

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

HENRIQUE CAMARÃO TREVIZAN

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE *Eleocharis mutata* (L.) Roem. &
Schult. NA FITOEXTRAÇÃO DE CROMO III**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO
2015

HENRIQUE CAMARÃO TREVIZAN

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE *Eleocharis mutata* (L.) Roem. &
Schult. NA FITOEXTRAÇÃO DE CROMO III**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental, do Departamento Acadêmico de Ambiental (DAAMB), do Campus Campo Mourão, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Débora Cristina de Souza

Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a. Sônia Barbosa de Lima

CAMPO MOURÃO

2015



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

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE *Eleocharis mutata* (L.) Roem. & Schult. NA FITOEXTRAÇÃO DE CROMO III

por

HENRIQUE CAMARÃO TREVIZAN

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 01 de dezembro de 2015 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.^a Dr.^a Débora Cristina de Souza

Prof.^a Dr.^a Sônia Barbosa de Lima

Prof. Dr. Paulo Agenor Bueno

Prof.^a Dr.^a Darlene Lopes do Amaral

"O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental".

*“Deve haver uma maneira melhor de fazer as coisas que queremos,
de forma a não estragar o céu, ou a chuva ou a terra.”*

(Paul McCartney)

RESUMO

TREVIZAN, Henrique C. **CAPACIDADE DE *Eleocharis mutata* (L.) Roem. & Schult. NA FITOEXTRAÇÃO DE CROMO III.** 26 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

Os resíduos líquidos gerados nos processos industriais possuem diferentes poluentes e contaminantes que causam impactos ambientais significativos. Por isso a legislação brasileira estabelece em sua Resolução CONAMA nº 430/2011 os padrões de lançamento de efluentes contaminados em corpos hídricos. Um dos elementos que causam danos ao ambiente e por isso tem seu lançamento controlado é o cromo (Cr), um metal bastante resistente à corrosão e abundante no globo terrestre. Um importante uso do cromo na indústria é no processamento de couro, onde é utilizado para transformar a pele em couro imputrescível. Para isso são utilizadas soluções de cromo que, após o processo de curtimento, necessitam de tratamento antes de serem descartadas. Uma alternativa econômica aos tratamentos convencionais é a utilização de seres vivos para imobilizar ou degradar poluentes. Dentro deste contexto, temos a fito-remediação que consiste no uso de plantas para a melhoria das características físico-químicas de um efluente. Este trabalho teve como objetivo analisar a absorção de cromo trivalente por *Eleocharis mutata* (L.) Roem. & Schult. Para isso foi montado um experimento com espécimes de *E. mutata* imersos em solução de cromo trivalente de 200 mg/L. O experimento, realizado em duplicata, foi dividido em intervalos de tempo de 6h, 12h, 24h, 48h, 72h e 96h. Em cada intervalo a macrófita era retirada, identificada e armazenada para posteriormente serem enviadas para análise química. Para a interpretação dos resultados foram executados testes estatísticos no programa BioEstat 5.0 para determinar o coeficiente de correlação entre o tempo e a concentração de cromo na solução, nas folhas e nas raízes da macrófita. As raízes foram as que apresentaram os maiores valores de absorção de cromo com concentração de 4.170 g/Kg após 72 horas. As folhas não apresentaram eficiência na remoção. Apesar da absorção conhecida de cromo, a eficiência final do tratamento foi de apenas 32%, mostrando que a macrófita é resistente ao cromo porém não é uma fito-extratora eficiente. Foi constatado que após as 96h de imersão na solução a macrófita apresentou sinais de senescência devido à intoxicação pelo metal.

Palavras-chave: Fito-tratamento. Efluente. Cromo. *Eleocharis mutata*.

ABSTRACT

TREVIZAN, Henrique C. *Eleocharis mutata* (L.) Roem. & Schult. **CAPACITY IN PHYTOEXTRACTION OF CHROME III.** 26 f. Completion of course work (Bachelor of Environmental Engineering) – University Technological Federal of Paraná, Campo Mourão, 2015.

Liquid waste generated in industrial processes have different pollutants and contaminants that cause significant environmental impacts. Therefore, the Brazilian legislation establishes in its CONAMA Resolution No. 430/2011 effluent discharge standards into rivers. One of the elements that damage the environment and so has its release controlled is chromium (Cr), a very corrosion-resistant metal and abundant on the globe. An important Chrome use in the industry is in leather processing, where it is used to transform the skin leather rot. For this, chromium solutions are used and, after the tanning process, requires treatment before being discarded. An economical alternative to conventional treatments is the use of living organisms to immobilize or degrade pollutants. Inside this context, we have the phytoremediation that consists in using plants to improve the physicochemical characteristics of an effluent. This study aimed to analyze the trivalent chromium absorption by *Eleocharis mutata* (L.) Roem. & Schult. To this was mounted on an experiment with *E. mutata* specimens immersed in trivalent chromium solution of 200 mg / L. The experiment was conducted in duplicate and it was divided into time slots 6h, 12h, 24h, 48h, 72h and 96h. In each interval, the macrophyte was removed, identified and stored for later sent for chemical analysis. To interpret the results statistical tests were performed in BioEstat 5.0 program to determine the correlation coefficient between time and concentration of chrome in solution in leaves and roots of macrophyte. The roots were the ones that showed the highest chromium absorption values with 4,170 grams of chromium per kg. The leaves showed no significant results for the statistical test. Despite the proven chromium absorption, the final efficiency of treatment was only 32%, showing that the macrophyte is resistant chromium but is not an efficient phyto remediation. Besides the low efficiency, it was found that after 96 hours of immersion in the solution macrophyte showed signs of senescence due to metal poisoning.

