

**INSTITUTO FEDERAL CATARINENSE – CAMPUS ARAQUARI**

**JORGE LUIZ DE MIRANDA JUNIOR, LUCAS HELLMANN DE  
OLIVEIRA, LUCAS ROBERTO SIMÕES DIAS, NICKOLAS MARMITT  
MURAKAMI, THALES JUAREZ JOBINS PATEL MARTINS**

**FITORREMEDIAÇÃO DE ÁGUAS CONTAMINADAS COM  
AGROQUÍMICOS**

**ARAQUARI/SC  
2016**

**JORGE LUIZ DE MIRANDA JUNIOR, LUCAS HELLMANN DE  
OLIVEIRA, LUCAS ROBERTO SIMÕES DIAS, NICKOLAS MARMITT  
MURAKAMI, THALES JUAREZ JOBINS PATEL MARTINS**

**FITORREMEDIAÇÃO DE ÁGUAS CONTAMINADAS COM  
AGROQUÍMICOS**

Trabalho de Defesa do Projeto Integrador apresentado  
ao Instituto Federal Catarinense – *Campus* Araquari  
como parte complementar à matriz curricular do Curso  
Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio.  
Orientador: Cleder Alexandre Somensi.

**ARAQUARI/SC  
2016**

## RESUMO

A necessidade de uma grande produção de alimentos para atender a demanda mundial levou ao desenvolvimento de produtos visando à manutenção da fitossanidade das plantas, trazendo junto com isso o problema da contaminação ambiental por resíduos de substâncias de elevada toxicidade e ambientalmente agressivas. O cultivo de arroz, amplamente realizado em Santa Catarina, faz uso de diversos tipos de agroquímicos, notadamente alguns fungicidas, podendo assim ocasionar a poluição do solo e dos ambientes aquáticos. Nesta guia, é necessário o desenvolvimento de métodos de tratamento que busquem mitigar o problema, preferencialmente com baixos custos e com pouca manutenção, o que pode ser atingido com o uso de plantas fitorremediadoras, como é o caso do Capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*). A fitorremediação é baseada na seletividade da planta, que deve-se ao fato de que os compostos orgânicos podem ser translocados e volatilizados, podendo ainda sofrer parcial ou completa degradação ou ser transformados em compostos menos tóxicos. Dois fungicidas foram utilizados nos tratamentos, todos em triplicata, assim como nos testes controle. Trinta dias antes da adição dos agroquímicos a planta foi instalada no recipiente apenas com água para ambientação da mesma no meio. A toxicidade da água foi avaliada antes e após tratamento, que ocorreu durante 30 dias, com o uso da bactéria marinha bioluminescente *Aliivibrio fischeri*. Enquanto o agroquímico Nativo<sup>®</sup> apresentou elevada toxicidade antes do tratamento, com relativa melhoria após a ação das plantas, o agroquímico Priori<sup>®</sup> não foi tóxico para *Aliivibrio fischeri*. Foi possível perceber também, visualmente, que todas as plantas não sofreram nenhum tipo de estresse quando na presença dos agroquímicos e que, apesar da concentração dos agroquímicos não ter sido mensurada após os tratamentos, pode ter havido eficiência na fitorremediação, fortalecendo o interesse na planta para o tratamento de águas contaminadas.

**Palavras-chave: Fitorremediação; Fungicidas; Toxicidade.**

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>TEMA .....</b>	<b>04</b>
<b>1.2</b>	<b>TEMA DA PESQUISA .....</b>	<b>04</b>
<b>1.3</b>	<b>DELIMITAÇÃO DO TEMA .....</b>	<b>04</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>04</b>
<b>2.1</b>	<b>OBJETIVOS GERAL .....</b>	<b>04</b>
<b>2.2</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>04</b>
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>05</b>
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>07</b>
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADO E DISCUSSÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>18</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>19</b>

## **1. TEMA**

### **1.1. TEMA DA PESQUISA**

Remediação Ambiental.

### **1.2. DELIMITAÇÃO DO TEMA**

Fitorremediação utilizando o Capim Vetiver para o tratamento de água contaminada com agroquímicos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Utilizar a fitorremediação para o tratamento de águas contaminadas com agroquímicos.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Utilizar o Capim Vetiver (*Vetiveria zizaniodes*) para o tratamento de águas contaminadas com agroquímicos utilizados na rizicultura;
- Avaliar a resistência da planta a dois diferentes agroquímicos e em duas concentrações para cada agroquímico;
- Analisar a eficiência da planta na remoção das substâncias poluentes;
- Discutir o possível mecanismo imposto pela fitorremediação no tratamento das águas contaminadas;
- Apresentar os resultados do projeto, propondo a publicação dos mesmos em evento científico.

### 3. JUSTIFICATIVA

Junto com o aumento da população mundial, foi necessário o aumento da produção de alimento e, com esta elevação, veio também à dificuldade de cuidar da mesma, pois com as pragas e doenças grande parte da produção era perdida, sendo que para minimizar estes problemas iniciou-se o desenvolvimento e utilização de produtos para a manutenção da fitossanidade das plantas, surgindo assim os agroquímicos (comumente chamados de agrotóxicos). Juntamente com a utilização de agroquímicos para a elevação da produção de alimentos, está a potencial contaminação do solo e da água com o residual destas substâncias, podendo afetar negativamente o meio ambiente próximo a plantação.

