0,000
			0,995	1,089	1,222	1,802	0,736	1,054	0,644	1,082	0,000	0,000
			1,437	0,733	1,427	1,901	0,532	0,932	0,890	1,222	0,000	0,000
			0,881	0,722	0,726	0,846	0,852	2,185	0,345	0,711	0,000	0,000
			1,007	1,326	0,812	0,810	1,425	2,060	0,590	0,853	0,000	0,000
			0,661	0,992	1,399	2,260	0,785	0,982	0,548	0,819	0,000	0,000
			0,902	1,022	0,912	0,638	1,207	1,042	0,836	1,082	0,000	0,000
			0,838	0,999	0,902	0,529	0,959	2,149	0,514	0,379	0,000	0,000
			0,522	0,752	0,422	0,153	0,605	0,809	0,432	0,539	0,000	0,000
			0,321	0,311	0,318	0,000	0,703	0,789	0,426	0,445	0,000	0,000
			0,464	0,316	0,462	0,216	0,405	0,837	0,844	0,590	0,000	0,000
			0,376	0,261	0,344	0,000	0,207	0,000	0,713	1,588	0,000	0,000
		0,000	0,000	0,241	0,000	0,287	0,000	0,479	0,642	0,000	0,000	
		0,000	0,000	0,000	0,000	0,415	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	

BRANCO		1%		3%		10%		30%		100%	
Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
<b>PLACA 03</b>		1,376	1,822	1,260	1,963	1,142	2,320	1,144	1,719	0,000	0,000
		1,140	1,867	1,150	2,315	0,283	0,785	0,524	1,024	0,000	0,000
		1,466	2,101	0,409	0,936	0,618	1,070	1,074	1,772	0,000	0,000
		1,283	1,382	0,778	1,349	0,735	1,349	0,853	1,411	0,000	0,000
		1,460	1,392	0,936	1,186	0,876	1,211	0,889	1,462	0,000	0,000
		1,082	1,533	1,147	2,032	1,259	1,564	0,877	1,612	0,000	0,000
		1,362	0,415	0,724	0,875	0,939	2,429	1,238	1,655	0,000	0,000
		1,414	1,356	0,902	1,378	1,049	2,071	0,778	1,354	0,000	0,000
		0,729	0,736	1,352	2,157	0,365	0,958	0,862	1,012	0,000	0,000
		0,452	0,246	0,471	0,403	0,669	1,414	0,636	1,254	0,000	0,000
		1,077	0,508	1,099	1,056	1,037	1,041	0,945	1,599	0,000	0,000
		0,522	0,000	0,733	0,740	0,894	1,741	0,587	0,786	0,000	0,000
		0,495	0,386	0,528	0,734	0,704	0,453	0,478	0,507	0,000	0,000
		0,445	0,000	0,698	0,557	0,852	1,333	0,563	1,206	0,000	0,000
		0,519	0,000	0,795	0,241	0,543	1,593	0,648	1,355	0,000	0,000
		0,548	0,000	0,795	0,680	0,701	0,296	0,432	0,530	0,000	0,000
		0,568	0,000	0,862	0,513	0,331	0,000	0,393	1,096	0,000	0,000
		0,306	0,522	0,402	0,000	0,812	0,000	0,836	0,578	0,000	0,000
	0,523	0,000	0,000	0,000	0,223	0,000	0,778	1,584	0,000	0,000	
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,503	0,756	0,000	0,000	

