

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JULIA VICENTE RODRIGUES

**ANÁLISE DO POTENCIAL FITOEXTRATOR DA MACRÓFITTA
AQUÁTICA *PONTEDERIA PARVIFLORA* ALEXANDER EM
SOLUÇÕES DE ARSÊNIO III E CROMO III**

CAMPO MOURÃO

2017

JULIA VICENTE RODRIGUES

**ANÁLISE DO POTENCIAL FITOEXTRATOR DA MACRÓFITAS
AQUÁTICA *PONTEDERIA PARVIFLORA* ALEXANDER EM SOLUÇÃO
DE ARSÊNIO III E CROMO III**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Ambiental, do Departamento Acadêmico de Ambiental (DAAMB), do Câmpus Campo Mourão, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), para a obtenção de título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dra. Débora Cristina de Souza

CAMPO MOURÃO

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Ambiental - DAAMB
Curso de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DO POTENCIAL FITOEXTRATOR DA MACRÓFITAS AQUÁTICA *PONTEDERIA PARVIFLORA* ALEXANDER EM SOLUÇÃO DE ARSÊNIO III E CROMO III

por

JULIA VICENTE RODRIGUES

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 27 de Novembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Prof. Dr. Débora Cristina de Souza

Prof. Dr. Sônia Barbosa de Lima

Prof. Dr. Raquel de Oliveira Bueno

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na coordenação do curso de Engenharia Ambiental.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por estar me guiando e amparando em todos os momentos da minha vida, e não seria diferente durante esses anos de faculdade, abençoando-me em todos os momentos e de todas as formas possíveis, e não me deixando fraquejar nos momentos mais difíceis. Agradeço a Ele, pois as melhores coisas que me aconteceram nesses anos foi Ele que me proporcionou.

À minha família inteira, que sempre me apoiou e me deu forças para seguir em frente. Em especial, aos meus pais Valmir e Luzia, que se sacrificaram sempre para me dar o melhor, e que muitas vezes com o coração partido, me viram partindo em busca dos meus sonhos e nunca me impediram de fazer isso.

As meninas da Rep. Lar Doce Lar, Bia, Fran, Io e Karol que me acolheram desde o primeiro momento, me proporcionando experiências novas, que colaboraram com meu amadurecimento e foram como as irmãs que eu jamais tive. Especialmente à minha companheira de quarto e irmã de coração Beatriz, que me aturou por todos esses anos, me ensinando a ser uma pessoa melhor e que compartilhou todos os bons e maus momentos comigo, que às vezes foi como uma mãe pra mim e vice-versa, só tenho a agradecer por essa amizade. Aos amigos dos grupos Letícias e Bonde KP, que foram presentes que a UTFPR me deu, e tenho certeza que levarei pra sempre no meu coração. Agradeço minha companheira de laboratório, Fabi, pela paciência e ajuda nos momentos que mais precisei. E aos outros amigos que de alguma forma, fizeram parte de toda minha jornada em Campo Mourão e também os amigos que mesmo distantes, se mantiveram presentes dentro do meu coração.

Agradeço imensamente à minha orientadora Dra. Débora Cristina, por todos os ensinamentos, paciência e atenção que teve comigo e a dedicação de me auxiliar para a realização deste trabalho. Agradeço também as professoras Sônia e Raquel, em me ajudaram com todas as dúvidas. Enfim, a todos os professores do curso, que estiveram envolvidos e contribuíram de alguma forma para eu chegar até aqui.

Por fim, a todos que passaram pela minha vida por esse tempo e que colaboraram de alguma forma para a realização desse sonho, Muito Obrigada!

RESUMO

RODRIGUES, Julia Vicente. **Análise do Potencial Fitoextrator da Macrófita Aquática *Pontederia parviflora* Alexander em Soluções de Arsênio III e Cromo III.** 2017. 35p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017.

Diante da necessidade de mais estudos que visem à remoção de metais pesados dos efluentes domésticos e industriais, este trabalho teve como objetivo testar o potencial fitoextrator da macrófita aquática *Pontederia parviflora* Alexander em soluções de cromo III e óxido de arsênio. O primeiro experimento do teste de sobrevivência da planta foi montado utilizando 6 concentrações diferentes dos metais. As concentrações foram de 10 e 25 mg.L⁻¹ de arsênio, 390 e 410 mg.L⁻¹ de cromo e a mistura dos metais, totalizando 190 e 555 mg.L⁻¹. As amostras foram realizadas em triplicata e o contato com os metais foi de 7 dias. Foi feito o controle das variáveis ambientais, medindo o pH e a temperatura ambiente todos os dias. *Pontederia parviflora* mostrou melhor tolerância pelo arsênio, sobrevivendo durante todo o experimento, já para o cromo, apresentou sinais de senescência nos últimos dias. Para o teste de fitoextração, foi mandado para laboratório amostras das plantas que ficaram em contato com os metais, e a planta da solução controle. As amostras das soluções antes e depois do experimento também foram encaminhadas para laboratório. Os resultados apresentaram grande absorção dos metais pela planta. As concentrações de arsênio apresentaram uma remoção de quase 100%, restando na solução final apenas 0,036 e 0,233 mg.L⁻¹. A mistura dos metais resultaram na remoção de 85,60% e 73,37% respectivamente para as concentrações de 190 e 555 mg.L⁻¹. Já o cromo apresentou uma remoção de mais de 50%, com concentração final em 189,90 mg.L⁻¹. Diante disso, levando em consideração a diferença de concentração dos dois metais, *Pontederia parviflora* Alexandre apresenta melhor remoção de cromo das soluções.

Palavras-chaves: Macrófita aquática. Potencial fitoextrator. Cromo. Arsênio.

ABSTRACT

RODRIGUES, Julia Vicente. **Analysis of Phytoextractor Potentiation of Aquatic Macrophyte *Pontederia parviflora* Alexander in Solutions of Arsenic III and Chromium III.** 2017. 35p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017.

In view of the need for further studies aimed at the removal of heavy metals from domestic and industrial effluents, this work aimed to test the potential phytoextractor of chromium III and arsenic oxide solutions by *Pontederia parviflora* Alexander. The first plant survival test experiment was assembled using 6 different concentrations of the metals. The concentrations were 10 and 25 mg.L⁻¹ of arsenic, 390 and 410 mg.L⁻¹ of chromium and the mixture of both metals, totaling 190 and 555 mg.L⁻¹. The samples were carried out in triplicate and the contact with the metals was of 7 days. The control of environmental variables was done by measuring pH and room temperature every day. *Pontederia parviflora* showed better tolerance for arsenic, surviving throughout the experiment, however for chromium, it showed signs of senescence in the last days. For the phytoextraction test, were sent to the laboratory the samples of the plants in contact with the metals and the control solution's plant. Samples of the solutions before and after the experiment were also sent to the laboratory. The results showed great absorption of both metals by the plant. The concentrations of arsenic showed a removal of almost 100%, remaining in the final solution only 0.036 and 0.233 mg.L⁻¹. The mixture of metals resulted in the removal of 85.60% and 73.37% respectively for the concentrations of 190 and 555 mg.L⁻¹. On the other hand, chromium presented a removal of about 50%, with final concentration at 189.90 mg.L⁻¹. Therefore, considering the difference in concentration of the two metals, *Pontederia parviflora* Alexandre presents a better removal of chromium from the solutions.

Key-word: Aquatic macrophyte. Phytoextractor potential. Chromium. Arsenic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Teste de sobrevivência de <i>Pontederia parviflora</i> Alexander em laboratório da UTFPR - CM....	21
Figura 2 - Senescência de <i>Pontederia parviflora</i> no primeiro experimento de sobrevivência.	24
Figura 4 - <i>Pontederia parviflora</i> no último dia de experimento em concentrações de (A) 10 mg.L ⁻¹ e (B) 25 mg.L ⁻¹ de arsênio.	27
Figura 5 - <i>Pontederia parviflora</i> em concentrações de cromo no segundo dia (A) e último dia (B) do teste de sobrevivência.....	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo geral.....	11
2.2 Objetivos específicos.....	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 Efluentes Domésticos e Industriais	12
3.2 Metais Pesados	13
3.2.1 Arsênio	14
3.2.2 Cromo	15
3.3 Fitorremediação.....	16
3.3.1 Macrófitas aquáticas.....	18
4 MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1 Teste de Sobrevivência	20
4.2 Teste de Fitoextração.....	22
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.1 Teste de Sobrevivência	23
5.2 Teste de Fitoextração.....	29
6 CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

O lançamento de esgoto *in natura* nos corpos hídricos tem causado grandes preocupações para o governo, sociedade e Ministério Público. Muitas são as formas de contaminar os corpos hídricos, e a maioria delas são oriundas de atividades antrópicas como a produção agrícola, irrigação mecanizada, pecuária, aquicultura e disposição de efluentes domésticos e industriais, que são considerados os piores contaminantes para as condições de potabilidade e salubridade da água (GRANZIERA, 2014).