Keywords: Phytoremediation. Effluent. Chrome. *Eleocharis mutata*.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	3
2 OBJETIVOS	5
2.1 OBJETIVO GERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1 EFLUENTES INDUSTRIAIS E SUA LEGISLAÇÃO	6
3.2 CROMO.....	7
3.3 FITORREMEDIAÇÃO.....	8
3.4 <i>Eleocharis mutata</i> (L.) Roem. & Schult.....	10
4 MATERIAL E MÉTODOS	12
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
6 CONCLUSÃO	20
REFERÊNCIAS	21

1 INTRODUÇÃO

Para sustentar o modo de vida em que vivemos atualmente são utilizadas quantidades enormes de matéria prima que, após serem utilizadas em processos industriais, transformam-se não só em produtos como também em resíduos para descarte. Estes resíduos possuem características físico-químicas que podem ser prejudiciais ao meio e por isso necessitam de tratamento e destinação final adequados para que não causem impactos ambientais significativos.

Segundo Tavares (2009) os indicadores do estado de conservação do ambiente estão cada vez mais preocupantes em várias partes do mundo com níveis elevados de perda de biodiversidade, diminuição na qualidade das águas, do solo e dos gases atmosféricos. Estes indicadores de conservação são importantes sensores de alteração do ecossistema e das consequências destas alterações, mostrando que é necessário repensarmos o uso dos recursos naturais e seu descarte após o uso.

O setor industrial é apontado como um dos grandes responsáveis por contaminações em corpos hídricos devido ao grande volume de resíduo líquido gerado e sua composição química, possuindo em seu processo produtivo compostos ricos em matéria orgânica, óleos e graxas, além de metais como cromo (Cr), cobre (Cu), chumbo (Pb) e manganês (Mn), capazes de causar danos ambientais de elevado impacto (LOCASTRO, 2014).

Devido ao grande número de poluentes e substâncias tóxicas, diversos tratamentos são necessários para que estes efluentes possam ser destinados corretamente a um corpo d'água receptor. Estes tratamentos são definidos de acordo com os insumos utilizados e com a atividade desenvolvida na indústria. Atualmente os tratamentos mais utilizados envolvem processos físico-químicos de remoção com coagulantes e floculantes, porém estes podem demandar muitos gastos e tempo o que acaba diminuindo o interesse das indústrias de tratar este efluente conforme a legislação exige.

Um exemplo conhecido por ser um potencial causador de impacto ambiental é o efluente da indústria de processamento de couro (curtume) que possui, além de outros compostos, o cromo (Cr) proveniente do Hidroxissulfato de Cromo (III) (CrOH_2SO_4) que é utilizado para curtir o couro tornando-o imputrescível nas fases

finais do processo, isto exige que um tratamento seja feito, ainda na indústria, para separar os sais residuais do efluente destinado aos corpos hídricos.

Na busca de alternativas para o tratamento desses efluentes os responsáveis procuram métodos eficientes e de execução simples considerando o menor tempo e custo exigido no processo. Nesse contexto cresce o interesse pela utilização da biorremediação, técnica que utiliza organismos vivos, de ocorrência natural (nativos) ou cultivados, para degradar ou imobilizar contaminantes em águas e em solos (AUGUSTO; ANDRADE; JARDIM, 2010).

Além do baixo custo de operação, os sistemas de biorremediação possuem a vantagem de não adicionarem mais produtos químicos aos efluentes para tratá-los, como é o caso dos coagulantes e floculantes, evitando assim a distribuição de elementos químicos de forma descontrolada no ambiente.

Para verificar a eficiência de um processo de remediação utilizando espécies vegetais utilizaremos a macrófita aquática *Eleocharis mutata* (L.) Roem. & Schult. como imobilizadora de cromo III.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar a eficiência de extração de cromo trivalente por *Eleocharis mutata* (L.) Roem. & Schult.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar o cromo III nas porções de raiz e folha de *E. mutata* e na solução.
- Estimar a absorção diária de cromo por *E. mutata*.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 EFLUENTES INDUSTRIAIS E SUA LEGISLAÇÃO

Segundo a Norma Brasileira — NBR 9800/1987, efluente líquido industrial é todo despejo líquido proveniente do estabelecimento industrial, compreendendo efluentes de processo industrial, águas de refrigeração, águas pluviais contaminadas e esgoto doméstico, também são caracterizados como efluentes de processo industrial os despejos líquidos que comprovadamente apresentem poluição por produtos utilizados ou produzidos na indústria em questão.

As características físicas, químicas e biológicas deste efluente líquido industrial são variáveis com o tipo de indústria, com a matéria-prima utilizada, com a reutilização de água e outros fatores. Com isso, o efluente líquido pode ser solúvel ou com sólidos em suspensão, com ou sem coloração, orgânico ou inorgânico, com temperatura baixa ou elevada, e até mesmo tóxicos em alguns casos (PEREIRA, 2001)

Estes efluentes carregados com poluentes causam impactos ambientais significativos quando despejados no corpo receptor sem o devido tratamento pois dentre estes poluentes estão presentes metais que podem ser tóxicos para os seres vivos. Estes metais são biocumulativos e por isso os órgãos regularizadores tendem a controlar esta contaminação a níveis toleráveis pelos seres vivos (DAL BOSCO, 2004).