**Quadro 8.** Medidas da radícula e do hipocótilo para amostra A7.

		BRANCO		1%		3%		10%		30%		100%	
		Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
<b>PLACA 01</b>		0,000	0,000	1,450	1,818	1,386	1,636	1,362	2,397	0,530	0,998	0,000	0,000
		2,225	1,339	0,596	1,329	0,980	1,250	0,679	0,627	0,626	1,074	0,000	0,000
		1,890	1,216	1,114	1,497	0,955	2,040	0,711	0,471	0,581	0,725	0,000	0,000
		1,792	1,045	0,405	0,490	0,661	1,340	0,731	1,788	0,459	0,410	0,000	0,000
		1,148	0,828	0,844	1,181	0,675	0,511	0,742	1,205	0,638	1,154	0,000	0,000
		0,646	0,513	1,030	1,493	0,357	0,375	0,968	1,718	0,477	0,615	0,000	0,000
		0,460	0,000	0,638	0,782	0,840	0,615	1,204	2,433	0,440	0,777	0,000	0,000
		2,079	0,580	1,508	1,331	0,778	1,038	0,778	1,060	0,610	1,210	0,000	0,000
		0,557	0,000	0,700	0,911	1,413	1,946	1,470	2,540	0,537	0,917	0,000	0,000
		0,943	0,402	1,280	1,200	1,394	1,559	0,880	1,140	0,915	1,760	0,000	0,000
		0,696	0,515	0,930	0,792	0,790	0,532	1,263	2,376	0,510	0,570	0,000	0,000
		1,247	0,385	0,793	0,792	1,477	1,711	0,510	0,382	1,017	0,770	0,000	0,000
		2,189	0,833	0,566	0,662	0,618	0,455	0,628	0,896	0,390	0,640	0,000	0,000
		2,677	0,900	0,897	0,540	1,182	1,750	0,424	0,321	0,340	0,138	0,000	0,000
		1,803	0,756	0,451	0,196	0,416	0,507	1,040	1,770	0,127	0,000	0,000	0,000
		0,384	0,000	0,627	0,318	1,365	1,815	0,580	0,444	0,451	0,728	0,000	0,000
		1,005	0,576	0,320	0,230	0,390	0,370	0,687	0,388	0,280	0,280	0,000	0,000
		0,576	0,177	0,454	0,000	0,312	0,249	0,844	0,470	0,000	0,000	0,000	0,000
		1,057	0,649	0,413	0,196	1,480	1,391	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		1,260	0,297	0,000	0,000	1,468	1,884	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>PLACA 02</b>				1,256	1,597	0,868	1,856	0,587	0,911	0,690	0,875	0,000	0,000
				0,701	1,730	1,206	0,940	1,152	2,330	0,365	0,904	0,000	0,000
				0,494	0,700	0,660	0,432	0,640	1,160	0,680	0,888	0,000	0,000
				0,928	1,313	1,070	1,931	0,497	0,558	0,817	0,403	0,000	0,000
				0,833	1,220	0,740	0,781	0,836	0,995	0,444	1,187	0,000	0,000
				1,418	1,403	1,320	1,385	0,802	1,266	0,610	0,815	0,000	0,000
				0,681	0,792	0,485	0,519	0,486	0,795	0,852	1,512	0,000	0,000
				1,771	1,910	0,517	0,410	0,488	1,265	0,605	0,632	0,000	0,000
				1,064	0,745	0,656	1,721	0,468	0,997	0,930	1,670	0,000	0,000
				1,309	1,784	0,460	0,400	0,892	1,803	0,778	1,423	0,000	0,000
				1,063	0,631	0,627	0,694	0,644	1,167	0,363	0,765	0,000	0,000
				1,750	1,794	0,885	1,504	0,680	0,460	0,885	1,397	0,000	0,000
				2,026	1,848	0,451	0,333	0,540	0,327	0,562	1,060	0,000	0,000
				0,621	0,756	0,520	0,994	0,897	0,518	0,583	0,903	0,000	0,000
				1,198	1,620	0,617	0,221	1,195	2,442	0,493	0,956	0,000	0,000
				0,546	0,630	1,060	0,570	1,340	2,185	0,643	0,466	0,000	0,000
				2,157	1,011	0,259	0,208	0,880	1,483	0,692	0,870	0,000	0,000
				0,988	1,463	0,300	0,000	1,175	1,920	0,335	0,382	0,000	0,000
				0,390	0,207	0,427	0,247	0,000	0,000	0,732	0,990	0,000	0,000
				0,358	0,253	0,000	0,000	0,000	0,000	0,498	1,014	0,000	0,000