Quando não tratados da forma correta, os efluentes provenientes de esgoto doméstico e atividades industriais provocam a contaminação ou o enriquecimento de compostos orgânicos e inorgânicos no solo e na água (LAMEGO; VIDAL, 2007). Os efluentes provenientes de atividades industriais são os mais danosos ao ambiente e aos seres vivos, já que apresentam grandes concentrações de metais pesados em sua composição. Esses metais são considerados bioacumulativos, podendo então, contaminar toda a cadeia trófica (TAVARES, 2009).

Alguns dos metais mais tóxicos encontrados nesse tipo de efluente são o cromo (Cr) e o arsênio (As). O cromo (Cr), quando em quantidades adequadas, é essencial aos animais, mas já em concentrações muito elevadas é considerado tóxico. Já o arsênio (As), não possui função fisiológica, sendo considerado tóxico em qualquer dose aos seres vivos (ALMEIDA, 2009).

Visando minimizar os impactos de efluentes lançados em corpos d'água sem o devido tratamento, alternativas baseadas em uso de vegetais para a retirada de contaminantes do solo e das águas vem sendo cada vez mais utilizadas em países desenvolvidos (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

A utilização de plantas para o tratamento de esgotos é conhecido a mais de 300 anos na Alemanha, já o termo fitorremediação - processo de remediação onde a planta e seus microrganismos associados são os principais responsáveis pela melhoria da qualidade ambiental – vem sendo empregado desde 1991, com a utilização de vegetais para tratar e reduzir concentrações de contaminantes em meios aquosos, sólidos e gasosos (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

Os metais pesados presentes no ambiente são removidos, contidos, transferidos, estabilizados e conseqüentemente, tornados inofensivos a partir do auxílio das plantas na fitorremediação. A utilização de espécies hiperacumuladoras capazes de tolerar, absorver e

translocar altos níveis de certos metais pesados que outros organismos considerariam tóxicos, demonstra a grande importância dessa técnica para o ambiente (ZEITOUNI, 2003).

A fitorremediação é considerada uma técnica promissora tanto ambiental como economicamente, para o tratamento de efluentes contaminados, sendo uma alternativa mais barata e com a mesma eficiência dos tratamentos químico-físicos. Levando em consideração a escolha das espécies mais adequadas para cada tipo de remediação, apresentam potencial para tratamento em larga escala, de forma eficaz, de poluentes orgânicos e inorgânicos (LAMEGO; VIDAL, 2007; ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

Estudos com diversas espécies vegetais já foram realizadas com aplicações em diferentes tipos de metais e ambientes. Plantas aquáticas vasculares são consideradas mais adequadas para o tratamento de água e remoção de metais pesados de efluentes devido seu crescimento rápido, grande produção de biomassa e capacidade de absorção de poluente (WUANA; OKIEIMEN, 2011; SCHNEIDER, 1995). Diante disso, o presente trabalho visa testar o potencial extrator de cromo (Cr) e arsênio (As) por macrófita aquática *Pontederia parviflora* Alexander.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Verificar o potencial fitoextrator da macrófita aquática *Pontederia parviflora* Alexander de arsênio III e cromo III.

2.2 Objetivos específicos

Para alcance do objetivo geral, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a capacidade de sobrevivência de *Pontederia parviflora* Alexander em diferentes concentrações de arsênio III e cromo III;
- Avaliar alterações morfológicas em *Pontederia parviflora* após a exposição arsênio III e cromo III;
- Analisar o potencial fitoextrator de arsênio III e cromo III por *Pontederia parviflora* Alexander;
- Comparar qual dos metais foi melhor extraído por *Pontederia parviflora* Alexander.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Efluentes Domésticos e Industriais

Em decorrência do crescimento populacional, a retirada de vegetação para dar lugar a cidades e a agricultura tem gerado grandes danos ao ambiente. A vegetação é de extrema importância, pois serve de filtro natural para alguns poluentes, controlam a erosão reduzindo a velocidade de escoamento da água e ainda purificam o ar (INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, 2009).

Devido à remoção desordenada da vegetação, os impactos ambientais causados a fauna aquática se agravam cada vez mais, já que os corpos hídricos vêm sendo poluídos drasticamente por efluentes domésticos, industriais e agroindustriais, alterando de forma negativa os ecossistemas aquáticos e alterando a qualidade química, física, biológica e radiológica da água (ALMEIDA, 2009).

Esgoto lançado sem prévio tratamento e em desconformidade com os padrões ambientais legais estabelecidos é considerada atividade poluidora, prejudicando o ambiente de forma a interferir na fauna residente no ecossistema, destruição da flora ribeirinha e prejuízo a população ao entorno, sendo passível de punição, como indenização ou reparação da área poluída (MARTINS JÚNIOR, 1995).

Dessa forma, devido às diferentes composições químicas, físicas e biológicas dos efluentes, volumes variados gerados nos processos de produção e potencialidade de toxicidade, os mesmos devem ser caracterizados, quantificados e tratados adequadamente, de acordo com suas especificações, posto que, o efluente tratado deve estar compatível com as condições, padrões e capacidade de suporte do corpo receptor (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2011).

Especificamente, os efluentes industriais devem ser devidamente tratados antes de serem descartados em corpos hídricos, de modo que as concentrações de metais dissolvidos não ultrapassem os limites estabelecidos para o tipo de efluente, de acordo com a Resolução CONAMA 430 de 2011, que dispõe sobre condições, parâmetro, padrões e diretrizes para a gestão de lançamento de efluentes em corpos de água receptores (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2011).

3.2 Metais Pesados

A expressão metal pesado é um termo baseado na densidade do elemento, aplicada ao grupo de metais e metalóides com número atômico maior que 20 ou com densidade maior que 5 g.cm^{-3} . São conhecidos também como elementos-traço, por serem encontrados em concentrações muito baixas no ambiente (ALVARENGA; ARAÚJO; SILVA, 1998).

Os metais pesados são encontrados naturalmente no solo e nas rochas em concentrações ou formas que não apresentem riscos, logo, a concentração natural total de metais pesados depende do material de origem da formação do solo, de como ocorreu a formação do solo e a composição dos componentes na fase sólida. As concentrações médias de metais pesados são diferentes nos solos do mundo inteiro, e essa heterogeneidade se dá pela grande diversidade dos tipos de solos. (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

Alguns metais são considerados essenciais para o desenvolvimento dos seres vivos, como o cobalto, cobre, ferro, zinco e manganês, entretanto, quando em altas concentrações podem causar danos ao ambiente e aos seres vivos (ZEITOUNI, 2003).

Os metais cádmio, chumbo e mercúrio, diferentemente dos anteriores, são considerados tóxicos mesmo em níveis de traço. Os metais pesados apresentam altas concentrações quando associados a atividades industriais, tornando-se nocivo devido sua alta toxicidade (ZEITOUNI, 2003; BARROS JÚNIOR, 2001).

Os compostos insolúveis que precipitam as soluções são formados por metais pesados, mas como apenas os íons solúveis são tóxicos para os sistemas enzimáticos bacterianos, as características do meio são de extrema importância para determinar a toxicidade dos diferentes tipos de metais pesados (NAIME; FAGUNDES, 2005)

Por não sofrer degradação devido a serem poluentes elementares, os metais pesados, quando disposto no ambiente uma vez que não são transportados, permanecem no solo, sendo bioacumulados (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007). O poder de bioacumulação dos metais pesados faz com que os mesmos contaminem toda a cadeia trófica, pois são absorvidos facilmente pelas plantas e incorporados por organismos aquáticos e são persistentes na natureza, aumentando os riscos relativos à contaminação e indução de efeitos deletérios irreversíveis à saúde humana (JABBEN; AHMAD; IQBAL, 2009; AGENCY FOR TOXIC SUBSYANCES AND DISEASE REGISTRY, 2012).

Os danos causados à fauna e a flora pela bioacumulação dos metais vão da morte de plânctons e diminuição das populações dos consumidores primários e secundários, até danos morfológicos, anatômicos e fisiológicos nas plantas (ALMEIDA, 2009).

3.2.1 Arsênio

O arsênio (As) é classificado quimicamente como um metalóide, porém, entra na categoria de metal pesado, devido a suas características como densidade correspondente a $5,72 \text{ g.cm}^{-3}$ (MELO, 2009). É um elemento natural que está amplamente distribuído na crosta terrestre e sua principal fonte natural de distribuição pelo ambiente são as atividades vulcânicas, a composição em rochas sedimentares e marinhas, depósito de minerais e combustíveis fósseis como carvão e petróleo (GOMES, 2011).

Encontra-se na natureza tanto na forma elementar quanto na forma de composto, sendo esta última, a mais abundante. O arsênio elementar é um material sólido de aço e cinza, e normalmente é chamado de arsenico. Já a forma composta, quando associado a outros elementos como oxigênio, cloro e enxofre é denominado arsênio inorgânico, e quando associado ao carbono e hidrogênio é referido como arsênio orgânico (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY, 2007).