Neste cenário, a legislação ambiental para o lançamento de efluentes líquidos e para a qualidade das águas de corpos receptores é um instrumento essencial de controle da poluição e para a garantia da qualidade da água e do ambiente (FREITAS, 2006).

No Brasil o controle da poluição de águas é regularizado por diversas normas legais que estabelecem os critérios para lançamento de efluentes nos corpos hídricos e os padrões de qualidade da água do corpo receptor. A principal ferramenta utilizada atualmente é a Resolução CONAMA 430, de 13 de maio de 2011, do Ministério do Meio Ambiente que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução 357, de 17 de março de

2005. Para o lançamento de efluentes o valor máximo de cromo trivalente é de 1,0 mg/L, sendo responsabilidade da indústria o tratamento de seu efluente até os níveis estabelecidos na resolução.

Para os corpos hídricos de água doce de classe 2 a Resolução 357, de 17 de março de 2005, permite um valor máximo de 0,05 mg/L de cromo, este valor é o padrão estabelecido para água potável.

Os dois padrões se integram no sentido de que um efluente, além de satisfazer os padrões de lançamento, deve proporcionar condições para que o corpo receptor, se enquadre dentro dos padrões para corpos receptores (VON SPERLING, 1998).

3.2 CROMO

O cromo é um metal cinza aço, de forma cristalina cúbica sem odor e bastante resistente à corrosão. É o sétimo metal mais abundante na Terra, não é encontrado em sua forma elementar na natureza porém ocorre de forma natural no minério cromita $\text{Fe}(\text{CrO}_2)$ (SILVA; PEDROZO, 2001).

A toxicidade do cromo para os seres vivos depende do estado de oxidação em que é lançado no corpo receptor. Existem muitas referências sobre os efeitos cancerígenos do cromo hexavalente (VI), porém os íons cromo trivalente (III) não parecem ter, diretamente, implicações tóxicas aos seres humanos. Nos despejos de curtumes são lançados, em sua maioria, compostos de cromo trivalente, porém dependendo de alguns parâmetros característicos do efluente, a oxidação de Cr(III) à Cr(VI) poder ser favorecida, colocando em risco a fauna, a flora e a população que utilizam estas águas. Reações químicas que convertem o Cr(III) a Cr(VI) e vice-versa poderão ocorrer naturalmente no meio, embora a forma hexavalente, em geral, apresente-se em menor concentração (JORDÃO et al., 1998).

Na indústria, um dos principais usos do cromo é no processamento do couro onde é utilizado na fase do curtimento, onde a reação do cromo com as proteínas, transforma o colágeno da pele em couro, através do entrelaçamento das protofibrilas do colágeno, tornando-a imputrescível. Ainda é muito utilizado devido ao tempo

relativamente curto de processo e pela qualidade que confere aos couros em suas principais aplicações (PACHECO, 2005).

Segundo Sauer (2006) a concentração de cromo no efluente gerado pelos curtumes encontra-se na faixa de 10-200 mg/L. Esses efluentes devem ser tratados e a concentração de Cr (VI) reduzida devido ao risco que sua presença apresenta ao processo de nitrificação de ambientes aquáticos. Para Nunes (2008) o cromo trivalente é pelo menos cem vezes menos tóxicos que o hexavalente.

Mesmo sendo considerado um elemento essencial o cromo apresenta riscos ao ingresso corpóreo, tanto de baixas como de elevadas concentrações de metal. A faixa de concentração que preenche os requisitos biológicos e previne a toxicidade pode ser estreita. O cromo trivalente é essencial para o homem atuando no metabolismo do colesterol de ácidos graxos e da glicose. Ao mesmo tempo o cromo hexavalente tem ação carcinogênica, causando também lesões na pele, no sistema respiratório, e nos rins (SILVA, 2001).

Além de serem tolerantes às concentrações de cromo alguns seres vivos são capazes de absorvê-lo. Em amostras de fito-plâncton coletadas no Oceano Pacífico foram encontradas concentrações de até 21,4 mg/L de cromo, indicando a capacidade natural de alguns organismos de absorver o elemento sem danos significativos em seus tecidos (WORLD..., 2000).

3.3 FITORREMEDIAÇÃO

Andrade, Tavares e Mahler (2007) definem o uso de seres vivos para a remediação de ambientes degradados como biorremediação. Dentro desse conceito tem-se a fitorremediação, que consiste no uso de plantas para a melhoria das características físico-químicas de um local, uma vez que a presença vegetal pode incluir várias interações bióticas e abióticas que podem resultar na redução dos teores de poluentes ou de sua periculosidade. Segundo estes autores, algumas das plantas utilizadas nestes processos possuem a capacidade de acumular em seus tecidos vegetais os contaminantes extraídos do meio sem degradá-los. Este processo específico é denominado de fitoextração onde a planta, extrai e imobiliza o

contaminante em seus tecidos vegetais, podendo então ser colhida deixando o local livre de substâncias tóxicas específicas.

Segundo Rubio et al. (2004) a remoção de metais pesados de efluentes ocorre, principalmente, através da troca de íons. Nas plantas aquáticas, os radicais orgânicos responsáveis, pela troca, são os grupos carboxila (COO^-) presentes nos tecidos vegetais. Em condições naturais, o ambiente despoluído apresenta uma maior concentração de cátions (íons positivos) como o hidrogênio (H^+), sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}) e ferro (Fe^{+2}). No entanto quando outros íons positivos, como o cobre (Cu^{+2}), zinco (Zn^{+2}), níquel (Ni^{+2}), cádmio (Cd^{+2}), chumbo (Pb^{+2}) e cromo (Cr^{+3}), são adicionados ao sistema, há uma tendência química de substituição de metais alcalinos e alcalinos terrosos por metais de transição. Essa troca faz com que as plantas 'aprisionem' esses íons tóxicos, ajudando a despoluir o ambiente.

