

ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL PROF. ARMANDO JOSÉ FARINAZZO
CENTRO PAULA SOUZA

Laura Cristina Rodrigues
Nilza de Almeida Nunes
Otávio Silva
Pedro Francisco de Souza Marques
Vinícius Leandro Bruno

ESTUDO DO POTENCIAL FITORREMEIADOR DO AGUAPÉ
(*EICHHORNIA CRASSIPES*) NA REMOÇÃO DE CROMO
HEXAVALENTE DA ÁGUA VISANDO APLICAÇÃO PARA
DESCONTAMINAÇÃO DE AFLUENTES

Fernandópolis
2023

Laura Cristina Rodrigues
Nilza de Almeida Nunes
Otávio Silva
Pedro Francisco de Souza Marques
Vinícius Leandro Bruno

ESTUDO DO POTENCIAL FITORREMEIADOR DO AGUAPÉ
(*EICHHORNIA CRASSIPES*) NA REMOÇÃO DE CROMO
HEXAVALENTE DA ÁGUA VISANDO APLICAÇÃO PARA
DESCONTAMINAÇÃO DE AFLUENTES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção da Habilitação Profissional Técnica de Nível Médio de Técnico em **Química Integrado ao Ensino Médio**, no Eixo Tecnológico de **Produção Industrial**, à Escola Técnica Estadual Professor Armando José Farinazzo, sob orientação da Professora **Flávia Meira Cotrim**.

Fernandópolis
2023

Laura Cristina Rodrigues
Nilza de Almeida Nunes
Otávio Silva
Pedro Francisco de Souza Marques
Vinícius Leandro Bruno

ESTUDO DO POTENCIAL FITORREMEIADOR DO AGUAPÉ
(*EICHHORNIA CRASSIPES*) NA REMOÇÃO DE CROMO
HEXAVALENTE DA ÁGUA VISANDO APLICAÇÃO PARA
DESCONTAMINAÇÃO DE AFLUENTES

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial para
obtenção da Habilitação Profissional
Técnica de Nível Médio de Técnico em
Química Integrado ao Ensino Médio, no
Eixo Tecnológico de **Produção Industrial**,
à Escola Técnica Estadual Professor
Armando José Farinazzo, sob orientação da
Professora **Flávia Meira Cotrim**.

Examinadores:

Midian Nikel Alves de Souza

Adriana Cristina Tomya Borges Torelli

Flávia Meira Cotrim

Fernandópolis
2023

DEDICATÓRIA

Dedicamos o presente trabalho, a Deus e a todas as pessoas que lutam por um planeta melhor, cuidando e protegendo a fauna e flora.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus, ao corpo docente do curso de Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio, especialmente, a professora orientadora Flávia Meira Cotrim, pelos ensinamentos prestados, a professora Tais Marino e ao professor Joel Gouveia pelas contribuições ao trabalho, aos nossos familiares e amigos, por todo o apoio, sendo todos fundamentais para a realização de nosso estudo e para a nossa formação.

EPÍGRAFE

“A persistência é o caminho do êxito”
— Charles Chaplin.

ESTUDO DO POTENCIAL FITORREMEIADOR DO AGUAPÉ (*EICHHORNIA CRASSIPES*) NA REMOÇÃO DE CROMO HEXAVALENTE DA ÁGUA VISANDO APLICAÇÃO PARA DESCONTAMINAÇÃO DE AFLUENTES

Laura Cristina Rodrigues
Nilza de Almeida Nunes
Otávio Silva
Pedro Francisco de Souza Marques
Vinícius Leandro Bruno