BRANCO		1%		3%		10%		30%		100%	
Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
<b>PLACA 03</b>		0,510	0,773	1,170	1,428	0,797	2,101	0,443	0,361	0,000	0,000
		0,720	1,326	0,890	1,315	0,940	2,349	0,587	0,713	0,000	0,000
		1,076	1,514	1,485	2,157	0,686	1,529	0,508	1,046	0,000	0,000
		1,142	1,097	1,112	0,630	0,690	2,170	0,488	1,296	0,000	0,000
		1,437	1,387	1,320	2,281	0,497	1,546	0,708	1,018	0,000	0,000
		0,551	0,297	0,391	0,176	0,627	1,438	0,499	0,637	0,000	0,000
		0,521	0,351	1,340	2,160	0,737	0,560	0,283	1,154	0,000	0,000
		0,860	0,512	0,348	0,138	0,560	0,857	0,565	1,468	0,000	0,000
		0,442	0,283	1,340	1,634	0,662	1,682	0,518	0,319	0,000	0,000
		0,935	0,633	0,673	0,475	0,437	1,506	0,422	0,646	0,000	0,000
		0,769	1,115	1,547	1,345	0,675	1,210	0,506	0,726	0,000	0,000
		1,470	1,692	0,860	0,722	0,836	1,240	0,436	0,579	0,000	0,000
		1,624	1,264	0,832	0,953	0,794	1,882	0,563	1,251	0,000	0,000
		0,834	1,390	0,564	0,818	0,717	0,988	0,411	0,281	0,000	0,000
		0,524	0,507	0,403	0,000	1,025	2,397	0,353	0,620	0,000	0,000
		1,088	0,992	0,280	0,174	0,277	0,656	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,577	0,278	1,467	0,880	0,748	1,292	0,000	0,000	0,000	0,000
		1,035	0,484	1,345	0,815	0,249	0,403	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,824	0,979	0,350	0,147	0,413	0,298	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,320	0,310	0,000	0,000	0,242	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

**Quadro 9.** Medidas da radícula e do hipocótilo para amostra A8.

<b>BRANCO</b>		<b>1%</b>		<b>3%</b>		<b>10%</b>		<b>30%</b>		<b>100%</b>		
<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Hip.</b>	
<b>PLACA 01</b>	0,843	1,117	1,167	0,536	1,464	1,142	0,775	1,205	1,197	1,524	0,000	0,000
	0,912	1,826	0,926	0,485	0,756	1,684	0,792	1,241	1,216	2,028	0,000	0,000
	0,885	1,738	1,026	0,299	0,803	1,443	0,947	1,941	0,995	1,221	0,000	0,000
	0,718	1,234	1,380	1,044	0,270	0,640	0,985	1,012	1,033	1,875	0,000	0,000
	0,667	0,834	1,163	0,891	1,140	0,599	1,053	1,420	0,847	1,119	0,000	0,000
	0,592	1,004	1,053	0,760	0,789	1,333	0,978	0,848	1,279	1,805	0,000	0,000
	0,516	0,746	1,124	0,901	0,797	1,112	0,866	1,328	1,152	1,262	0,000	0,000
	0,782	0,961	1,176	0,425	0,778	0,658	1,672	1,966	1,242	1,756	0,000	0,000
	0,525	0,448	0,928	0,475	0,825	0,844	0,779	1,136	1,130	1,741	0,000	0,000
	0,623	0,842	0,606	0,456	0,790	0,926	0,957	1,459	1,375	2,257	0,000	0,000
	0,637	0,943	1,033	0,563	1,184	1,168	0,611	0,416	1,229	1,330	0,000	0,000
	0,435	0,812	1,162	0,301	1,434	1,116	1,176	1,158	1,274	1,316	0,000	0,000
	0,438	0,277	1,065	0,373	0,344	0,000	0,605	0,844	0,948	1,008	0,000	0,000
	0,501	0,847	0,715	0,208	0,371	0,285	1,005	0,774	0,827	0,665	0,000	0,000
	0,613	0,582	0,651	0,308	0,426	0,000	0,389	0,222	0,897	0,811	0,000	0,000
	0,461	0,000	0,450	0,231	0,271	0,204	0,625	1,180	0,923	1,151	0,000	0,000
	0,404	0,458	0,872	0,152	0,374	0,287	0,315	0,596	0,913	0,952	0,000	0,000
	0,279	0,000	0,603	0,270	0,367	0,000	0,352	1,151	0,775	0,801	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,148	0,000	0,417	0,357	0,816	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,232	0,000	0,251	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>PLACA 02</b>			0,801	1,250	2,156	1,910	0,515	0,341	1,202	2,108	0,000	0,000
			1,244	1,181	1,605	1,366	1,180	1,829	1,041	1,595	0,000	0,000
			0,987	1,222	0,543	0,687	1,145	1,517	1,226	1,947	0,000	0,000
			0,747	1,509	0,984	1,806	1,007	1,904	1,010	1,430	0,000	0,000
			1,023	1,320	0,739	0,601	1,294	1,819	1,057	1,266	0,000	0,000
			1,204	0,920	1,366	0,801	1,134	1,601	1,217	2,048	0,000	0,000
			1,057	0,809	0,270	0,956	1,218	1,393	0,638	1,219	0,000	0,000
			0,987	1,437	1,360	1,170	0,464	1,107	0,616	0,922	0,000	0,000
			0,935	1,361	0,623	0,301	0,554	0,818	0,379	0,855	0,000	0,000
			0,785	0,504	0,737	0,326	0,945	1,193	0,409	1,011	0,000	0,000
			0,752	1,133	0,419	0,203	0,671	0,473	0,619	1,110	0,000	0,000
			1,006	0,509	0,415	0,166	0,589	0,425	0,463	0,582	0,000	0,000
			0,675	0,525	0,421	0,464	0,371	0,727	0,145	0,365	0,000	0,000
			0,473	0,334	0,537	0,678	0,980	0,989	0,338	0,459	0,000	0,000
			1,092	0,913	0,323	0,309	0,831	1,045	0,332	1,059	0,000	0,000
			0,427	0,312	0,779	1,013	0,891	0,757	0,961	1,385	0,000	0,000
			0,558	0,214	1,481	1,061	0,884	0,726	0,438	0,000	0,000	0,000
			0,463	0,000	0,216	0,361	0,862	0,796	0,215	0,000	0,000	0,000
			0,416	0,000	0,392	0,000	0,804	0,920	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,357	0,000	0,314	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