De acordo com Barros e Sousa-Aguiar (2001) a absorção de microelementos pelas plantas pode ser influenciada por diversos fatores como a espécie utilizada e seu estágio de crescimento. Estes fatores também podem estar relacionados ao meio onde se desenvolve (pH, material de origem, aeração, potencial redox) e relativos ao elemento (concentração e especiação do metal na solução, formação de complexos) No caso do cromo o fator pH é capaz de alterar sua biodisponibilidade, sendo preferíveis níveis abaixo de 5,0. Nas plantas aquáticas a absorção de Cr(III) ocorre por osmose (forma passiva) através das raízes.

Algumas plantas utilizadas na fitoextração de metais conseguem acumular mais metais em seus tecidos que outras, estas são chamadas de hiperacumuladoras. Com concentrações máximas de poluentes até cem vezes maiores que as plantas comuns essas plantas conseguem suportar concentrações de até 1.000 mgL^{-1} de metais como Co, Cr, Cu e Pb (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

Além da hiperacumulação, alguns critérios são usados na seleção da planta remediadora visando maior eficiência no processo. Em geral, as características favoráveis para a seleção são: metabolismo rápido com elevada produção de biomassa, competitividade, vigor e resistência a fatores externos, tolerância a mais de um poluente simultaneamente e sustentação às associações bióticas (LAMEGO; VIDAL, 2007).

A fitorremediação ainda é uma prática pouco utilizada no Brasil, apesar da tendência que se espalha nos países desenvolvidos. Segundo Tavares (2009) a utilização de plantas para a remediação de poluentes apresenta algumas vantagens como: baixo custo de operação, aplicação *in situ*, remediação simultânea de poluentes, aplicação em grandes áreas e técnica esteticamente bem aceita pela sociedade.

McCutcheon e Schnoor (2003) destacam que o metabolismo vegetal utilizando energia da luz solar e dióxido de carbono para produzir matéria orgânica durante a remediação é uma ferramenta nova, porém, vital para o tratamento de resíduos de forma alternativa e ecológica.

Porém algumas desvantagens justificam a falta de incentivo a pesquisa e desenvolvimento de programas que utilizem esse método. Para Tavares (2009) as principais desvantagens são: resultados lentos que dependem do crescimento vegetal, influência de fatores externos como o clima, a necessidade de remoção da biomassa da planta, a recuperação do metal extraído e a disposição adequada da biomassa contaminada.

3.4 *Eleocharis mutata* (L.) Roem. & Schult.

Pertencente à família Cyperaceae, *Eleocharis* é um gênero caracteristicamente sem lâminas foliares, com as atividades fotossintéticas transferidas para o colmo (SVENSON, 1929). São encontradas em áreas como brejos, cachoeiras, lagoas, lagos, margens de rios, pântanos, restingas e solos úmidos de locais abertos (FARIA, 1998). Abundância em água e luz são fundamentais para a existência e bom funcionamento das espécies de *Eleocharis* (GIL; BOVE, 2004).

Ainda Segundo Svenson (1929), as plantas da série *Mutatae* são geralmente robustas, com caules intumescidos, tão grossos quanto as espiguetas. De acordo com Faria (1998) são de ocorrência natural em regiões quentes, temperadas ou subtropicais, podendo estender-se até os trópicos ou as regiões mais frias.

Para Gil e Bove (2004) as ciperáceas se destacam em ecossistemas aquáticos com presença intensiva em muitas regiões e pelo grande número de espécies, inclusive caracterizando estes ecossistemas.

Faria (1998) comenta ainda que, espécimes de *Eleocharis* ocorrem em diferentes ambientes aquáticos sendo encontradas tanto em ambientes não poluídos como também em locais com alta concentração de nutrientes oriundos de efluentes domésticos ou industriais. Gil, Bove (2004) destacam as macrófitas por serem encontradas em grandes comunidades de vegetais hidrófilos e por apresentarem uma das maiores taxas de produtividade primária entre os ecossistemas aquáticos. Por isso este gênero começa a ser estudado como possível agente biorremediador de efluentes industriais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do experimento foi utilizada a concentração de 200 mg de cromo por litro de solução, preparada com Cloreto Crômico Hexahidratado ($\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), de peso molecular 266,45 g/mol, em água destilada. Esta concentração foi escolhida após análises do experimento de Souza (2013) que, após o ensaio de sobrevivência com *E. mutata* e cromo determinou que a concentração de 70 mg/L não prejudicou o crescimento da planta no período de 7 dias. Então para o presente trabalho foi utilizada uma concentração superior à utilizada no ensaio de sobrevivência na tentativa de atingir os níveis máximos de tolerância da planta.

Foram utilizados espécimes da macrófita aquática *Eleocharis mutata* (L.) Roem. & Schult. coletados no Rio dos Papagaios no município de Campo Mourão – Paraná. Os exemplares coletados foram lavados para remoção do excesso de sedimento e matéria orgânica.

Em seguida os espécimes foram pesados e arranjados em duplicata. O tempo de imersão de cada duplicata foi equilibrado com a biomassa das macrófitas de modo que as com maior biomassa pudessem ficar mais tempo na solução (Tabela 1). Os que apresentaram menor biomassa foram designados ao menor tempo de imersão (6h), este critério foi utilizado até os espécimes de maior biomassa ficarem o tempo máximo do experimento (96h).