RESUMO: Os metais pesados são compostos que possuem densidade, massa específica e atômica elevadas, sendo considerados tóxicos aos seres humanos. O cromo, presente na natureza em suas formas Cr^{2+} , Cr^{3+} e Cr^{6+} , é identificado como um metal pesado, sendo o Cr^{6+} o mais prejudicial à saúde e ao meio ambiente. Por essa razão, o presente trabalho tem como objetivo analisar a eficiência da planta aguapé, por intermédio do método de fitorremediação, na remoção de cromo hexavalente da água. Esse método oferece uma solução econômica e sustentável para o tratamento de água em comparação com outros processos convencionalmente utilizados, devido à capacidade das raízes da planta em filtrar substâncias no meio aquoso. Dessa forma, foram coletadas macrófitas aquáticas (aguapé) de uma represa localizada no município de Fernandópolis e transportadas para o Laboratório de Química da ETEC de Fernandópolis. As soluções contendo cromo hexavalente foram preparadas em diferentes concentrações. O experimento foi realizado em 4 testes, cujo tempo de contato avaliado em cada teste foi de 1, 2, 4 e 7 dias, consecutivamente. Para quantificar a remoção do cromo das soluções contaminadas foi empregada a técnica de Espectrofotometria UV-Vis. Como resultado, os experimentos de 1, 2, 4 e 7 dias ocasionaram na remoção de, aproximadamente, 3,91%, 55%, 82,64% e 56,86% de cromo, respectivamente. Conclui-se que a macrófita aguapé apresentou potencial satisfatório e relevante na remoção de cromo da água.

Palavras-chave: Cromo hexavalente. Fitorremediação. Aguapé.

ABSTRACT: Heavy metals are compounds that have high density, specific and atomic mass and are considered toxic to humans. Chromium, present in nature in its Cr^{2+} , Cr^{3+} and Cr^{6+} forms, is identified as a heavy metal, with Cr^{6+} being the most harmful to health and the environment. For this reason, this study aims to analyze the efficiency of the water hyacinth plant, through the phytoremediation method, in removing hexavalent chromium from water. This method offers an economical and sustainable solution for water treatment compared to other conventionally used processes, due to the ability of the plant's roots to filter substances in the aqueous medium. Aquatic macrophytes (water hyacinth) were collected from a reservoir located in the municipality of Fernandópolis and transported to the Chemistry Laboratory at ETEC

Fernandópolis. Solutions containing hexavalent chromium were prepared in different concentrations. The experiment was carried out in five tests, where the contact time evaluated in each test was 1, 2, 4 and 7 days, consecutively, with the fifth test being carried out with the dry solution for a contact time of one hour. UV-Vis spectrophotometry was used to quantify the removal of chromium from the contaminated solutions. As a result, the experiments of 1, 2, 4 and 7 days resulted in the removal of approximately 3,91%, 52,62%, 82,64% and 56,86% of chromium, respectively. It can be concluded that the water hyacinth macrophyte has satisfactory and relevant potential for removing chromium from water.

Keywords: Hexavalent chromium. Phytoremediation. Aguapé.

RESUMEN: Los metales pesados son compuestos que poseen densidad, masa específica y atómica elevadas, siendo considerados tóxicos a los seres humanos. El cromo, presente en la naturaleza en sus formas Cr^{2+} , Cr^{3+} y Cr^{6+} , es identificado como un metal pesado, siendo el Cr^{6+} el más perjudicial para la salud y el medio ambiente. Por esa razón, el presente trabajo tiene como objetivo analizar la eficiencia de la planta aguapé, por medio del método de fitorremediación, en la eliminación de cromo hexavalente del agua. Este método ofrece una solución económica y sostenible para el tratamiento del agua en comparación con otros procesos convencionalmente utilizados, debido a la capacidad de las raíces de la planta para filtrar sustancias en el medio acuoso. De esta forma, fueron recolectadas macrófitas acuáticas (aguapé) de una represa ubicada en el municipio de Fernandópolis y transportadas al Laboratorio de Química de la ETEC de Fernandópolis. Las soluciones que contienen cromo hexavalente se han preparado en diferentes concentraciones. El experimento fue realizado en 4 pruebas, cuyo tiempo de contacto evaluado en cada prueba fue de 1, 2, 4 y 7 días, consecutivamente. Para cuantificar la eliminación del cromo de las soluciones contaminadas se empleó la técnica de Espectrofotometría UV-Vis. Como resultado, los experimentos de 1, 2, 4 y 7 días ocasionaron la eliminación de, aproximadamente, 3,91%, 52,62%, 82,64% y 56,86% de cromo, respectivamente. Se concluye que la macrófita aguapé presentó potencial satisfactorio y relevante en la remoción de cromo del agua.

Palabras-clave: Cromo hexavalente. Fitorremediación. Aguapé.