Em Santa Catarina, um alimento largamente produzido é o arroz, o qual é cultivado em, aproximadamente, 149.000 hectares, distribuídos pelo Alto, Médio e Baixo Vale do Itajaí, Litoral Norte e região Sul (EPAGRI, 2016). Também segundo a EPAGRI (2016), toda produção Catarinense é feita em lâmina d'água, com sementes pré-germinadas, sendo que o estado detém um dos maiores índices de produtividade do Brasil, ou seja, 7,1 t/a.

Como outra planta qualquer, o arroz pode ser acometido por algumas doenças, sendo as principais a Brusone, Escaldadura, Mancha Estreita, Mancha Parda, Falso Carvão e Queima das Bainhas, todas elas causadas pela ação de fungos, fazendo-se necessária a utilização de fungicidas para controle, possibilitando a produção em larga escala e com a qualidade desejável (EPAGRI, 2016).

Agroquímicos podem ser resistentes no meio ambiente, podendo impactar negativamente nos diferentes níveis tróficos, ocasionando também, em muitos casos, uma pressão seletiva, resultando no problema de pragas multirresistentes a ação de agroquímicos, além da toxicidade intrínseca de cada composto, sendo alguns extremamente tóxicos e muito perigosos ao meio ambiente, segundo classificação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2016).

Neste sentido, diferentes métodos vêm sendo utilizados para a descontaminação de ambientes contaminados com agroquímicos, onde, de acordo com Divensi (2010), uma das alternativas para a descontaminação ambiental é o uso da fitorremediação, ou seja, técnica que utiliza sistemas vegetais e sua microbiota com o fim de remover, degradar ou isolar substâncias tóxicas do ambiente.

A limpeza da água contaminada pode ser feita por vários processos, entretanto muitos possuem um custo elevado para sua realização, o que dificulta sua implementação, mas a fitorremediação pode se tornar uma opção viável, pois seu custo não é elevado e sua

aplicação é simples em comparação com outros processos (DIVENSI, 2010). Entre as possíveis plantas a serem utilizadas na fitorremediação, o Capim Vetiver apresenta-se potencialmente viável principalmente devido a sua resistência a diversos tipos de substâncias naturais e sintéticas (DAHN *et al.*, 2009).

Esta planta também tem sido muito utilizada para controle de erosões (BARBOSA & LIMA, 2013) principalmente em áreas com degradação. Os grupos densos de colmos na planta ajudam a reduzir o escoamento de água superficial (DONJADEE & TINGSANCHALI, 2013). Como a planta não cria estolhos, não é uma planta invasiva e seu cultivo se torna controlável. Assim, o projeto foi executado com o intuito de aplicar e analisar a efetividade de fitorremediação do Capim Vetiver, observando a capacidade da planta em extrair/degradar os agroquímicos e reduzir a ecotoxicidade da água contaminada com estas substâncias, assim como a observação da resistência da gramínea aos fungicidas utilizados neste trabalho.

#### 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Agroquímicos segundo o decreto nº 4.074, são produtos e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou plantadas, e de outros ecossistemas e de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos, bem como as substâncias e produtos empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento.

A fitorremediação é geralmente utilizada em solos e águas contaminados com substâncias orgânicas ou inorgânicas, como metais pesados, hidrocarbonetos de petróleo, agroquímicos, explosivos, solventes clorados e subprodutos tóxicos da indústria e outros elementos contaminantes. Em geral, é mais difícil trabalhar com contaminantes orgânicos devido a difícil análise de suas variações moleculares e a constantes transformações a que eles estão sujeitos. Assim, as pesquisas com compostos orgânicos contaminantes de solo e matrizes aquosas exigem técnicas especializadas e o custo das pesquisas é muito elevado, envolvendo o uso de equipamentos analiticamente sofisticados.

A utilização da fitorremediação é baseada na seletividade, natural ou desenvolvida, que algumas espécies exibem a determinados tipos de compostos ou mecanismos de reação ao meio “tóxico” que se encontra. Esse fato é de ocorrência comum em espécies agrícolas e ervas daninhas, tolerantes a certos herbicidas. A seletividade deve-se ao fato de que os compostos orgânicos podem ser translocados para outras partes da planta e seguido de uma volatilização ou, ainda, podem sofrer parcial ou completa degradação ou ser transformados em compostos menos tóxicos, especialmente menos fitotóxicos, combinados ou ligados a tecidos das plantas.

Para ensaios em escala real de tratamento de águas contaminadas com a utilização de plantas, sistemas alagados construídos (*wetlands*) tornam-se uma opção principalmente quando há possibilidade de alta produção de biomassa associada ao tratamento (*wetland* multifuncional) (SAGEHASHI *et al.*, 2011) com posterior aproveitamento desta biomassa para fins nobres, como geração de biogás.

Uma *wetland*, ou zona úmida, é um ecossistema que surge quando um excesso de água produz um ambiente dominado por processos anaeróbios, que, por sua vez, força a biota, particularmente plantas enraizadas, a adaptarem-se com este excesso (KEDDY, 2010). Para isso, é necessário que as plantas a serem utilizadas apresentem tolerância às condições de

alagamento contínuo conjugado com altas concentrações de poluentes presentes, como no caso de águas contaminadas com agroquímicos.