Tabela 1 – Medidas de biomassa de *E. mutata*, distribuídas nos intervalos de tempo de exposição a solução de 200 mg/L de cromo III.

Tempo de experimento (horas)	Peso do exemplar (gramas)
6	13,05
6	14,00
12	19,00
12	19,55
24	34,95
24	39,95
48	45,10
48	49,15
72	49,50
72	53,80
96	73,65
96	78,80

Fonte: Autoria Própria (2015)

Para o suporte das macrófitas foram utilizados recipientes plásticos com capacidade de 2L, forrados com sacola plástica transparente e numerados, onde foram colocados aproximadamente 500 mL da solução de cromo III e a macrófita aquática (Figura 1).



Figura 1 - Montagem do experimento de absorção de cromo III com *E. mutata* em casa de vegetação.

Os recipientes com a solução e o espécime foram montados protegidos da chuva porém em local bastante arejado e com incidência indireta de luz solar. As amostras vegetais retiradas foram etiquetadas e armazenadas em sacolas plásticas transparentes (Figura 2), em refrigerador com temperatura de aproximadamente 5°C. A solução foi armazenada em garrafas plásticas transparentes e armazenadas em refrigerador.

Durante o experimento foram analisadas características da solução, como pH e temperatura, que afetam diretamente o metabolismo da macrófita e a biodisponibilidade do cromo na solução. Para a análise do pH foi utilizado um pHmetro e para a determinação da temperatura utilizou-se um termômetro de mercúrio. As medições ocorreram no momento de retirada de cada macrófita da solução de cromo.



Figura 2 - *E. mutata* após imersão em suas respectivas soluções de cromo III 200 mg/L, separadas e identificadas.

As amostras e as soluções foram enviadas ao Laboratório de Agroquímica e Meio Ambiente da Universidade Estadual de Maringá, onde foram feitas as análises de concentração de cromo III na solução, nas raízes e nas folhas da planta por Espectrometria de Absorção Atômica, modalidade chama, de acordo com a metodologia de Keith, L. H. (1996).

Para a interpretação dos resultados foram realizados testes estatísticos de Regressão Linear e Regressão Múltipla no programa BioEstat 5.0 determinando assim o Coeficiente de Correlação entre o tempo e a concentração de metal na solução, nas folhas e nas raízes de cada macrófita.

O Fator de Bioconcentração (BCF) correlaciona a concentração de metal encontrada nos tecidos das plantas com o teor do metal restante na solução. A correlação do sistema radicular e da parte aérea pode ser calculado pela razão entre a Concentração do metal no material colhido e a Concentração do metal na solução. A eficiência de remoção (PRE) foi determinada através da razão entre a (concentração inicial – concentração final) / concentração inicial e então expressa em porcentagem (ZAYED et al., 1998).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura das soluções variou entre 19 e 24 ° C. Esta variação pode ser considerada pequena uma vez que as macrófitas aquáticas possuem uma ampla faixa de tolerância à temperatura, podendo ocorrer em regiões de climas tropical e temperado (THOMAZ, 2003).

Eleocharis mutata se desenvolve melhor em temperaturas entre 18 °C e 28 °C (ZEMLIN et al., 2000). Como as temperaturas do experimento não atingiram valores abaixo dos 19°C, podemos considerar que, as plantas estavam com os níveis metabólicos dentro do normal, em relação à temperatura. Isso é importante para a determinação da cinética de absorção da planta que pode ser afetada por variações bruscas no metabolismo da planta.

O pH variou pouco durante o experimento com valores sempre abaixo de 4 (Tabela 2). Valores ácidos de pH são limitantes ao desenvolvimento da planta, pois afetam a capacidade metabólica do vegetal.

Tabela 2 – Valores de pH da solução de 200 mg/L de cromo III em cada intervalo de remoção de *E. mutata* em seus devidos intervalos de tempo.

Tempo de experimento (horas)	pH
6	3,50
6	3,52
12	3,45
12	3,43
24	3,46
24	3,40
48	3,38
48	3,42
72	3,36
72	3,30
96	3,20
96	3,22

Fonte: Autoria própria (2015).

Por outro lado a elevação do pH intensifica a hidrólise do metal, diminuindo a sua solubilidade pela formação de macromoléculas, resultantes da união dos íons Cr(III) por meio de grupos de hidroxilas (BARROS E SOUSA-AGUIAR, 2001).

O pH também é responsável por alterações no metabolismo da planta, cada espécie possui uma faixa ótima de potencial hidrogeniônico.

No entanto sabe-se que a faixa de pH 6,0-6,5 é a ideal para o crescimento das plantas, pois nesta faixa a disponibilidade dos micronutrientes não é afetada, e a dos macro nutrientes, é máxima (FAQUIN, 2005).

Nas primeiras 6 horas de imersão, as macrófitas apresentaram absorção considerável de cromo. Esta absorção manteve-se crescente durante todo o experimento (Tabela 3).

Tabela 3 – Média e desvio padrão da concentração de cromo III nos tecidos vegetais e na solução a cada intervalo de observação.