Os estados de oxidação do arsênio são: a arsenita (-3), elementar (0), arsenito (+3) e o arseniato (+5). O arsenito é considerado o mais tóxico, sendo 60 vezes mais tóxico do que sua forma pentavalente (+5) (GOMES, 2011). Em condições óxicas o arsênio é encontrado na forma As^{5+} , e na forma As^{+3} em condições anóxicas (SMITH; NAIDU; ALSTON, 1998).

A ocorrência de traços de arsênio em águas naturais é freqüente, porém, inofensivo a saúde (BARROS JÚNIOR, 2001) e apresentam variações na concentração, de modo que em águas superficiais (rios e lagos) têm teores mais baixos e em água subterrâneas, teores mais elevados devido à proximidade com as rochas vulcânicas (MELO, 2009).

A atividade de mineração é um dos principais meios pelo qual o metalóide entra no ambiente. A utilização de herbicidas ou inseticidas a base de arsênio para a lavagem do solo, despejos industriais, fundição de metais é que causa o aumento dos teores nas águas (BARROS JÚNIOR, 2001).

A Resolução CONAMA 430/2011 dispõe que efluentes de atividades poluidoras só poderão ser lançados nos corpos receptores com o atendimento dos padrões e condições especificados na mesma, sendo que a quantidade de arsênio contido no efluente para despejo não poderá ultrapassar $0,5 \text{ mg/L}$ (CONSLEHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2011).

O arsênio é considerado extremamente tóxico, sendo sua exposição, inalação ou ingestão em quantidades consideradas nocivas pode gerar diversos efeitos tóxicos para saúde humana. Os problemas de saúde mais frequentes identificadas pela intoxicação aguda ou crônica do metal em sua composição inorgânica são problemas no pulmão, metabolismo, tumores cutâneos, úlceras, gastrites, diarreias, laringites e conjuntivites (WORD HEALTH ORGANIZATION, 2001; AMERICAN CANCER SOCIETY, 2014).

Após entrar em contato com o corpo humano, o arsênio concentra-se em todo o organismo; cérebro, unhas, útero, pulmão, pele, ossos e músculos, pois é absorvido e distribuído rapidamente por todo o corpo através do sangue. Porém, a maior concentração é no fígado e rins (GALVÃO; COREY, 1987). Devido à possibilidade do arsênio permanecer retido no organismo, a quantidade permitida pela Agencia de Proteção Ambiental (EPA) para consumo pode ser tornar cada vez mais restritiva. Já que mesmo em pequenas quantidades pode eventualmente provocar cânceres e levar a morte (CARABANTES; FERNICOLA, 2003).

3.2.2 Cromo

O cromo (Cr) é encontrado bem distribuído na crosta terrestre, e apresenta estado de oxidação de Cr^{+2} a Cr^{+6} . Está disposto em diversas formas no ambiente, porém, nunca em estado livre. Existente no meio aquático em estados de oxidação trivalente (III) com baixa toxicidade e hexavalente (VI), altamente tóxico, pois penetra rapidamente nas membranas celulares causando danos a saúde. O solo e as rochas apresentam uma pequena quantidade na forma trivalente (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1996).

A distribuição dos compostos contendo cromo (III) e cromo (VI) depende das condições de pH, presença de compostos oxidantes ou redutores e do potencial redox. Geralmente, sais de cromo (VI) são mais solúveis que de cromo (III), fazendo com que o mesmo seja mais móvel no ambiente (NAIME; FAGUNDES, 2005).

O cromo esta presente na indústria curtumeira como principal insumo mineral, onde é usado para o curtimento e recurtimento de couros, na indústria de galvanoplastia, na produção de catalisadores, pigmentos e tintas, fungicidas, cerâmica, vidro e na fotografia (NAIME; FAGUNDES, 2005; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1996).

Os limites de concentrações de cromo trivalente e cromo hexavalente contidos nos efluentes industriais não pode ultrapassar níveis de 1,0mg/L e 0,1 mg/L respectivamente, para estar dentro das condições e padrões de lançamento em corpos d'água (CONSLEHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2001).

Microrganismos podem suportar pequenas concentrações de cromo, apenas alguns miligramas por litro. Sobre a saúde humana, a forma trivalente é essencial ao metabolismo, já o cromo hexavalente exerce efeito deletério, sendo prejudicial aos processos biológicos, atuando sobre enzimas catalisadoras da síntese de proteínas, causando distúrbios gastrointestinais, diástase hemorrágica, convulsões, mortalidade por câncer de pulmão e morte após choque vascular (NAIME; FAGUNDES, 2005; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1996).

3.3 Fitorremediação

Existem diversas formas de tratar ambientes contaminados por efluentes industriais contendo metais pesados, dentre eles, a precipitação química, evaporação, cimentação, extração por solventes, flotação, processos com membranas, processos de sorção, considerados processos físico-químicos. Mas devido ao alto custo dos materiais para a utilização dessas técnicas, tem inviabilizado o emprego desses tratamentos e vem-se buscando técnicas alternativas com baixo custo e com a mesma eficiência dos tratamentos físico-químicos, como o tratamento com minerais, microrganismos, algas e biomassas diversas (TAVARES, 2009).

O baixo custo de alternativas ecológicas como a fitorremediação de áreas contaminadas vêm ganhando destaque nos setores públicos e privados, já que apresentam tratamento com baixo consumo de energia, alto grau de eficiência, é aplicável a uma grande variedade de contaminantes, possui grande aceitação pública, reduz a erosão e com o passar do tempo, com o crescimento da planta, cresce também a capacidade de absorção dos poluentes (ZEITOUNI, 2003). A fitorremediação se apresenta como uma ótima alternativa, tanto ecológica como economicamente, para o tratamento de solo e águas contaminados (LAMEGO; VIDAL, 2007).

A fitorremediação é uma técnica que utiliza plantas para despoluir o ambiente contaminado através da absorção, acumulação, translocação, extração e desintoxicação em seus tecidos através de processos químicos, físicos e biológicos (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007). As plantas absorvem os metais pelas raízes a partir de processos de difusão de íons da solução externa, para a endoderme das raízes, ou ativa, necessitando energia metabólica (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001).

Diferentemente de outras tecnologias para a remoção de compostos tóxicos, a fitorremediação se apresenta muito versátil podendo ser utilizada para a remediação tanto de meio aquosos, como também do solo e ar, dependendo dos objetivos a serem atingidos

(JABBEN; AHMAD; IQBAL, 2009). A utilização de vegetais pode auxiliar na melhoria de características físicas e químicas do local, onde à interação entre organismos bióticos e abióticos. Essa interação de planta e microrganismos só potencializa a eficiência da fitorremediação, onde a planta produz grande parte do oxigênio utilizada pelas bactérias aeróbicas para a degradação da matéria orgânica, e a bactéria por sua vez, libera o CO₂ pela respiração, que é utilizada pela planta na fotossíntese (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

A fitorremediação deve ser vista como uma solução de longo prazo para tratar locais contaminados com metais pesados, pois são necessários muitos ciclos de cultivo durante os anos da remediação, até que os metais atinjam níveis aceitáveis para o ambiente (PRASAD; FREITAS, 2003).

Os mecanismos de fitorremediação dos contaminantes pelas plantas estão divididos em fitoextração, fitotransformação ou fitodegradação, fitovolatilização, fitoestimulação e fitoestabilização (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

Na fitoextração, as plantas realizam a absorção e acúmulo de contaminantes, como metais pesados e outros componentes orgânicos e inorgânicos, em suas partes aéreas e raízes, sem degradá-los (ZEITOUNI, 2003). O contaminante é absorvido pela raiz e translocado e acumulado na parte aérea da planta, facilitando a retirada do contaminante quando a parte aérea é recolhida (JABBEN; AHMAD; IQBAL, 2009).

Para a fitoextração, são utilizadas espécies hiperacumuladoras, que podem acumular metais em níveis até cem vezes maiores que plantas comuns. Essas plantas são capazes de absorver concentrações de metais maiores do que as concentrações normalmente encontradas no ambiente (SOUZA et al., 2015).

A disposição do material da planta, após o tratamento, é decidido de acordo com sua possibilidade de reaproveitamento, o tipo de vegetal cultivado, sua capacidade de bioacumulação e o risco ambiental representado. Poderão ser dispostas em aterros sanitários ou recicladas para a recuperação do metal (ZEITOUNI, 2003). A escolha do método para a recuperação do metal depende do mecanismo de acumulação do metal na planta. Se a acumulação for por adsorção extracelular, recomenda-se a utilização de processos destrutivos. Porém, se a acumulação ocorre por processos metabólicos, onde os metais ficam retidos intracelularmente, a recuperação só é possível a partir de processos destrutivos (SCHNEIDER, 1995).

A biomassa das plantas pode ser reaproveitada, sendo incorporada na preparação de materiais da construção civil, como blocos cerâmicos. Essa reutilização pode atuar como

solução para problemas ambientais associados ao descarte dos resíduos poluentes da planta (OLIVEIRA; HOLANDA, 2004).