1. INTRODUÇÃO

Os metais pesados correspondem a classe de elementos químicos que possuem densidade, massa específica e atômica elevadas, além de apresentarem toxicidade aos seres vivos. À vista disso, são exemplos de metais com tais características o cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), mercúrio (Hg) e o cromo (Cr),

sendo que os efeitos maléficos desses e de outros metais pesados a saúde humana e ao ecossistema são bioacumulativos e podem variar em função da espécie química e do período de exposição ao metal (LIMA; MERÇON, 2011).

Segundo Lozi (2019), o contato com os metais pesados acarreta consequências danosas e degenerativas a órgãos e tecidos, com potencial cancerígeno. De igual modo, causa a contaminação do solo, da água e interferências na fauna e flora gerando diversos impactos ambientais. Ademais, os principais contribuintes para a contaminação advêm das atividades humanas, como a mineração e descarte incorreto de resíduos industriais, embora estes metais estejam presentes também na natureza. Assim, conforme o inciso II do art. 16 da Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) 430°, de 13 de maio de 2011, o parâmetro inorgânico para o cromo hexavalente em efluentes não deve exceder de 0,1mg/L Cr⁺⁶, dessa maneira, uma vez extrapolado esse padrão, interpreta-se como indicativo para contaminação da água por esse elemento, sendo inapropriado para o descarte em corpos hídricos.

Nessa perspectiva, Silva e Pedrozo¹ apud Lozi (2019, p.7), aponta que o cromo é elencado com o sétimo metal com maior abundância na crosta terrestre, o qual é categorizado essencialmente em Cr²⁺, Cr³⁺ e Cr⁶⁺, sendo o cromo VI aquele com maior índice de toxicidade. Outrossim, o metal é muito utilizado nas indústrias de metalurgia, produção de tintas e curtimento de couro, na qual são responsáveis por boa parte da problemática de contaminação, incluindo predominantemente a poluição da água.

Logo, o cromo trivalente, ao entrar em contato com a grande quantidade de oxigênio disposto no ambiente, é oxidado em hexavalente, substância nociva e altamente solúvel em água (Ghani² apud JAISHANKAR et al., 2014, tradução nossa). Dessa forma, a crescente preocupação com a poluição ambiental justifica a necessidade do estudo de novas técnicas para o tratamento de resíduos, que apresentem viabilidade econômica e emprego de metodologias sustentáveis.

¹SILVA, C.S.; PEDROZO, M.F.M. Ecotoxicologia do cromo e seus compostos. Série de cadernos de referência ambiental. Salvador, 5:1-55, 2001.

²GHANI, A. (2011). Effect of chromium toxicity on growth, chlorophyll and some mineral nutrients of Brassica juncea L. Egyptian Acad J Biol Sci 2(1): 9–15.

De acordo com Valente (2012), as técnicas para descontaminação da água dispõem de custo elevado, isso devido à utilização de produtos químicos, visto que o valor dos reagentes é excessivamente alto. Além disso, destaca Toledo et al., (2013, p. 419) que são empregadas metodologias como “filtração por membranas, precipitação química, osmose reversa, evaporação, troca iônica, extração por solventes, adsorção” e a eletrocoagulação. Deste modo, tais métodos tornam-se em grande parte inviáveis, pois necessitam de alto investimento, diversas etapas e equipamentos. Portanto, alternativas que apresentem viabilidade econômica e baixo impacto ambiental possuem mais vantagens, sendo a fitorremediação alternativa promissora.

A partir disso, destaca-se a utilização da fitorremediação para resolver tal problema, sendo uma eminente alternativa aplicada para o tratamento de descontaminação de solos e afluentes. Nesse processo, emprega-se plantas com capacidade de desenvolver uma relação de simbiose com organismos de diversos ambientes, assim reduz a concentração de contaminantes no meio inserido, como poluentes orgânicos e metais pesados, a exemplo do cromo hexavalente (TAVARES, 2009). Com isso, a técnica analisada, em comparação com outros métodos é vantajosa, evidenciada por dois motivos, sendo estes a sua eficiência e, principalmente, seu baixo custo (Pires³ et al. apud MARQUES, 2015, p. 52). Neste horizonte, a *Eichhornia crassipes*, popularmente conhecida como Aguapé, a qual é encontrada em regiões aquáticas, apresenta potencial para absorção do cromo, visto que suas raízes filtram as substâncias presentes na água (LOSCHIAVO, s.d.).