A maioria dos compostos orgânicos parece sofrer algum grau de transformação nas células das plantas antes de serem isolados em vacúolos ou ligarem-se a estruturas celulares insolúveis da planta, como a lignina. A capacidade de metabolização do agroquímico a um composto não-tóxico ou menos tóxico à planta e ao ambiente é o princípio da fitodegradação.

A forma de ação da planta é importante para a projeção de um sistema de tratamento. De acordo com Sharma *et al.* (2015), os vegetais podem atuar de forma direta ou indireta (rizorremediação) na remediação ambiental. Na forma direta, os compostos são absorvidos e acumulados ou metabolizados nos tecidos. A metabolização resulta da transformação do composto inicial ou mineralização do mesmo. O fitotratamento é considerado indireto quando os vegetais extraem contaminantes da água subterrânea, reduzindo a fonte de contaminação do solo. É também considerado indireto quando a presença das plantas propicia meio favorável ao aumento da atividade microbiana, que degrada ou participa de etapas da degradação do contaminante. O estímulo ao desenvolvimento da atividade microbiana pode ocorrer por meio de: exsudatos provenientes das raízes que, contendo compostos orgânicos, fornecem nutrientes aos microrganismos; material vegetal em decomposição, que enriquece o solo com carbono, energia e nutrientes; enzimas encontradas em tecidos aéreos que, liberadas após deposição sob o solo, auxiliam na quebra de compostos tóxicos ou de difícil degradação por microrganismos; redução dos teores de compostos voláteis por evapotranspiração das plantas até níveis que permitem a sobrevivência e ação de microrganismos biorremediadores; sombreamento e aumento da umidade do solo, modificando o ambiente e trazendo condições ambientais mais favoráveis ao desenvolvimento microbiano (MANI & KUMAR, 2014; SHARMA *et al.*, 2015).

As técnicas de fitorremediação disponíveis estão subdivididas em fitodegradação, fitoextração, fitoestabilização, fitovolatilização, fitomineração, rizodegradação e rizofiltração (SHARMA *et al.*, 2015).

Fitodegradação é uma técnica que se baseia em quebra do contaminante absorvido pela planta. O poluente sofre bioconversão assim diminuindo o teor de toxicidade. Geralmente é empregada na remoção de contaminantes orgânicos. A degradação implica na absorção do contaminante em uma degradação no interior da célula da planta, sendo que esse processo ocorre com atividades enzimáticas específicas (MANI & KUMAR, 2014; SHARMA *et al.*, 2015).

Fitoextração é absorção do contaminante pelas raízes, os quais são transportados para dentro da planta e acumulados na parte aérea da planta, geralmente aplicados em contaminantes metálicos como, cádmio, níquel, cobre, zinco, chumbo, selênio e outros metais. O contaminante que está presente na planta é removido por colheita do vegetal. Com a utilização de plantas com capacidade de armazenar altas concentrações de metais aplicando em plantas acumuladoras (MANI & KUMAR, 2014; SHARMA *et al.*, 2015).

Fitoestabilização implica no uso de plantas e suas raízes prevenindo o contaminante de migrar através do vento, da erosão, lixiviação e da dispersão do solo. A imobilização do contaminante no solo através de absorção e o acúmulo pelas raízes, geralmente aplicado em lugares contaminados com metais pesados, como o chumbo, o cádmio, o zinco e o arsênio, geralmente a melhor escolha é manter o contaminante no local (MANI & KUMAR, 2014; SHARMA *et al.*, 2015).

Fitovolatilização é o processo que a planta, junto com organismos, ajuda a remover por meio da volatilização o composto. A volatilização pode ser feita pela biodegradação na rizosfera ou após a passagem da planta (SHARMA *et al.*, 2015).

Rizodegradação ou biodegradação é a quebra de um contaminante orgânico no solo pela atividade microbiana em torno das raízes de plantas, que é aumentada pela presença da zona-radical. Esse processo acontece na parte superior do solo que é considerado similar ao processo de fitorremediação, também conhecida biorremediação de planta assistida, planta adicionada ao local da biodegradação acelerando assim a digestão e decomposição de substâncias da rizosfera. Esse processo é muito utilizado para degradação de compostos orgânicos provenientes do petróleo, hidrocarbonetos, policíclicos aromáticos, benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, dentre outros compostos orgânicos. Entre esses compostos estão alguns ácidos orgânicos, esteróis, nucleotídeos e enzimas (MANI & KUMAR, 2014; SHARMA *et al.*, 2015).

Assim, a população microrganismos nas raízes e a atividade que estas exercem para degradar o contaminante podem ser incrementadas pela presença destes compostos. Outro fator importante a ser mencionado é a melhoria das condições do solo, como a aeração e a retenção de umidade, pela aplicação do processo de rizodegradação.

Rizofiltração é uma técnica que combina a fitoextração e a fitoestabilização e a utilização de plantas para remoção ou diminuição de contaminantes pela absorção e realocação deles nas partes aéreas das plantas, similar a fitoextração, entretanto neste caso o contaminante é retirado da água ao invés do solo. Neste processo a planta pode estar tanto no solo, descontaminando água de subterrâneo (usando plantas hidropônicas de grande biomassa

com sistemas radiculares complexos que ajudam a aumentar a eficiência) nos quais as raízes estão imersas em solução hidropônica mais contaminante de baixa concentração (MANI & KUMAR, 2014; SHARMA *et al.*, 2015).