As espécies vegetais utilizadas na fitorremediação, de modo geral, apresentam comportamentos diferentes e variação da capacidade de absorção dos metais pesados. Essas variações se dão de acordo com a natureza da planta, fatores de pH, disponibilidade de matéria orgânica, concentração em que se encontra o metal, presença de ânions, textura, temperatura, luminosidade, umidade, presença de fertilizantes, aeração, potencial redutor e presença de micorrizas (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2000).

A compreensão dos mecanismos de tolerância da planta a um determinado metal é importante para o desenvolvimento adequado da técnica e para que ela seja utilizada em locais compatíveis com seu hábito, fazendo assim, a escolha da planta certa de acordo com o local contaminado e com o tipo de metal (JABEEN; AHMAD; IQBAL, 2009).

Desse modo, para que a fitorremediação seja eficiente deve-se testar o comportamento da espécie em meio contaminado, pois, para a que a planta seja um bom fitorremediador ela deve ter o poder de acumular grandes concentrações de poluentes em seus tecidos sem sofrer efeito de toxidez, que é quando a planta começa apresentar anormalidades, como redução do crescimento, sobretudo do sistema radicular, cloroses e aparecimento de manchas na parte aérea das plantas, que podem evoluir a necrose e morte das folhas. Caso a planta apresente sintomas negativos ao poluente, ela é considerada uma bioindicadora ecológica da poluição (ALMEIDA, 2009).

3.3.1 Macrófitas aquáticas

A utilização de plantas aquáticas para o tratamento de corpos d'água contaminados vem crescendo cada vez mais, devido a serem conhecidas por sua alta capacidade de absorção e acumulação de poluentes. Essa capacidade se dá devido aos mecanismos dependentes do seu metabolismo ou por interações físico-químicas e sua grande produção de biomassa devido a seu crescimento acelerado (TAVARES, 2009).

Plantas aquáticas vasculares ou macrófitas aquáticas, são aquelas cujas partes fotossintetizantes estão permanentemente ou parte dos meses do ano submersas ou flutuantes nos corpos d'água, de modo geral, são plantas que vivem em ambientes úmidos. Possuem grande abundância, alta produtividade e contribuição para a diversidade biológica (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007; DINARDI et al., 2003).

O tratamento com macrófitas pode ser constituído por sistemas de lagoas, de acordo com as características de cada planta ou do sistema de lagoa que se deseja para o tratamento. Sendo eles, sistema baseado em macrófitas aquáticas flutuantes (enraizadas ou livres), quando as plantas apresentam seus tecidos fotossintetizantes flutuantes e com raízes longas livres ou enraizadas, dependendo da profundidade do meio tratado. Sistema baseado em macrófitas submersas, plantas com os tecidos fotossintetizantes completamente submersos. E sistema baseado em macrófitas aquáticas emergentes, onde se opta por um dos tratamentos anteriores isoladamente, ou combinando-os entre si, seja com órgãos de sistemas convencionais de depuração (DINARDI et al., 2003).

É importante notar que a remediação do efluente não ocorre somente pela presença dessas plantas no meio, mas também, associadas aos diversos tipos de microrganismos contidos em suas raízes (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

Dentre as macrófitas aquáticas estudadas no processo de descontaminação, *Pontederia parviflora* mostrou-se eficiente na remoção de metais pesados, sendo classificada como hiperacumuladora, por apresentar características de absorção e acúmulo de metais nas raízes e em suas partes aéreas (BALASSA; SOUZA; LIMA, 2010).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em duas fases, um teste para verificar a capacidade de sobrevivência da espécie em diferentes concentrações de arsênio III (As^{+3}) e cromo III (Cr^{+3}), e posteriormente, o potencial de acumulação dos metais pela planta. O experimento foi montado utilizando *Pontederia parviflora* Alexander, coletada na região do município de Campo Mourão (PR).

As soluções padrão de 1000 mg/L de arsênio III (As_2O_3) e cromo III (CrCl_3) utilizadas para o experimento foram preparadas em laboratório e, a partir dessa, foram diluídas em diferentes concentrações para os respectivos testes.

4.1 Teste de Sobrevivência

Foram dispostos três indivíduos de *Pontederia parviflora* Alexander, em recipientes de polietileno contendo 1,5 L de solução de arsênio III e cromo III diluídas em água destilada. Realizaram-se amostras em triplicatas apenas do arsênio, e o período de contato com os metais foi de sete dias e as avaliações de sobrevivência foram diárias.

Para este teste, utilizou-se concentrações de 390 e 410 mg.L^{-1} de Cr^{+3} e 10 e 25 mg.L^{-1} de As^{+3} . Os metais foram testados nessas concentrações separadamente e em mistura das concentrações dos dois metais. As concentrações utilizadas para as soluções misturadas foram de 185 mg.L^{-1} de Cr^{+3} mais 5 mg.L^{-1} de As^{+3} (totalizando 190 mg.L^{-1}) e 540 mg.L^{-1} de Cr^{+3} mais 15 mg.L^{-1} de As^{+3} (totalizando 555 mg.L^{-1}). Realizou-se a mistura dos metais para analisar qual dos metais seria melhor absorvido pela planta. Utilizou-se uma amostra controle onde não havia presença de metais no meio que estava em contato com *P. parviflora*.

Para a realização do teste de sobrevivência, o experimento foi montado duas vezes para as concentrações que continham cromo, já que o pH da solução do primeiro experimento se encontrava muito ácido, e em decorrência disso, causou a morte da planta dentro de 2 dias. O segundo experimento foi montado utilizando o mesmo sal de cromo, porém, houve a correção do pH da solução, onde utilizou-se hidróxido de sódio (NaOH) para aumentar o pH da solução para aproximadamente 5. A partir do ajuste do pH da solução, as plantas foram dispostas novamente nos recipientes com as soluções corrigidas e suas respectivas concentrações, para realização do teste de sobrevivência novamente.



Figura 1 - Teste de sobrevivência de *Pontederia parviflora* Alexander em laboratório da UTFPR - CM.

Para acompanhar os efeitos do arsênio e do cromo sobre o metabolismo das plantas, avaliações qualitativas foram realizadas através da observação de surgimento de brotos, mudanças na coloração das folhas, sinais de necrose e a ocorrência de senescência dos indivíduos. Os brotos novos foram medidos a cada vinte e quatro horas, para estabelecer a capacidade de crescimento das plantas.

Na busca de estabelecer relação entre as variáveis ambientais e o desempenho da espécie, mediu-se o pH diariamente utilizando potenciômetros de campo, e a temperatura do local do experimento foi acompanhada com termômetro de máxima e mínima, medidos a cada vinte e quatro horas.

4.2 Teste de Fitoextração

Após o teste de sobrevivência, todos os indivíduos foram retirados e separados por concentrações em sacos plásticos com identificação, e também separadas amostras das soluções que ficaram em contato com a planta e das soluções controle, e foram enviadas ao laboratório para determinação das concentrações de As e Cr nos tecidos da planta.

Mediante a obtenção dos resultados das amostras, foi calculada a proporção de arsênio e cromo absorvida pela planta, utilizando Regra de Três, e realizou a comparação de qual metal foi melhor absorvido, nas soluções que continham os dois metais.

Utilizou-se a fórmula da Cinética de Absorção (Equação 1) para demonstrar o quanto a planta absorveu por tempo de experimento, e com isso, obter resposta de quanto tempo mais a planta levaria para absorver o restando de metal da solução.

$$\text{Cinética de Absorção} = \frac{\text{concentração final} - \text{concentração inicial}}{\text{tempo de experimento}} \quad (1)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Teste de Sobrevivência

A temperatura do ambiente ficou em torno de 26° C, sendo uma temperatura adequada para o desenvolvimento da planta, já que macrófitas aquáticas tropicais tem bom desenvolvimento em temperaturas variando de 23° C a 32° C (HENRY-SILVA; CAMARGO, 2005). Fatores como luz e temperatura interferem não somente no crescimento da planta, mas também na absorção dos metais (PRADAD; FREITAS, 2003).