Tempo de Imersão	Solução (mg/L)	Folhas (g/Kg)	Raízes(g/Kg)
0h	200.0	0.586	0.140
6h	171.5 ± 5.15	1.496 ± 0.53	2.622 ± 0.48
12h	173.9 ± 2.62	1.175 ± 0.01	3.096 ± 0.59
24h	162.1 ± 0.65	0.855 ± 0.25	3.077 ± 0.13
48h	159.2 ± 2.52	1.320 ± 0.20	3.556 ± 0.20
72h	145.4 ± 3.64	1.061 ± 0.06	4.170 ± 0.28
96h	134.8 ± 11.46	0.780 ± 0.34	3.861 ± 0.68

Fonte: Autoria própria (2015)

Porém no último intervalo (96h) as plantas apresentavam danos em suas folhas como manchas amareladas e folhas secas, estes sinais indicam deficiência na absorção de nutrientes essenciais.

Os maiores níveis de cromo III encontrados foram nas raízes das macrófitas com concentração de 4.170 g/Kg após 72 horas. O cromo é imobilizado principalmente nas raízes das plantas devido a sua afinidade por cargas negativas (MERLINO, 2010).

Em estudos realizados por Locastro (2013) utilizando *Pontederia parviflora* Alexander os valores de eficiência de remoção de cromo III chegaram a 47%, valor alto quando comparado com a eficiência de *E. mutata* (Tabela 4).

O cálculo do Fator de Bio-Concentração (BCF) resultou em valores muito baixos e o percentual de remoção (PRE) mostrou que as plantas não foram capazes de absorver mais que 32% de cromo III. Esse mesmo comportamento foi observado por Schmitt (2011) estudando *Salix rubens*. Avaliando os dados de BCF e PRE calculados para *E. mutata* podemos afirmar que a espécie apresentou, neste

experimento, resistência ao cromo pois a imobilização do metal impede as raízes de absorverem nutrientes e água e leva a planta a morte. Por isso a planta não pode ser considerada uma fitoextratora eficiente.

Tabela 4 – Fator de Bio-Concentração (BCF) de cromo total nas folhas e raízes de *E.mutata* antes e depois do experimento de 96 horas.

Fator de Bio-Concentração de cromo		Raiz (g/Kg)	Folha(g/Kg)	Solução (mg/L)
<i>E. mutata</i>	Antes	0.140	0.586	200
	Depois	3.721	0.780	134.8
	BCF	0.057	0.002	-
	PRE			32%

Fonte: Autoria própria (2015)

O maior coeficiente de correlação foi encontrado na regressão linear da solução, com valor de 0.9137 (Figura 3 a), confirmando que o tempo possui correlação com a concentração de cromo na solução. O coeficiente da raiz foi de 0,7258 (Figura 3 b), e também demonstrou correlação entre o tempo e a concentração de cromo nas raízes, confirmando a absorção de cromo pela planta. Esta correlação é reforçada pelo gráfico com a regressão crescente, que indica aumento na concentração de cromo conforme o aumento do tempo.

Apesar dos valores de concentração de cromo nas folhas das macrófitas terem aumentado durante o experimento, o coeficiente de correlação das folhas foi de 0.1409 (Figura 3 c). Este valor é muito baixo para que se possa confirmar estatisticamente uma correlação entre o tempo e a concentração de cromo nas folhas das macrófitas.

Plantas com capacidade de acumular grandes concentrações de metais em seus tecidos são chamadas de hiperacumuladoras. Estas podem acumular nos tecidos concentrações de cromo (Cr), cobalto (Co), cobre (Cu), chumbo (Pb) ou níquel (Ni) de até 0,1% de massa seca, (BAKER e BROOKS, 1989).

Em estudos realizados com a *E. mutata*, Souza (2013) classifica a macrófita como hiperacumuladora. Porém no presente estudo os níveis de cromo III encontrados nos tecidos vegetais não foram suficientes para comprovar a hiperacumulação.