Plantas também podem ser utilizadas como barreiras hidráulicas, evitando que águas contaminadas atinjam determinados sítios ambientais (SHARMA *et al.*, 2015). Outros mecanismos menos estabelecidos são a blastofiltração (cultivo de plantas em águas aeradas), genorremediação (modificação genética para maior tolerância a poluentes específicos) e dendrorremediação (uso de espécies lenhosas para fitodepuração) (MANI & KUMAR, 2014).

Para facilitar esse processo devem ser criados terrenos alagados com um fluxo direcional da água contaminada, funcionando como filtros e melhorando as condições de absorção das plantas devido ao fluxo constante da água poluída com metais pesados, radionuclídeos, tais como, urânio, céσιο, estrôncio, zinco, chumbo e também compostos orgânicos.

O tempo requerido para remediar a água contaminada pode ser reduzido pelo controle das condições de aplicação, propiciando o contato do contaminante com as raízes das plantas sem sofrer de forma significativa com interferências externas, como acontece em outros tipos de aplicações da fitorremediação. Investimento na construção de sistemas de direcionamento de água, sistemas e de pré-tratamento da água, como monitoramento, manutenção e manejo de resíduos da planta que estejam contaminados, serão necessários ao utilizar a técnica de rizofiltração.

O plantio de cordões do vetiver tem-se mostrado eficiente na conservação do solo e da água em várias regiões do mundo devido à elevada resistência ao arrancamento pelas enxurradas, característica proporcionada pelo extenso e resistente sistema radicular que estabiliza a planta e agrega o solo (TRUONG & LOCH, 2004).

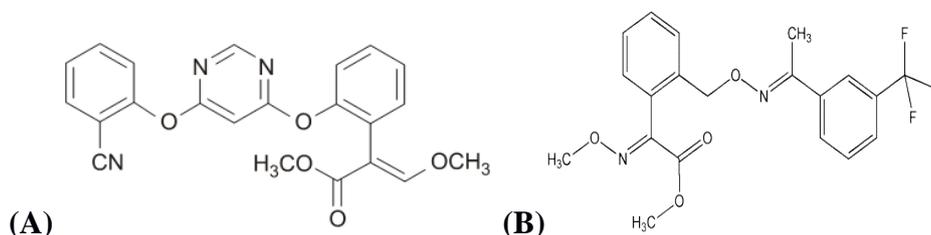
Capim Vetiver pode produzir elevada quantidade de biomassa, além de tolerar variações climáticas extremas, como secas prolongadas, inundações, submersão e temperaturas (-15° - 55°C), solos com alta acidez e alcalinidade (pH 3,3 - 9,5), níveis elevados de metais pesados e salinidade. Capim Vetiver também pode absorver e promover a biodegradação de resíduos orgânicos (2,4,6-trinitrolueno, fenol, brometo de etídio, benzo [a] pireno, atrazina). Pouquíssimas plantas disponíveis na literatura apresentam esta ampla gama de tolerância a condições extremamente adversas de clima e meio de cultura (solo, areia e rejeitos), fazendo desta uma planta adequada para fitorremediação de metais pesados e resíduos orgânicos (DAHN *et al.*, 2009).

## 5. METODOLOGIA

Para a execução deste trabalho, utilizamos a gramínea *Vetiveria zizaniodes*, popularmente chamada de Capim Vetiver, sendo essa escolha realizada com base na capacidade que esse capim tem de sobreviver a ambientes extremos (DAHNS *et al.*, 2009).

Os agroquímicos foram selecionados com base nos quantitativos utilizados, assim como na classe química e no efeito deletério para o meio ambiente, segundo classificação do MAPA (2016).

Um dos agroquímicos selecionados para a pesquisa é o Piori<sup>®</sup> no qual o ingrediente ativo é a azoxistrobina (estrobilurina), classificada como medianamente tóxica. O segundo fungicida selecionado é o Nativo<sup>®</sup>, agroquímico mesostêmico e sistêmico dos grupos estrobilurina e triazol. O princípio ativo deste fungicida é o Tebuconazol e também o Trifloxystrobina, possuindo uma formulação suspensão concentrada. O Nativo é classificado como medianamente tóxico e um produto muito perigoso ao meio ambiente. (MAPA, 2016). Estes fungicidas apresentam princípios ativos distintos quanto ao triazol, possibilitando a verificação da resistência da planta a diferentes grupamentos químicos, o que também justifica as suas escolhas.



**Figura 1.** (A) Azoxistrobina (B) Trifloxystrobina

Com a planta e os agroquímicos determinados, construiu-se o sistema de tratamento, conforme segue: uma unidade de Capim Vetiver adulto foi plantada em um recipiente plástico de 20 cm de diâmetro e 40 cm de altura (caracterizou-se uma unidade de fitorremediação), realizando-se alguns furos na parte inferior do recipiente para que as raízes pudessem atingir o meio contaminado com o fungicida. Foram realizados quatro tratamentos para cada fungicida, durante 30 dias, totalizando oito tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 e T8), sendo que T1, T2, T3 e T4 se referem ao agroquímico Nativo<sup>®</sup> (tebuconazol, trifloxystrobina), com T1 e T2 referentes aos controles (sem plantas) e com concentração de 3,750 mL/L e 1,875 mL/L (a partir do composto comercial), respectivamente, e T3 e T4 se referem aos tratamentos com a

utilização de unidades de fitorremediação; T5, T6, T7 e T8 se referem ao agroquímico Priori<sup>®</sup> (Azoxistrobina), sendo T5 e T6 referentes aos controles (sem plantas) e com concentração de 2 mL/L e 1 mL/L (a partir do composto comercial), respectivamente, e T7 e T8 se referem aos tratamentos com a utilização de unidades de fitorremediação.