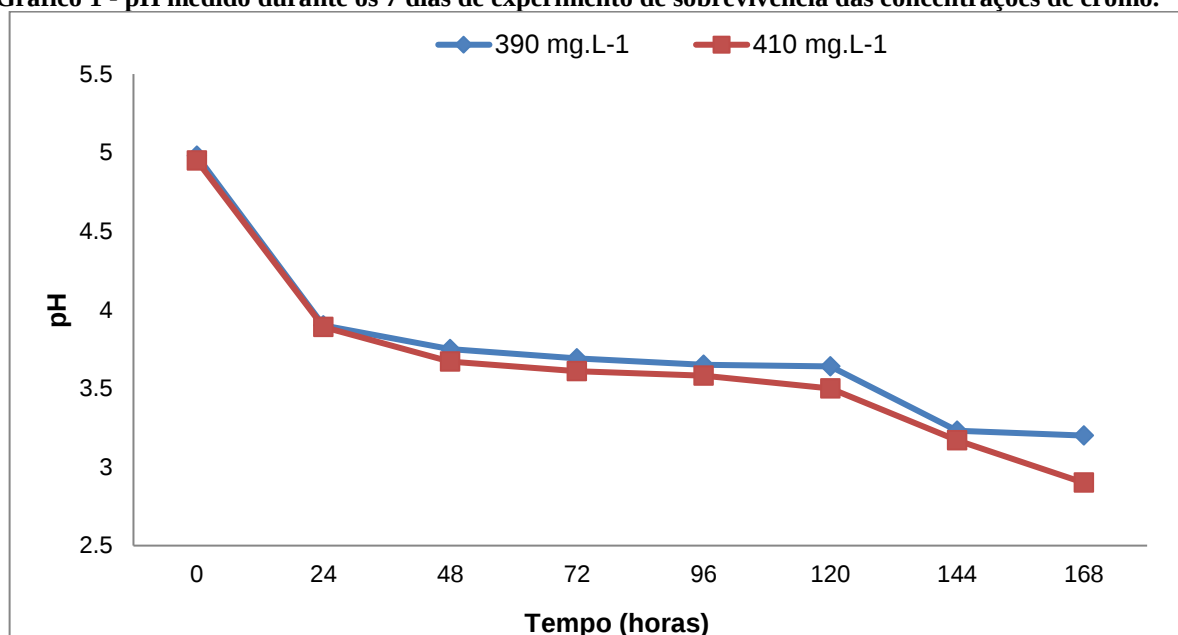
Na montagem do primeiro experimento do teste de sobrevivência, o pH das soluções de cromo apresentaram valores muito baixos, chegando a medir 2,77, representando um pH muito ácido. O pH ácido causou a morte precoce da planta (Figura 2), já que o pH ideal para o desenvolvimento de uma planta varia entre 6,5 e 7 (HENRY-SILVA; CAMARGO, 2005).



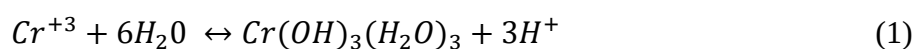
Figura 2 - Senescência de *Pontederia parviflora* no primeiro experimento de sobrevivência.

Já no segundo experimento ainda do teste de sobrevivência, onde houve a correção do pH das soluções, o pH manteve-se em 5 apenas no dia da correção. Após passadas as primeiras 24 horas de experimento, a solução encontrava-se já com valores mais baixos, variando entre 3 e 4. No decorrer dos dias, o pH das soluções seguiram abaixando, atingindo o valor mínimo de 2,9 (Gráfico 1).

Gráfico 1 - pH medido durante os 7 dias de experimento de sobrevivência das concentrações de cromo.

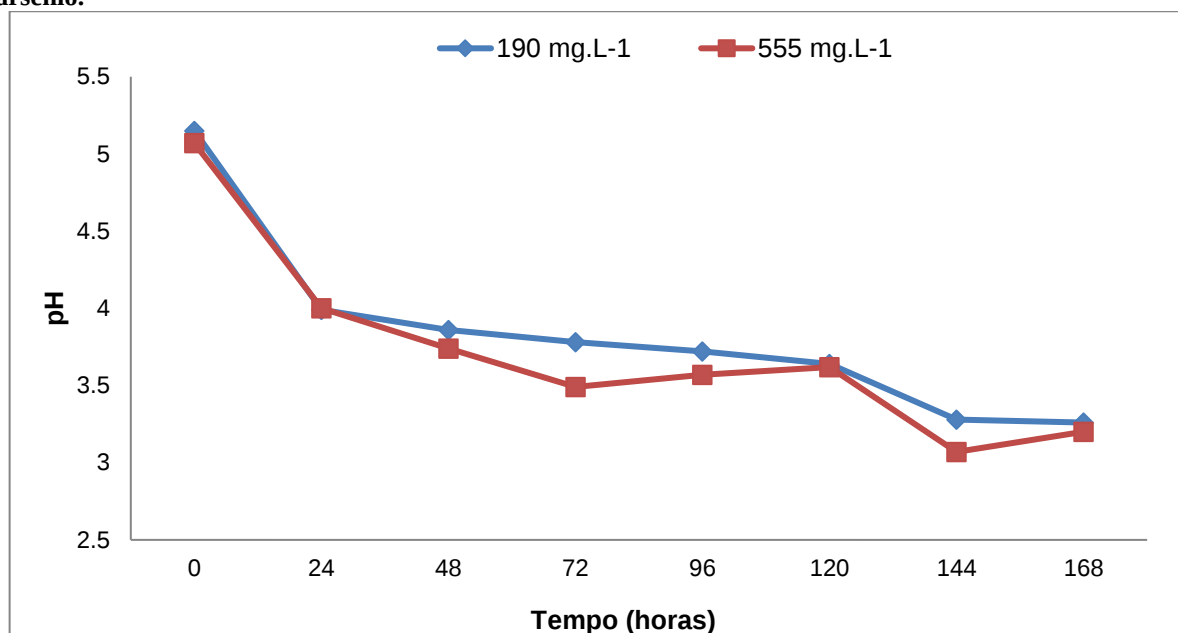


A alta concentração de cromo na solução é que causa a diminuição do pH. Essa diminuição está atribuída à reação de hidrólise do Cr^{+3} (Reação 1).



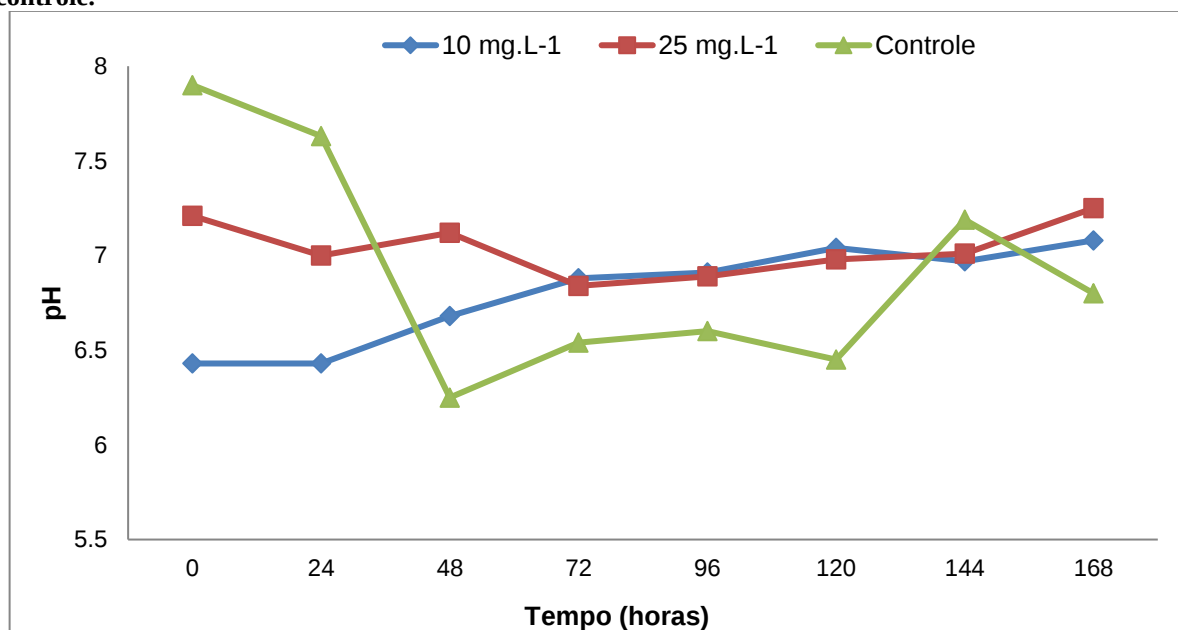
As amostras que continham os metais misturados apontaram resultados parecidos com as concentrações só de cromo. Apontaram valores de pH próximos de 5 nas primeiras 24 horas, e no decorrer do experimento esse valor foi diminuindo, chegando a medir 3,2 no último dia (Gráfico 2).

Gráfico 2 - pH medido durante os 7 dias de experimento de sobrevivência das concentrações de cromo - arsênio.



Os valores de pH das concentrações de arsênio apresentaram valores maiores do que as concentrações que continham cromo. O pH não apresentou variações acentuadas, variando entre 6,43 a 7,2, tanto para a amostra 1 quanto para amostra 2 (Gráfico 3). Esse intervalo de valores do pH é considerado ótimo para a absorção dos metais pela planta (ÓLGUIN; SANCHEZ – GALVÁN, 2010). A solução controle também não apresentou variações significativas de pH, mantendo-se perto da faixa neutra, entre 6,25 e 7,9 (Gráfico 3).

Gráfico 3 - pH medido durante os 7 dias de experimento de sobrevivência das concentrações de arsênio e controle.



Um fator muito importante para ser levado em conta é o pH da solução, já que é capaz de controlar a solubilidade dos metais e fixação de alguns nutrientes pelas plantas. A remoção dos metais pesados pela macrófita se mostra mais eficiente em pH levemente ácido do que em pH mais alcalino. A alcalinidade do meio pode reduzir a mobilidade dos metais pesados e sua disponibilidade de transferência para o tecido vegetal (LUIZ, 2016).