Deste modo, o estudo almejado, apresenta uma forma de tratamento alternativa aos métodos tradicionalmente empregados, com impacto mínimo ao meio em que será inserido e valores acessíveis. Em decorrência, o baixo custo para a implantação do processo viabiliza que ele seja aplicado em uma escala significativa pelas empresas, fazendo com que, ao decorrer do tempo, as concentrações do metal em questão diminuam nos corpos hídricos, promovendo, assim, uma regeneração gradativa do ambiente. Outrossim, possibilita o tratamento de diversos contaminantes simultaneamente por meio da fitorremediação, como pesticidas, hidrocarbonetos de petróleo, sais, dentre outras.

³ PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; FERREIRA, L. R. Phytoremediation of herbicide-polluted soils. *Planta Daninha*, v. 21, n. 2, p. 335-341, 2003.

Dessa forma, o trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência da planta Aguapé (*Eichhornia crassipes*), por intermédio do método de fitorremediação, na extração de cromo hexavalente (Cr^{6+}) da água, com a finalidade de mensurar a concentração removida do elemento a fim de constatar sua aplicação para o tratamento de afluentes contaminados. Além de promover a utilização de metodologias sustentáveis.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. METAIS PESADOS

Um metal é reconhecido como pesado quando apresenta algumas características específicas. Pode-se definir, então, segundo Duffus (2002), metal pesado como um elemento metálico que atende às seguintes especificidades: alta densidade, sendo seu valor mínimo entre 3,5 e 7,0 g/cm^3 , elevada massa atômica e alteroso número atômico. Além das características apresentadas, tais elementos são bioacumulativos, o que impossibilita sua degradação por microrganismos, ocorrendo, assim, um acúmulo do material nos organismos. Os metais são encontrados na natureza de diversas formas, podendo estar em sua forma natural no ar, no solo, na água e em alimentos (MANZINI, 2010).

Dessa maneira, por apresentar os traços supracitados, os metais pesados causam, ao serem expostos ao meio ambiente, grande impacto. Isso acontece pois, pela sua capacidade bioacumulativa, eles podem estar presentes ao longo de toda uma cadeia alimentar (SOUZA; MORASSUTI; DEUS, 2018). Nessa linha de raciocínio, se uma planta for contaminada, o animal que consumi-la irá adquirir os metais pesados nela presentes, e, ao decorrer do ciclo, os humanos são contaminados ao nutrir-se destes animais contaminados, ou pelas próprias plantas. Assim, segundo, ao entrar em contato com o organismo, o elemento pode causar uma enorme quantidade de efeitos danosos a ele, podendo iniciar como leves sintomas de dores de cabeças, enjoos, fraqueza, vômito, dentre outros, mas, com o tempo, agravando em doenças mais graves como disfunções, paralisia, perda de capacidade cerebral, lesões vasculares e, em maioria, efeitos cancerígenos (DINIZ, s.d.).

Mas, apesar dessas propriedades, esses materiais são amplamente utilizados para a fabricação de diversos produtos. Eles são usados em indústrias metalúrgicas, petrolíferas, extrativas, bélicas, de tintas, corantes e cerâmicas. E após serem manipulados, seu descarte é realizado muitas vezes em afluentes ou solos, o que contamina esses ambientes e dificulta o desenvolvimento de vida no local (MANZINI, 2010).

2.1.1. Remoção de metais

Por causa de todos os efeitos causados pelos metais pesados, foram criados alguns métodos para removê-los de determinados ambientes, como a precipitação química, coagulação, floculação, flotação, troca iônica, filtração. Porém, estas metodologias não são eficazes em locais que os metais estão muito diluídos, que é o caso da maioria dos afluentes (KNUST, 2008). Portanto, os métodos existentes não apresentam grande eficácia na remoção desses elementos nos afluentes, tornando assim a maioria dos métodos conhecidos para o tratamento inviáveis.

2.2. CROMO

Descreve Arfsten, Aylward e Karch (1998) que o cromo foi descoberto na Rússia em 1794 por Pallas. Posteriormente, na França em 1797, após um pouco mais de duas décadas de sua descoberta, o químico Louis N. Vauquelin, isolou o metal pela reação de oxirredução da crocoíta ($PbCrO_4$), por meio do ácido clorídrico (HCl), a qual resultou no óxido crômico (CrO_3). Por sua vez, o óxido crômico quando empregado em condições de aquecimento com carvão formou o cromo. Ulteriormente, o alemão Tassaert conseguiu constatá-lo na cromita, considerada um minério de ferro com maior teor de cromo, entorno de 40 a 50%. (CETESB, 2012; BARBOSA, 2017).