As concentrações utilizadas se referem a (1) ao recomendado pelo fabricante e (2) a 50% da concentração proposta pelo fabricante. Cada tratamento foi realizado em recipiente de 12 L (utilizando-se volume útil de 8 L, com água proveniente de reservatório natural), a temperatura ambiente, pH natural (~6,5) e em meio coberto.

No total, foram 24 unidades experimentais, ou seja, 8 tratamentos em triplicata. Nos experimentos de fitorremediação (com plantas), as mesmas foram alocadas em seus respectivos recipientes 30 dias antes da adição dos agroquímicos visando a ambientação e o crescimento das raízes até o meio aquoso.

Para a realização das análises foram tiradas amostras com volume de 100mL de todos os 24 experimentos, resultando em 8 amostras compostas para as análises ecotoxicológicas. sendo retiradas as primeiras amostras logo após a adição dos agroquímicos (tempo zero) e também depois de 30 dias.

Avaliação da ecotoxicidade para a bactéria marinha luminescente *Aliivibrio fischeri* foi realizada nas 8 amostras compostas, todas de acordo com a norma ABNT NBR 15411-2 (ABNT, 2007). O tempo de exposição foi de 30 minutos e as diluições testadas foram iguais aos fatores de diluição de 64, 32, 16, 8, 4, 2 e 1, além do controle. O sistema é estático, com duas réplicas para cada diluição, incluindo o controle. A temperatura foi mantida a 15°C (+/- 1°C), o pH entre 6,0 e 8,0 e a salinidade a 2%. O efeito observado foi a inibição da bioluminescência bacteriana, mensurada em um luminômetro modelo BioFix Lumi 10<sup>®</sup> (Umwelt Biotechnologia Ambiental), conforme figura 2.



**Figura 2.** BioFix Lumi 10<sup>®</sup> (imagem do grupo).

A análise funciona da seguinte forma, a amostra e suas diluições são colocadas no aparelho EasyCool<sup>®</sup> e deixadas na máquina por 15 min, o EasyCool<sup>®</sup> serve para levar as amostras a temperatura de 15 °C, que é a temperatura ideal para que a bactéria não se prejudique, depois disso são feitos testes preliminares com o BioFix Lumi 10<sup>®</sup> da luminescência emitida pela bactéria antes da adição da amostra tóxica e logo após do teste é adicionada a substância, isso é feito com todas as bactérias que são usadas, passados 30 min de incubação são feitos os testes novamente e comparados com os valores obtidos nos primeiros testes, essa comparação mostra a porcentagem da inibição da luminescência. Relacionando todos os valores obtidos obtemos um gráfico, e por sua vez, com a análise do gráfico obtemos os valores de CE's que correspondem a concentração do agroquímico que inibe uma porcentagem da luminescência da bactéria e também obtemos o FT(fator de toxicidade) que apresenta em qual das diluições feitas a inibição passa a ser menos de 20% da bactéria.

Avaliações de possível estresse ambiental também foram realizadas em todas as plantas, comparando as mesmas com plantas saudáveis e que não foram utilizadas nos tratamentos.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

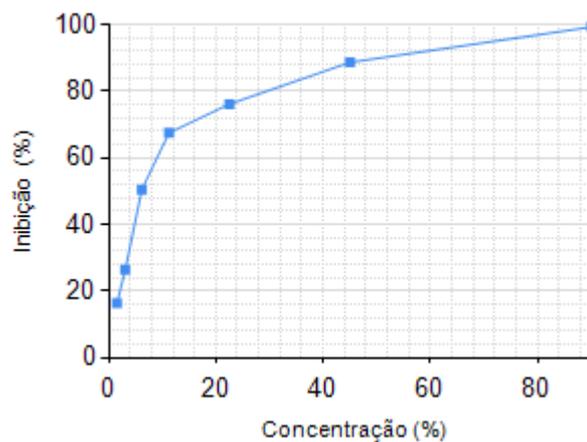
Para melhor entendimento durante as discussões será utilizado siglas com as iniciais dos agroquímicos, o número 1 ou 2 para indicar a concentração (segundo o modelo apresentado na metodologia) e quando se tratar de um controle será adicionado a letra C na sigla.

Os testes de toxicidade realizados com bactéria marinha luminescente apresentam resultados distintos para os dois agroquímicos.

Nativo<sup>®</sup>(N) apresentou toxicidade elevada enquanto Piori<sup>®</sup>(P) não gerou efeitos deletérios para *Aliivibrio Fischeri*. Este resultado referente ao segundo agroquímico não garante que o mesmo não seja tóxico ao meio ambiente e a outros organismos vivos, apesar de apresentar-se inofensivo neste teste agudo com a bactéria.