Como exemplo, a fitoextração de metais em solo também é mais fácil quando o pH se encontra mais baixo, pois dessa forma, o metal não fica retido na matéria orgânica do solo, sendo mais fácil ser absorvido pelas raízes da planta (PRASAD; FREITAS, 2003).

As plantas apresentaram desenvolvimentos distintos nas diferentes concentrações de cromo e arsênio e na mistura dos dois metais. *Pontederia parviflora* nas duas concentrações de arsênio sobreviveu durante todo o experimento, apresentando pequenos sinais de necrose e morte apenas de algumas folhas (Figura 4). A planta não chegou a morrer devido a se desenvolver bem nas condições de temperatura e pH do experimento.

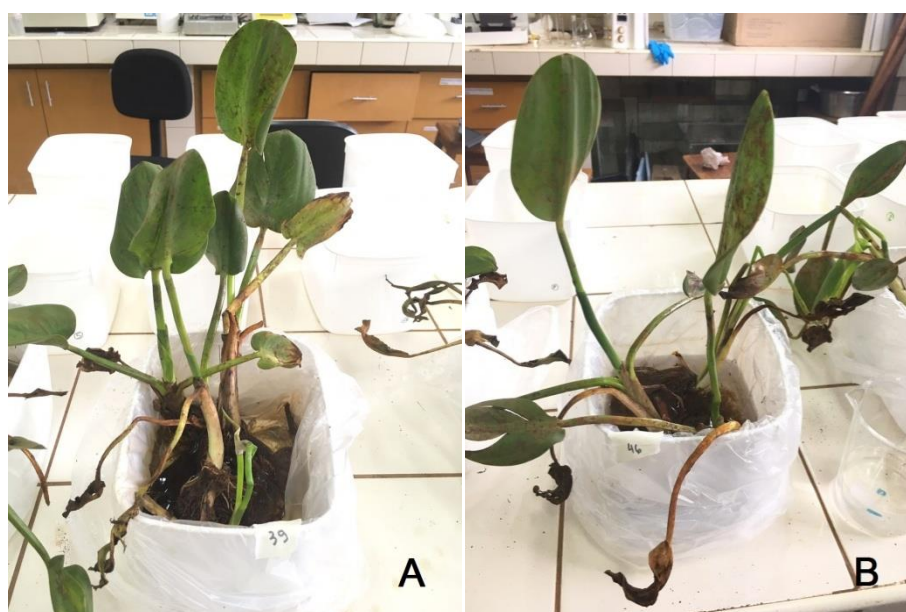


Figura 3 - *Pontederia parviflora* no último dia de experimento em concentrações de (A) 10 mg.L⁻¹ e (B) 25 mg.L⁻¹ de arsênio.

Já as plantas que continham cromo reagiram de forma diferente na presença do metal, apresentando sinais de desenvolvimento diferente das que continham arsênio. Mesmo com a correção do pH, *P. parviflora* não conseguiu sobreviver durante todo o experimento, nem nas concentrações só com cromo e nem nas concentrações dos dois metais, uma vez que o pH manteve-se ácido em decorrência da grande concentração de cromo. No segundo dia de

experimento a planta já apresentou sinais de senescência (Figura 5A), e no último dia estava morta (Figura 5B).

A morte da planta foi influenciada pela alta concentração do cromo, que estava muito acima do tolerado, juntamente com o valor do pH, por não ser o ideal para o desenvolvimento da mesma, porém, o pH baixo das soluções favorecem a absorção de cromo pela planta, causando a saturação do metal em seus tecidos. Visto que o cromo trivalente somente se apresenta na forma solúvel em pH com valores abaixo de 4, fazendo com que o ânion solúvel do cromo penetre facilmente através da membrana celular da planta (RUBIO, et al., 2001).



Figura 4 - *Pontederia parviflora* em concentrações de cromo no segundo dia (A) e último dia (B) do teste de sobrevivência.

Para o controle de crescimento de brotos, observou-se no decorrer dos dias o comportamento da planta, porém, o aparecimento do primeiro broto se deu apenas no quarto dia de experimento, na concentração de 10 mg.L^{-1} de arsênio. Já o segundo broto, apareceu no quinto dia, na concentração de 25 mg.L^{-1} também de arsênio. Até o final do experimento, os brotos cresceram cerca de 0,9 cm e 0,7 cm respectivamente. Nas concentrações que continham cromo e nas soluções controle não houve desenvolvimento de brotos novos, apenas os que já estavam na planta desde a coleta. A mudança no comportamento de crescimento da planta é um dos primeiros fatores que demonstram o estresse da planta quando em contato com um metal (SOUZA et al., 2015).

A alta concentração de H^+ interfere na absorção dos nutrientes, e assim, interfere no crescimento da planta, que depende da absorção dos nutrientes. O fósforo é muito importante

para o desenvolvimento das plantas, pois a transferência de fósforo para a parte aérea condiciona o suprimento do nutriente aos sítios ativos fotossintetizantes da planta (ABICHEQUER; BOHNEN, 1998). Na saturação dos metais nas raízes da planta, os nutrientes deixam de ser transportados podendo levar a senescência da planta. Esta característica é um importante fator a ser considerado por trabalhos de fitotratamento (GRATAO et al., 2005).

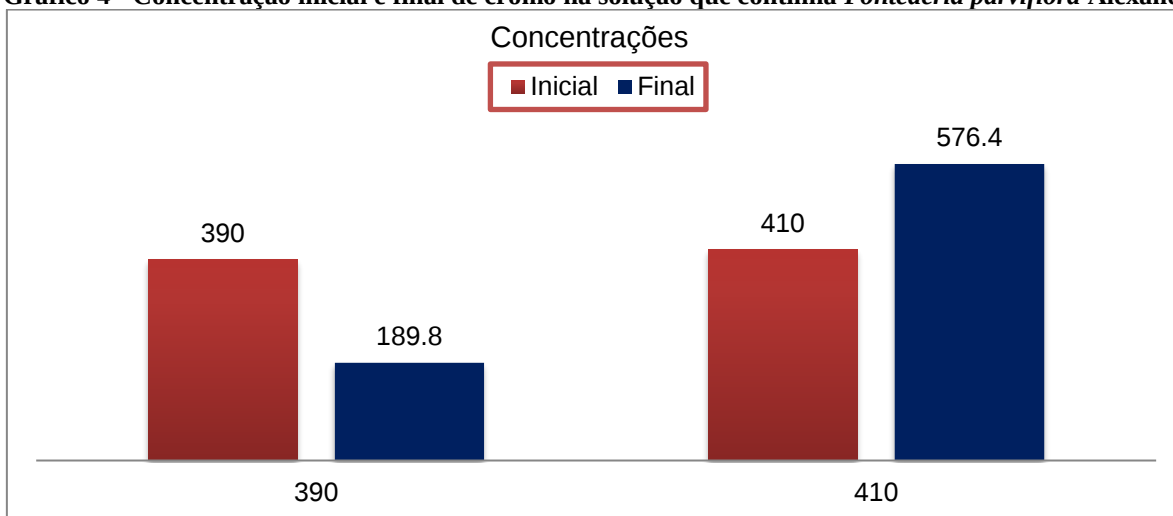
As plantas removem os metais pesados de forma eficiente do meio aquoso, porém, os metais prejudicam as plantas produzindo efeitos tóxicos, resultando na inibição da síntese de clorofila, diminuição da produção de biomassa e necrose (SCHNEIDER, 1995).

Algumas espécies de plantas tendem a acumular metais pesados nas raízes e outras transportam para as porções foliares (PRASAD; FREITAS, 2003), essa capacidade de transporte é um mecanismo de tolerância da planta ao metal (SOUZA, et al., 2015). É possível considerar que esta variação entre a raiz e a folha representa uma tentativa da planta de inibir o efeito tóxico em seus tecidos, e a limitação dos metais no sistema radicular é um mecanismo de exclusão da planta para a tolerância à toxicidade do metal (CARBONELL-BARRACHINA et al., 1997; SOUZA, et al., 2015). *Pontederia parviflora* tem se mostrado em outros experimentos como hiperacumuladora de metais nos tecidos foliares (BALASSA; SOUZA; LIMA, 2010), porém, no experimento, não foi separado as porções de raízes e parte aérea para observar onde a planta acumulou mais metais.