BRANCO		1%		3%		10%		30%		100%	
Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.	Rad.	Hip.
<b>PLACA 03</b>		1,239	2,084	1,167	1,826	1,041	1,155	1,392	1,764	0,000	0,000
		0,986	1,655	0,845	0,641	1,222	1,745	1,440	1,886	0,000	0,000
		1,381	1,376	1,518	1,921	1,247	0,863	1,558	2,167	0,000	0,000
		1,388	0,797	0,904	1,524	0,701	1,475	1,265	1,713	0,000	0,000
		0,910	0,472	1,335	1,451	0,663	1,738	1,162	1,815	0,000	0,000
		0,822	1,256	1,301	1,362	1,760	1,975	1,321	1,877	0,000	0,000
		1,031	1,157	0,855	1,340	1,227	1,482	1,199	1,033	0,000	0,000
		0,546	0,451	1,824	1,464	0,972	1,614	1,172	1,954	0,000	0,000
		0,617	0,495	1,316	1,602	0,730	0,921	1,052	1,018	0,000	0,000
		0,626	0,637	0,874	1,223	0,771	1,304	2,131	1,313	0,000	0,000
		0,384	0,298	0,974	0,983	1,097	1,252	1,230	1,515	0,000	0,000
		0,605	0,309	0,990	0,745	0,922	0,728	0,883	1,410	0,000	0,000
		0,664	0,197	1,010	0,370	1,279	1,241	0,992	1,321	0,000	0,000
		0,440	0,378	1,224	0,791	1,041	1,037	1,089	1,016	0,000	0,000
		0,562	0,344	0,486	0,831	0,846	0,534	1,058	1,332	0,000	0,000
		0,509	0,316	0,861	0,726	0,543	0,728	0,891	1,051	0,000	0,000
		0,361	0,337	0,254	0,265	0,636	0,406	1,151	1,384	0,000	0,000
		0,352	0,157	0,439	0,461	0,336	0,293	0,789	0,864	0,000	0,000
		0,303	0,113	0,213	0,266	0,339	0,537	0,915	1,094	0,000	0,000
		0,494	0,194	0,294	0,000	0,332	0,000	1,069	0,993	0,000	0,000

## APÊNDICE B

**Tabela 1.** Concentração de Carbono Orgânico Dissolvido ( $\text{mg C L}^{-1}$ ) nas amostras durante a realização do teste Zahn-Wellens de biodegradabilidade.

<b>Amostra</b>	<b>Dia 0</b>	<b>Dia 3</b>	<b>Dia 7</b>	<b>Dia 15</b>	<b>Dia 23</b>	<b>Dia 28</b>
A0	0,0	17,1	22,9	38,4	45,7	53,5
A3	0,0	26,0	35,0	40,4	50,9	57,0
A4	0,0	26,2	38,4	42,0	52,5	61,6
A6	0,0	27,7	42,7	55,5	63,9	68,5
A8	0,0	30,4	54,5	71,6	73,8	76,8