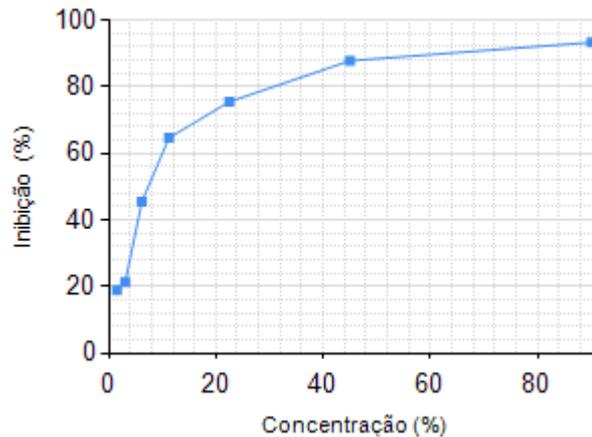
Para o Nativo<sup>®</sup>, na concentração indicada pelo fabricante (3,750 mL/L), os resultados obtidos antes de qualquer tratamento (tempo zero) foram FT 64, CE20 de 1,94% e CE50 igual a 6,85%, conforme figura 3.

Isso significa que apenas com 64 diluições da amostra o agroquímico deixa de ser tóxico, e na concentração de 1,94% ele inibe 20% da luminescência das bactérias e, ainda, com concentração de 6,85% passa a inibir metade da luminescência do ser vivo. A partir disso, pode-se afirmar que o composto é altamente tóxico, pois baixas concentrações do composto necessitam de elevadas diluições para deixarem de apresentar toxicidade.



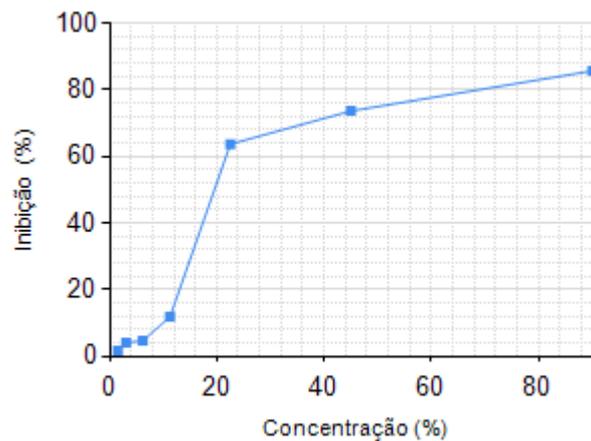
**Figura 3.** Concentração do agroquímico X inibição da luminescência - tempo zero

Depois de 30 dias os valores obtidos para o tratamento N1C foram de: FT64, CE20 de 2,04% e CE50 de 7,41%, mostrando que depois deste tempo o agroquímico se manteve no ambiente, com poucas alterações de toxicidade. Significa dizer que os microrganismos presentes naturalmente na amostra praticamente não conseguiram degradar o composto.



**Figura 4.** Concentração do agroquímico X inibição da luminescência - tempo 30 dias - controle (N1C);

Ao analisar o tratamento N1 que estava com a unidade de fitorremediação depois de 30 dias, obtivemos valores bem significativos, como, FT8, CE20 de 11,60% e CE50 26,10%, como mostrados na figura 5.

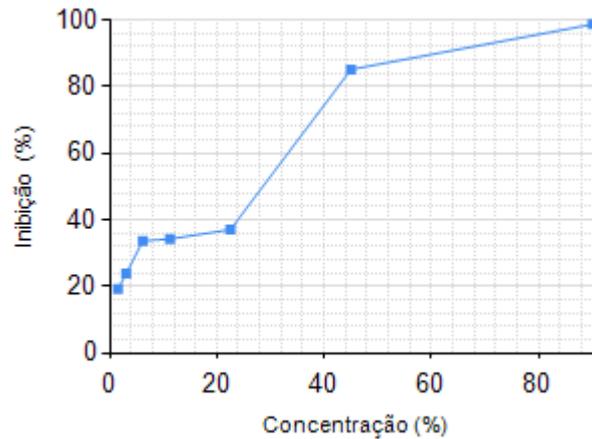


**Figura 5.** Concentração do agroquímico X inibição da luminescência - tempo 30 dias - fitotratamento (N1)

Os resultados obtidos permitem afirmar que a presença da planta no meio fez diferença, deixou a amostra menos tóxica, reduzindo o Fator de Toxicidade - FT (diluição) que no tempo zero e em N1C(tempo zero) era 64, passando para 8 em T3. Os CE's 20 e 50 aumentaram em 10%, no caso as concentrações que inibem 20 e 50% da luminescência

apresentaram valores melhores que as anteriores, mostrando a eficiência da planta na fitorremediação.

No Nativo<sup>®</sup> com metade da concentração indicada pelo fabricante (N2C) no tempo zero foram obtidas as seguintes informações, FT64, CE20 igual a 2,46% e CE50 de 15,06%.