5.2 Teste de Fitoextração

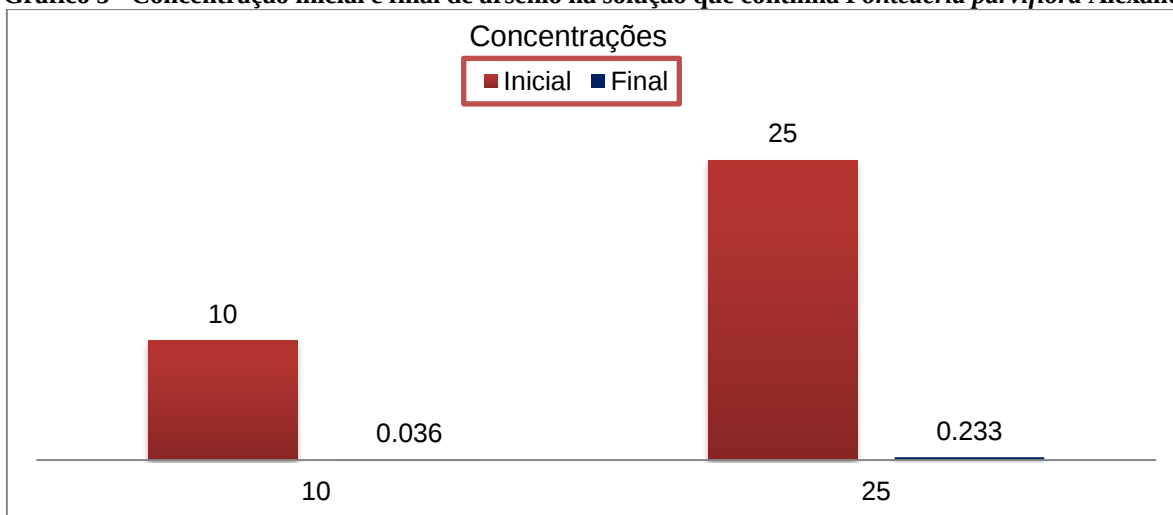
A partir da solução padrão pode-se analisar qual a concentração de metais absorvida pela planta. Mesmo com a morte da *P. parviflora* no final do experimento das soluções que continham cromo (Gráfico 4 e 6), a planta conseguiu absorver significativamente os metais da solução e as soluções só de arsênio também obteve-se resultados satisfatórios (Gráfico 5). A planta não apresentou sinais de intolerância ao arsênio (FERREIRA, 2016), sobrevivendo até o final do experimento.

Gráfico 4 - Concentração inicial e final de cromo na solução que continha *Pontederia parviflora* Alexander.



A primeira concentração de Cr⁺³ passou de 390 mg.L⁻¹ para 189,80 mg.L⁻¹, obtendo-se assim, uma eficiência de remoção de 51,25% do metal, entretanto, na segunda concentração de Cr⁺³, a amostra apresentou um aumento de 41,44% na concentração da solução devido a não homogeneização do meio (Gráfico 4).

Gráfico 5 - Concentração inicial e final de arsênio na solução que continha *Pontederia parviflora* Alexander.

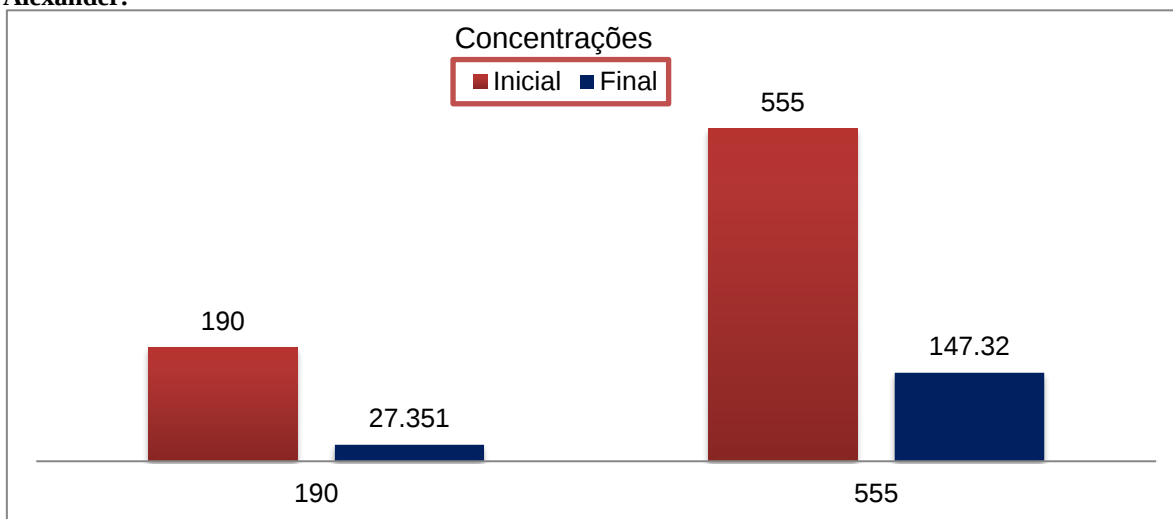


Para obtenção dos resultados das concentrações de arsênio, realizou-se uma média entre as amostras da solução, já que se encontrava em triplicata. As concentrações de arsênio apresentaram uma remoção de 99,66% e 99,15% respectivamente, passando de uma concentração de 10 mg.L⁻¹ para 0,036 mg.L⁻¹ e 25 mg.L⁻¹ a 0,233 mg.L⁻¹ (Gráfico 5).

Para a solução que continha a mistura dos metais, o resultado da absorção foi calculado a absorção total da amostra, e separadamente para cada metal. Dessa forma, obteve-se a

remoção de 85,28% de cromo e 96,93% de arsênio na primeira mistura, e uma remoção de 73,18% e 80,23% de cromo e arsênio respectivamente na segunda mistura (Gráfico 6). A remoção total de cada amostra foi de 85,60% para a concentração de 190 mg.L^{-1} e de 73,37% para de 555 mg.L^{-1} .

Gráfico 6 - Concentração inicial e final de cromo - arsênio na solução que continha *Pontederia parviflora* Alexander.



Os resultados mostram melhor absorção do arsênio pela planta, de modo que o metal foi absorvido quase 100% da amostra. Para este fato, pode-se levar em conta também a diferença dos valores das concentrações dos metais na solução, sendo a primeira concentração de cromo cerca de 35 vezes maior que a primeira concentração de arsênio e aproximadamente 15 vezes maior na segunda concentração. Assim, se for levado em conta apenas a porcentagem de absorção, o arsênio teve maior êxito, porém se observar a quantidade medida em mg.L^{-1} , tem-se que a absorção de arsênio foi apenas de 5% da de cromo. Fazendo a proporção, o cromo apresentou uma melhor remoção por *Pontederia parviflora* Alexander.

A cinética de absorção da concentração de 390 mg.L^{-1} do cromo foi de $1,19 \text{ mg.L}^{-1}/\text{hora}$. Desse modo, para a planta absorver todo o metal da solução, precisaria de mais 160 horas. Já para as concentrações de 10 mg.L^{-1} e 5 mg.L^{-1} do arsênio, o valor da cinética foi de $0,059 \text{ mg.L}^{-1}/\text{hora}$ e $0,14 \text{ mg.L}^{-1}/\text{hora}$, necessitando de mais 2 e 11 horas respectivamente para a absorção total do metal. As soluções misturadas resultaram em $0,96 \text{ mg.L}^{-1}/\text{hora}$ e $2,42 \text{ mg.L}^{-1}/\text{hora}$ de absorção, e para a remoção toda dos metais da solução, precisariam de mais 30 e 60 horas.

Em concentrações mais baixas de cromo, *P. parviflora* mostrou resposta positiva na absorção do metal. Não apresentando folhas amarelas e poucos sinais de necrose (SOUZA, et

al., 2015). Deste modo, evidencia a capacidade e eficiência da planta de remover metais pesados do ambiente, porém fica restrito a concentração em que a planta fica exposta e o tempo de contato, de modo que a planta apresenta intolerância a concentrações muito altas do cromo, o que levou a morte da mesma.

Pontederia parviflora apresentou grande potencial para absorver as concentrações de metais pesados, podendo ser utilizada em tratamentos por curto período, porém, há a necessidade de mais estudos considerando maior tempo de exposição e a estudos fisiológicos (FERREIRA, 2016).

Deve-se levar em conta a escolha das plantas para a fitoextração, de modo a utilizar espécies que tolerem altas concentrações de metais, possuam grande capacidade de acumulação de metal, crescimento rápido e um grande sistema radicular (JABEEN; AHMAD; IQBAL, 2009 apud SOUZA, et al., 2015). Plantas com crescimento rápido são requeridas, pois, quanto mais alta a produção de biomassa, maior acumulação dos metais nos tecidos e consequentemente, maior remoção dos metais (PRASAD; FREITAS, 2003).

6 CONCLUSÃO

De modo geral, a planta apresentou-se como ótima acumuladora de metais pesados em seus tecidos, sendo capaz de absorver diferentes concentrações, em proporções diferentes, de cromo e arsênio.

Para o arsênio a planta se mostrou mais tolerante, já que apesar de ter apresentado pequenas necroses e senescência em algumas folhas, absorveu quase todo o metal da solução e sobreviveu até o fim do experimento. Ainda que a *Pontederia parviflora* seja uma ótima acumuladora de cromo, não sobrevive a altas concentrações, e por isto não sobreviveu até o final do experimento com cromo, devido a este estar em alta concentração na solução.