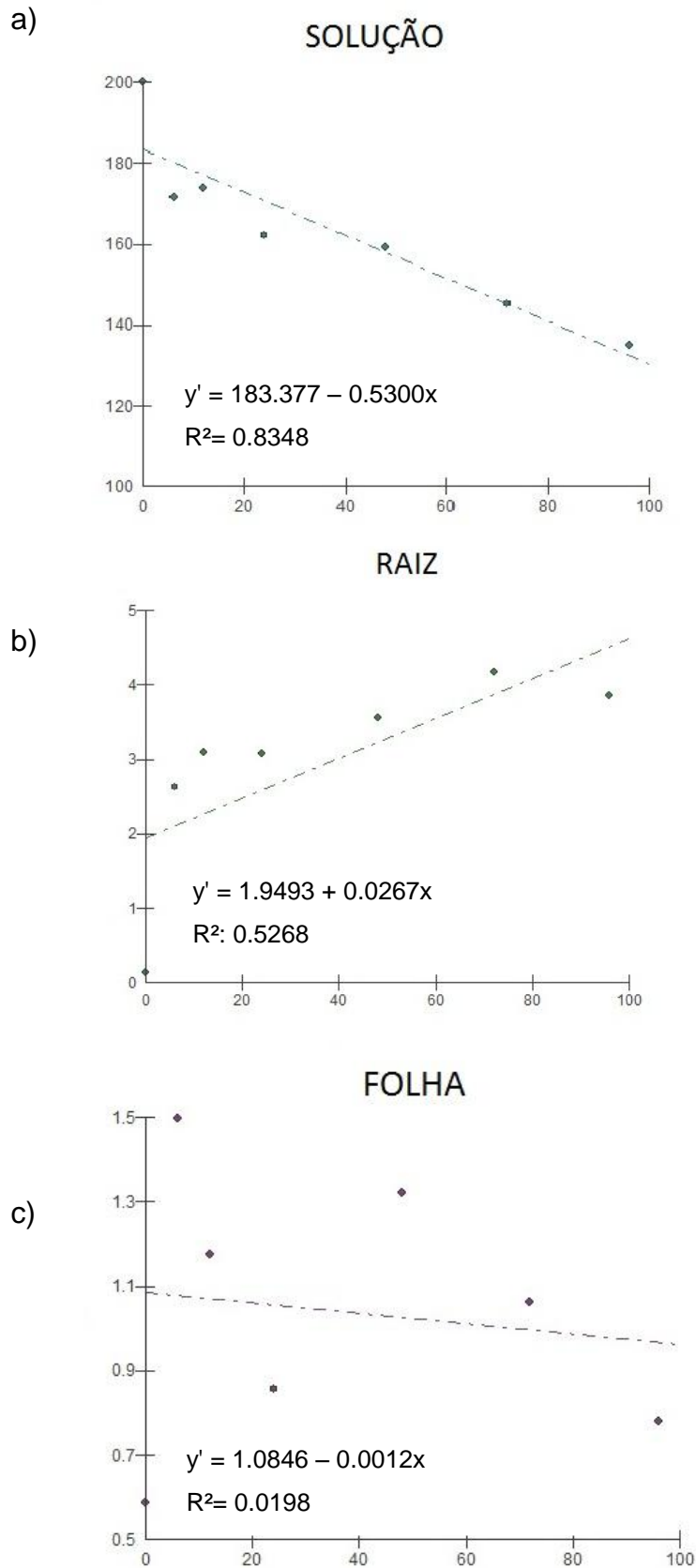


Figura 3 – Gráficos dos Testes de Regressão Linear Simples da concentração de cromo III com os Coeficientes de determinação (R^2) e as equações: a) Concentração em mg/L na solução. b) Concentração em g/Kg na raiz. c) Concentração em g/Kg na folha.

Estes dados confirmam o que foi observado pelo BCF e o PRE, que mostram ocorrer absorção de cromo, mas embora tenha absorvido, não é suficiente para eliminar todo o metal da solução. A concentração de cromo utilizada na solução está acima do tolerável pela planta, o que causou danos aos tecidos vegetais, diminuindo o metabolismo.

Como *E. mutata* possui sistema radicular maior que o foliar, pois a relação de biomassa é de mais de 50% na raiz do que no caule, o aumento no número de indivíduos na solução poderia aumentar a capacidade de absorção dos metais na solução.

Para verificar a existência da relação entre biomassa e o acúmulo de cromo foi realizado o teste de Regressão Múltipla. O teste resultou em um coeficiente de correlação múltipla de 0.5290 e $p= 0.0601$. Este valor não é significativo para afirmar correlação entre biomassa e concentração de cromo. A única variável que obteve correlação, com a absorção do cromo, foi o tempo de imersão.

Ao fim das 96h a concentração de cromo na solução subiu indicando a morte dos indivíduos e a liberação de parte do cromo absorvido por seus tecidos vegetais. Esta inflexão também é percebida na concentração de cromo nas raízes e nas folhas que, após 96h, decresce indicando também que os indivíduos não possuíam capacidade de absorver mais cromo da solução (Tabela 2).

De acordo com a estimativa feita, através dos dados de acúmulo de metal, se a planta tivesse condições de absorver mais cromo, e as condições de temperatura e pH não se alterassem, a macrófita necessitaria de aproximadamente 13 dias para absorver todos os 200 mg/L de cromo III da solução preparada.

6 CONCLUSÃO

Eleocharis mutata apresentou absorção significativa de cromo, sendo as maiores taxas de absorção nas raízes. A planta mostrou uma absorção crescente do começo ao fim do experimento mostrando concentração de 4.170 g/Kg após 72 horas. Apesar dos valores encontrados de cromo, os testes estatísticos realizados não expressaram valores significativos para as folhas da macrófita.

Mesmo com altas taxas de cromo nas raízes da macrófita, a eficiência do tratamento com foi de apenas 32%, valor considerado baixo para tratamento de efluentes industriais. Cabe ressaltar que a biomassa utilizada, principalmente nos primeiros intervalos, foi pequena em relação a concentração de cromo III na solução.

Para a solução pode-se observar o decréscimo da concentração de cromo total ao mesmo passo em que o tempo de imersão das plantas aumenta. Isso mostra que a planta alterou o ambiente em que se encontrava atingindo níveis consideráveis de acúmulo de metal em seus tecidos.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Julio Cesar. M. e; TAVARES, Sílvio Roberto de L.; MAHLER, Cláudio Fernando. **Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9800**: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987. Disponível em <<http://pt.scribd.com/doc/51613605/NBR-9800-NB-1032-Criterios-para-lancamento-de-efluentes#scribd>>. Acesso em: 04 nov. 2015.

AUGUSTO, Fabio; ANDRADE, Juliano A.; JARDIM, Isabel Cristina S. F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Eclét. Quím.**, São Paulo, v. 35, n. 3, set. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-46702010000300002&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 27 mar. 2015

BAKER, Alan J. M.; BROOKS, Robert R. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements: a review of their distribution, ecology and phytochemistry. **Biorecovery**, Washington, n. 1, p.81-126, 1989.

BARROS, Maria A. S.; AGUIAR, Eduardo. F. S.; **O elemento cromo e suas características**, CYTED, 2001. Disponível em: <<http://www.icp.csic.es/cyted/Monografias/MonografiasTeneria/capitulos.pdf>>. Acesso em 02 nov. 2015.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 10 out 2013. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial da União**, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 08 out 2013. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/res43011.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2015.