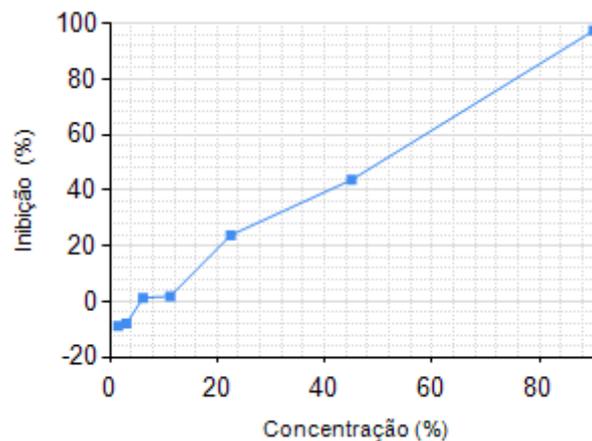


**Figura 6.** Concentração do agroquímico X inibição da luminescência - tempo zero

Eram esperados valores menos expressivos se em comparação a maior concentração, mostrando que a toxicidade não é diretamente proporcional a concentração.

As análises feitas com o tratamento N2C depois do tempo de 30 dias resultaram em valores indeterminados e um gráfico que apresentam resultados improváveis, caracterizando erro na análise, onde esse erro pode ser resposta no manuseio de forma descuidada da bactéria marinha luminescente na hora dos testes de toxicidade.

Já no tratamento N2 foram obtidos resultados melhores do que os do tratamento N1, o que já era esperado, são valores de FT8, CE20 de 18,95% e CE50 de 54,64%.



**Figura 7.** Concentração do agroquímico X inibição da luminescência - tempo 30 dias - fitotratamento (N2)

Os melhores resultados obtidos podem ser resultado da melhor adaptação da planta na menor concentração, ou seja, com o ambiente mais agradável para a gramínea a eficiência da remediação aumentou significativamente, obtendo assim o resultado demonstrado na figura acima.

Com os resultados obtidos nas figuras apresentadas anteriormente, obtemos os valores da tabela 1.

	<b>N1C</b> (tempo zero) <b>3,750 mL/L</b>	<b>N1C</b>	<b>N1</b>	<b>N2C</b> (tempo zero) <b>1,875 mL/L</b>	<b>N2C</b>	<b>N2</b>
<b>FT</b>	64	64	8	64	-	8
<b>CE<sub>20</sub></b>	1,94%	2,04%	11,60%	2,46%	-	18,95%
<b>CE<sub>50</sub></b>	6,85%	7,41%	26,10%	15,06%	-	54,64%

**Tabela 1.** Ecotoxicidade para *Aliivibrio fischeri* relacionada ao agroquímico Nativo®

O parâmetro mais significativo para afirmar que uma análise diminuiu sua toxicidade é o FT que no caso tanto para concentração 1 quanto para concentração 2 diminuíram bruscamente, 64 no início e depois do tempo determinado passou para 8, precisando menos diluições para o composto deixar de inibir uma porcentagem significativa da luminescência, para complemento do FT pode-se citar o CE 50 do N2 que em comparação ao controle no tempo zero da mesma concentração teve um aumento de extrema importância precisando no final do experimento de mais de 50% da concentração do agroquímico para inibir metade da luminescência da bactéria. Lembrando que os testes foram estáticos, quando aplicados nas plantações a concentrações dos agroquímicos será ainda menos, possibilitando a ação mais eficiente e rápida do Vetiver.

Apesar de que aparentemente no meio menos concentrado o Vetiver se adaptou melhor, a planta está visualmente saudável em todos os tratamentos, independente da concentração, como pode ser observado nas imagens abaixo.



**Figura 8.** (A) Capim Vetiver antes da adição dos agroquímicos (B) Capim vetiver depois de 30 dias da adição dos agroquímicos.

## 7. CONCLUSÃO

Observando os objetivos propostos inicialmente na execução dos experimentos, pode-se afirmar que uma grande quantidade dos mesmos foram alcançadas. De forma principal, Capim Vetiver mostrou-se eficiente, em poucos dias, para a redução da toxicidade ambiental para a bactéria luminescente testada, independente da concentração do poluente.

Em relação ao mecanismo de remediação imposto pela planta, observando semanalmente os tratamentos, percebe-se que, em alguns casos, houve precipitação dos compostos, o que leva a pensar que a planta pode atuar indiretamente na remediação da água, conforme comentado na revisão bibliográfica.

Com os resultados alcançados nos experimentos pode-se concluir que o Capim Vetiver é potencialmente eficiente na remediação do Nativo<sup>®</sup> e possivelmente do Priori<sup>®</sup> também, que no caso o segundo agroquímico não apresentou toxicidade à bactéria impossibilitando as análises, nas concentrações testadas. Baixos custos de implantação e pouca necessidade de manutenção tornam a técnica ainda mais atraente, necessitando de novos testes para a confirmação as hipóteses apresentadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção. Porto Alegre, 2015.

<[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2005\\_enegep1005\\_0558.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2005_enegep1005_0558.pdf)> Porto Alegre: ENEGEP, 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15411-3: **Determinação do efeito inibitório de amostras de água sobre a emissão de luz de *Vibrio fischeri* (Ensaio de bactéria luminescente) Parte 3: Método utilizando bactérias liofilizadas.** ABNT, 2007.

BARBOSA, A. R. Fitorremediação: Considerações Gerais e Características de Utilização. Disponível em: <<http://www.scielo.mec.pt/pdf/slu/v15n1/v15n1a08.pdf>> Acesso em: 03/06/16.