Pode-se estimar quantas horas a planta levaria para absorver todo o metal da solução a partir da cinética de absorção, onde se obteve que o arsênio precisaria de aproximadamente 11 horas para terminar de ser removido pela planta enquanto que o cromo mais 160 horas para a

remoção total. Porém, vê-se a necessidade da diminuição dessa concentração para obtenção de bons resultados.

Deve-se levar em conta a diferença das concentrações de arsênio e cromo nas soluções. O arsênio obteve uma remoção de aproximadamente 100%, e o cromo uma remoção de quase 50%, porém, a concentração de cromo das soluções era de 35 e 15 vezes maior do que as concentrações de arsênio respectivamente. Dessa forma, com a comparação da proporção em mg.L^{-1} de cada metal na amostra, mostra que *Pontederia parviflora* Alexander apresentou maior eficiência na remoção do cromo.

Por fim, o estudo mostra que para um tratamento de curto prazo, a fitorremediação por *Pontederia parviflora* Alexander para metais pesados é uma alternativa viável. A concentração do arsênio apresentou resultados positivos sendo bem absorvido pela planta, no entanto, o cromo, se em concentrações menores, apresentaria resultados mais satisfatórios.

REFERÊNCIAS

- ABICHEQUER, A.D.; BOHNEN, H. Eficiência de Absorção, Translocação e Utilização de Fósforo por Variedades de Trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.21-26, 1998.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). 2007. **Toxicological profile for Arsenic**. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- ALMEIDA, G. W. de. **Avaliação do Potencial e Fitorremediador de *Salvinia auriculata* Aublet na Presença de Cádmio e Chumbo**. 2009. 85p. Tese (Dissertação de Mestrado em Ecologia Aplicada) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- ALVARENGA, P.; ARAÚJO, M. F.; SILVA, J. A. L. **As Plantas, os Solos, os Metais e a Vida Jogos Múltiplos**. SOQUÍMICA, Lisboa, p.10-18, 1998.
- AMERICAN CANCER SOCIETY. **Arsenic**. 2014.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. Ed. PHARMABOOKS, 2012.
- ANDRADE, J.C.M.; TAVARES, S.R.L.; MAHLER, C.F. **Fitorremediação: O uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. Editora Oficina de Textos, São Paulo, 2007.
- BALASSA, G.C.; SOUZA, D.C.; LIMA, S.B. Evaluation of the Potential of *Pontederia parviflora* Alexander in the Absorption of Copper (Cu) and its Effects on Tissues. **Acta Scientiarum**. Biological Sciences Maringá, v.32, n.3, p. 311-316, 2010.
- BARROS JÚNIOR, L.M. **Biossorção de Metais Pesados Presentes em Águas de Produção da Indústria de Petróleo**. 2001. 134p. Tese (Dissertação de Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2001.
- CARABANTES, A.G.; FERNICOLA, N.A.G.G.de. Arsénico en el Agua de Bebida: Un Problema de Salud Pública. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**. São Paulo, v.39, n.4, p.1-8, 2003.
- CARBONELL-BARRACHINA, A.A.; BURLO, F.C.; BENEYTO, J.M. Arsenic Uptake Distribution, and Accumulation in Bean Plants: Effect of Arsenite and Salinity on Plant Grow and Yield. **Scientia Horticulturae**, v.71, p.167-176, 1997.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº430, de 13 de Maio de 2011**.
- DINARDI, A. L.; FORMAGI, V. M.; CONEGLIAN, C. M. R.; BRITO, N. N.; SOBRINHO, G. D.; TONSO, S.; PELEGRINI, R. **Fitorremediação**. In: Fórum de Estudos Contábeis, 3., 2003, Rio Claro (SP).
- FERREIRA, T.C. **Análise do Potencial Fitoextrator de Macrófitas Aquáticas em Solução de Óxido de Arsênio III (AS₂O₃)**. 2016. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em

Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

GALVÃO, L.A.C.; COREY, G. **Arsenico**. Organización Mundial de La Salud. Metepec, México, 63p, 1987.

GRANZIERA, M. L. M. **Direito das Águas: Disciplina Jurídica das Águas Doces**. Editora Atlas, São Paulo, 2014.

GRATÃO, P.L.; POLLE, A.; LEAN, P.J.; AZEVEDO, R.A. Making of Life of Heavy Metal – Stressed Plants a Little Easier. **Functional Plant Biology**, v.32, n.6, p.481-494, 2005.

HENRY-SILVA, G.G.; CAMARGO, A.F.M. Interações Ecológicas entre Macrófitas Aquáticas Flutuantes *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*. **Hoehnea**. v.32(3), p. 445-452, 2005.

GOMES, A B.M. **Mitigação do Arsênio em Águas Subterrâneas Utilizando SBF**. 2011. 101p. Tese (Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas e Geociência) – Departamento de Engenharia De Minas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Área de Preservação Permanente e Reserva Legal: O que dizem as leis para a agricultura familiar?** Londrina, 2009. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/Reserva%20Legal%20livro.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2017, 19:35:57.

JABBEN, R.; AHMAD, A.; IQBAL, M.. Phytoremediation of Heavy Metals: Physiological and Molecular Mechanisms. **The New York Botanical Garden**, New York. p. 340-364. 2009.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace Elements in Soils and Plants**. 3.ed. Boca Raton: CRC Press, 2001.

LAMEGO, F. P.; VIDAL, R. A. **Fitorremediação: Plantas como Agentes de Despoluição? Pesticidas: ecotoxicologia e meio ambiente**, v.17, p. 9-18. 2007.

LUIZ, E.P. **Avaliação dos Métodos de Fitorremediação e Bissorção na Remoção de Chumbo, Cobre e Zinco**. 2016. 99p. Tese (Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal do ABC, Santo André, 2016.

MARTINS JÚNIOR, W. P. **Despoluição das Águas**. Justiça de São Paulo, 57 (172) São Paulo, 1995.

MELO, É.E.C. de. **Fitorremediação de Arsênio: Disponibilidade do Metalóide no Solo e seu Acúmulo em Girassol e Mamona**. 2009. p.94. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2009.

NAIME, R.; FAGUNDES, R. S. 2005. **Controle da Qualidade da Água do Arroio Portão, RS**. Pesquisa em Geociências, Porto alegre, v. 32, n. 1, p. 27-35. 2005. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/igeo/pesquisas/3201/03-3201.pdf>>. Acesso em: 11 mai. 2017, 20:35:32.

OLGUÍN, E.J.; SÁNCHEZ-GALVÁN, G. Aquatic Phytoremediation: Novel Insights in Tropical and Subtropical Regions. **Pure and Applied Chemistry**, v.82, p.27-38, 2010.

OLIVEIRA, G.E.; HOLANDA, J.N.F. Análise do Impacto Ambiental Causado pela Utilização de Resíduo Sólido do Setor Siderúrgico em Cerâmica Vermelha. **Revista Cerâmica**. São Paulo, v. 50, n. 315, p. 185-189. 2004.

PRASAD, M.N.V.; FREITAS, H.M.O. Metal Hyperaccumulation in Plants - Biodiversity Prospecting for Phytoremediation Technology. **Journal of Biotechnology**. Chile, v. 6, n.3, 2003

RUBIO, V.; LINHARES, F.; SOLANO, R.; MARTIN, A.C.; IGLESIAS, J.; LEYVA, A.; PAZ-ARES, J. **A Conserved MYB Transcription Factor Involved in Phosphate Starvation Signaling Both in Vascular Plants and in Unicellular Algae**. *Genes*, p.2122-2133, 2001.

SCHNEIDER, I.A. H. **Biossorção de Metais Pesados com a Biomassa de Macrófitos Aquáticos**. 1995. 157p. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais) – Laboratório de Tecnologia Mineral, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 1995.

SMITH, E.; NAIDU, R.; ALSTON, A.M. Arsenic in the Soil Environment: A Review. **Advances in Agronomy**, v.64, p.149-195, 1998.

SOUZA D.C.; LOCASTRO J.C.; BARBOSA S.L.; IWAKURA L. 2015. Bioaccumulation of Trivalent Chromium in the Aquatic Macrophytes *Typha domingensis* L. and *Pontederia parviflora* Alexander. **Journal of Agriculture Food and Development**, v.1, p.10-14, 2015.

TAVARES, S. R. L.. **Fitorremediação em Solo e Água de Áreas Contaminadas por Metais Pesados Provenientes da Disposição de Resíduos Perigosos**. 2009. 415p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Arsenic and Arsenic Compounds**. Geneva, 2001.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Chromium in Drinking-water**. Geneva, 1996.

WUANA, R. A.; OKIEIMEN, F. E. **Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation**. 2011. International Scholarly Research Network, Nigéria, v.2011, p.20, 2011.

ZEITOUNI, C. F. **Eficiência de Espécies Vegetais como Fitoextratoras de Cádmio, Chumbo, Cobre, Níquel e Zinco de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico**. 2003. 103p. Tese (Dissertação de Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo, São Paulo, 2003.