DAL BOSCO, Sandra M.; JIMENEZ, Ricardo S.; CARVALHO, Wagner A. Aplicação da zeólita natural esolecita na remoção de metais pesados de efluentes industriais: competição entre os cátions e processo de dessorção. **Eclét. Quím.** São Paulo, v.29, n.1, p.47-56, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-46702004000100006&lng=en&nrm=iso>. Acessado em 7 nov. 2015.

FAQUIN, Valdemar. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA / FAEPE. Curso de Pós-Graduação "Lato Sensu" (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente. 2005.

FARIA, Aparecida Donisete de. **O gênero Eleocharis R. Br. (Cyperaceae) no estado de São Paulo.** 1998. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Biologia. Campinas, 1998.

FREITAS, Tânia C. M. **O cromo na indústria de curtumes de Mato Grosso do Sul, Brasil: Aspectos ecológicos.** 118f. Tese Doutorado do Programa Multiinstitucional de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, 2006.

GIL, André dos Santos B.; BOVE, Claudia Petean. O gênero eleocharis r. Br. (cyperaceae) nos ecossistemas aquáticos temporários da planície costeira do estado do Rio de Janeiro. **Arquivos do Museu Nacional**, Rio de Janeiro, v.62, n.2, p.131-150, abr./jun.2004.

JORDÃO, Cláudio P. et al. Contaminação por crômio de águas de rios proveniente de curtumes em Minas Gerais. **Química Nova**. Viçosa, v.22, n.1, p. 47-52, abr. 1998.

LAMEGO, Fabiane. P.; VIDAL, Ribas. Antônio. Fitorremediação: Plantas como agentes de despoluição? **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v.17, n. 1, jan. 2007. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.5380/pes.v17i0.10662> >. Acesso 30 out. 2014.

LOCASTRO, João K. **Incorporação de tecidos vegetais contaminados por cromo em blocos cerâmicos.** 2014. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

MCCUTCHEON, Steven C.; SCHNOOR, Jerald L. **Phytoremediation: Transformation and Control of Contaminants.** New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2003.

MERLINO, Luciana C. S. **Bário, cádmio, cromo e chumbo em plantas de milho e em latos solo que recebeu lodo de esgoto por onze anos consecutivos.** Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho” Faculdade De Ciências Agrárias e Veterinárias Campus de Jaboticabal, 2010.

NUNES, José Alves. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais.** 5ª ed. Aracaju: Info Graphics Gráfica & Editora Ltda. 2008.

PACHECO, José Wagner F. **Curtumes.** São Paulo: CETESB, 2005. 76 p.

PEREIRA, José A. R. Geração De Resíduos Industriais e Controle Ambiental. **Saber**. v.3, p.121 - 139, 2001. Disponível em: <http://www.researchgate.net/profile/Jose_Almir_Pereira/publication/228719448_Gerao_de_resduos_industriais_e_controle_ambiental/links/53d7e6430cf2e38c632dec0b.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2015.

SANTOS, Angela Maria M. et al. Panorama do setor de couro no Brasil. **BNDES Setorial**. Rio de Janeiro, n.16, p.57-84, set. 2002.

SAUER, Ticiane. **Tratamento de efluentes de curtume através do processo combinado de degradação fotocatalítica seguida por adsorção em carvão ativado.** 2006. 249 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SILVA, Carlos Sérgio; PEDROZO, Maria de Fátima. Ecotoxicologia do cromo e seus compostos. **Série Cadernos de Referencia Ambiental**, Salvador: Monte Serrat, 2001. 100 p. 21cm (Cadernos de referência ambiental, v. 5).

SOUZA, Débora C. et al. **Journal of Agriculture Food and Development**, v1, p.10-14. Revotech Press Bioaccumulation of Trivalent Chromium in the Aquatic Macrophytes *Typha domingensis* L. and *Pontederia parviflora* Alexander. 2015.

SVENSON, Henry K. Monographic studies in the genus *Eleocharis*. **Harvard University Herbaria** Massachusetts, v. 31, n. 86, nov. 1929. Disponível em <<http://www.jstor.org/stable/41764069>>. Acesso em 30 out. 2014

TAVARES, Silvio Roberto de L. **Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

THOMAZ, Sidinei M.; BINI, Luis M. **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas** - Maringá: EDUEM, 2003. Página 67.

TREVELIN, Leonardo C.; OLIVEIRA, Fabiane; SOUZA, Maíra B.S.; POSTALI, Thaís C. 2007. **Diversidade local de macrófitas aquáticas em águas brancas e pretas na Amazônia Central**. In: Inpa (org). Ecologia da Floresta Amazônica - Curso de Campo. PBDFF - INPA, Manaus, p.1-6. Disponível em: <http://pdbff.inpa.gov.br/cursos/efa/livro/2007/pdf/varzea/va_po3g2.pdf>. Acesso em 05 nov. 2015.

VON SPERLING, Marcos. Análise Dos Padrões Brasileiros De Qualidade De Corpos D'água E De Lançamento De Efluentes Líquidos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Volume 3, n.1, p. 111-132, Jan/Mar 1998.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Chromium Air Quality**. 2000. Disponível em: <<http://www.who.int/iris/handle/10665/107335>>. Acesso em: 03 jun. 2015.

ZEMLIN, Rüdiger; KÜHL, Harald; KOHL, Johannes-Günter. Effects of seasonal temperature on shoot growth dynamics and shoot morphology of common reed (*Phragmites australis*). **Wetlands Ecology and Management** 8: p. 447-457, 2000. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1023/A:1026566103296>>. Acesso em: 10 nov. 2015.