BOECHAT, C. L. **Biorremediação de solos contaminados por metais pesados em áreas de beneficiamento de minério de ouro.** 2014, 105 f. Tese (Doutorado em Ciências do solo) - Setor ciências agrícolas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

BRANCHES, A. M. B. Análises da fitorremediação como método de recuperação de áreas degradadas pela mineração. Disponível em: <[http://www.cbmina.org.br/media/palestra\\_6/T62.pdf](http://www.cbmina.org.br/media/palestra_6/T62.pdf)> Acesso em: 03/06/16.

CARVALHO, D. F. Evaporização e Transpiração, **Hidrologia**, 06, ago. 2006. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap6-ET.pdf>> Acesso em: 03/06/16.

DAHAN, L. T.; TRUONG, P.; MAMMUCARI, R.; TRAN, T.; FOSTER, N. Vetiver Grass, Vetiveria zizanioides: A choice plant for phytoremediation of heavy metals and organic wastes. **International Journal of Phytoremediation**, 11, 8, 664-691, 2009.

Encontro de Produção Científica e Tecnológica, 2010, <[http://www.fecilcam.br/nupem/anais\\_v\\_epct/PDF/engenharias/05\\_DIVENSI\\_LIMA\\_SOUZA.pdf](http://www.fecilcam.br/nupem/anais_v_epct/PDF/engenharias/05_DIVENSI_LIMA_SOUZA.pdf)> FECILCAM 2016.

EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Histórico da Produção de Arroz Irrigado.** Disponível em: <[http://www.epagri.sc.gov.br/?page\\_id=1343](http://www.epagri.sc.gov.br/?page_id=1343)>. Acesso em: 03/06/16.

KEDDY, P. A. **Wetland ecology: principles and conservation.** 2nd ed. Cambridge: University Press, 2010.

LAMBERT, L. F. M. O uso da fitorremediação para recuperação de solos contaminados por petróleo. In: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Goiânia. <[www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/XI-065.pdf](http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/XI-065.pdf)> Acesso em: 03/06/16. Goiânia, 2012, p. 1-5.

LIMA, A. M. **Avaliação do potencial fitorremediador da mamona (*Ricinus communis* L.) e girassol (*Helianthus annuus* L.) quanto à remoção de chumbo e tolueno em efluentes**

**sintéticos**. 2010, 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Setor ciências exatas e da terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

LINO, J. R. P. A. **Fitorremediação de águas residuais contaminadas com Cd e Ni por três genótipos de Miscanthus**. 2014, 90 f. Dissertação (Mestrado em Energia e Bioenergia) - Setor , Universidade Nova de Lisboa, Lisboa,

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **AGROFIT - Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Disponível em: <[http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: 23/05/16.

MANI, D.; KUMAR, C. Biotechnological advances in bioremediation of heavy metals contaminated ecosystems: an overview with special reference to phytoremediation. **International Journal of Environmental Science and Technology**, 11, 843–872, 2014.

MARIANO, D. C. Aspectos agronômicos, uso pelo homem e mecanismos da fitorremediação. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 5, n. edição especial, p. 85-101, out. 2012.

MEIJA, P. V. L. et al. Metodologia para seleção de Fitorremediação em Áreas Contaminadas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 31, p. 97-104, mar. 2014.

Nativa - [Fungicida], **União Agronegocio**. Disponível em:<[http://www.uniagronegocios.com.br/uploads/anexos/produtos/file3\\_bayer-cropscience-nativo-fungicida.pdf](http://www.uniagronegocios.com.br/uploads/anexos/produtos/file3_bayer-cropscience-nativo-fungicida.pdf)> Acesso em:03/06/16.

PIRES, F. R. et al. Fitorremediação de solos contaminados com Herbicidas. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 335-341, 2003.

SAGEHASHI, M.; LIU, C.; FUJII, T.; FUJITA, H.; SAKAI, Y.; HU, H.; SAKODA, A. Cadmium Removal by the Hydroponic Culture of Giant Reed (*Arundo donax*) and Its Concentration in the Plant. **Journal of Water and Environment Technology**, 9, 121-127, 2011.

SANTOS, A. R. Evaporização e evapotranspiração, **Climatologia**, Espírito Santo. Disponível em: <<http://www.mundogeomatica.com.br/cl/apostilateoricac1/capitulo8-eaporacaoevapotranspiracao.pdf>> Acesso em:03/06/16.

SHARMA, S.; SINGH, B.; MANCHANDA, V. K. Phytoremediation: role of terrestrial plants and aquatic macrophytes in the remediation of radionuclides and heavy metal contaminated soil and water. **Environmental Science and Pollution Research**, 22, 946–962, 2015.

SOUZA, A. M. **Fitorremediação de solos contaminados com óleos lubrificantes usados**. 2009, 143 f. Dissertação (Mestrado Química Ambiental) - Setor ciências exatas e da terra, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SILVA, A. P. O. et al. Estudo bibliométrico sobre o termo hidroponia através de busca de artigos no site scielo. In:VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Porto Alegre. <[www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/VIII-035.pdf](http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/VIII-035.pdf)> Acesso em:03/06/16 Porto Alegre, 2015,. p 1-5.

TEIXEIRA, P. C. et al. Resposta de vetiver à aplicação de calcário e fósforo em três classes de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 99-105, 2015.