Assim, o cromo mostra-se na sua forma metálica com coloração acinzentada, contudo seus compostos podem dispor de variados aspectos em

determinação da condição apresentada. Além disso, Vauquelin observou que este metal é imprescindível para coloração de algumas pedras preciosas, como o pigmento esverdeado na esmeralda. Dessa forma, tais características fazem alusão ao significado de cromo, do grego *chroma*, que remete a cor (SCHLLEMER, 2011). Nesse sentido, segundo Pimentel (2003), o cromo (II) tem aspecto azulado e o cromo (III), em água e na formação de complexos, possui aspecto verde ou violeta na condição da presença e ausência de cloretos, respectivamente. Em consonância, o cromo (VI) constitui-se da cor laranja ou amarela.

A Figura 1 a seguir demonstra o cromo na forma metálica:

Figura 1. Cromo Metálico



Fonte: (Chang apud Pimentel, 2003)

O cromo possui o símbolo Cr, sendo exposto na família VI-B da tabela periódica, classificado como metal de transição. Assim como, possui número atômico 24 e massa molecular 51,996, densidade de $7,2 \text{ g/cm}^3$, ponto de fusão de 1.900°C e ponto de ebulição de 2.672°C . Além disso, é insolúvel na água e solúvel em ácidos fortes como o ácido nítrico, ácido clorídrico e sulfúrico. Tem uma estrutura cristalina, sendo organizada de forma cúbica, isento de odor e designado altamente resistente a corrosão. (PIMENTEL, 2003; SILVA; PEDROZO, 2001). Apresenta-se, a seguir, a Tabela 1, com informações físico-químicas complementares sobre o cromo metálico:

Tabela 1. Características físico-químicas do cromo metálico

Grandeza	Valor	Unidade
Massa específica do sólido	7140	Kg/m ³
Ponto de fusão	1907	°C
Calor de fusão	20,5	kJ/mol
Ponto de ebulição	2671	°C
Calor de vaporização	350	kJ/mol
Eletronegatividade	1,66	Pauling
Estados de oxidação	+6 +3 +2 0	-
Resistividade elétrica	12,7	10 ⁻⁸ Ωm
Condutividade térmica	94	W/(m°C)
Calor específico	448	J/(kg°C)
Coeficiente de expansão térmica	0,49	10 ⁻⁵ (1/°C)
Coeficiente de Poisson	0,21	-
Módulo de Elasticidade	279	GPa
Velocidade do Som	5940	m/s
Estrutura do Som	Cúbica de corpo concentrado	

Fonte:(Shcllemer, 2011)

2.2.1. Ocorrências na natureza

O cromo aparece em vigésima posição dos elementos com elevada abundância na crosta terrestre e sétima em relação aos metais. Na natureza, este elemento de modo algum é encontrado livremente, mas segundo Helene (2016 p. 22) está “na composição de óxidos, sulfatos, cromatos, dicromatos e sais básicos derivados do mineral cromita (FeCr₂O₄)”, presente no ar, solo, água, rochas, poeira, partículas líquidas de vapores vulcânicos, nos seres vivos e, majoritariamente na cromita e óxidos de ferro, disposto principalmente na forma de cromo (III), sendo este oxidado por óxido de manganês e transformado em cromo hexavalente. (COSTA, 2018; SILVA; PEDROZO, 2001).

Assim, segundo a CETESB (2012), a concentração do metal no solo é considerada baixa com valores entre 2 e 60 mg/kg, já nas rochas graníticas tem valor de 2 a 90 ppm (partes por milhão), enquanto possui de 1000 a 3400 ppm em rochas ultramáficas e nas argilas entre 30 e 590 ppm (BARBOSA, 2017). Na água em parâmetros de não contaminação o teor de cromo é de 1 µg/L, nos oceanos a concentração está entorno de 1 e 10 µg/kg e no ar a taxa corresponde 0,1 µg/m³. De

acordo com Silva e Pedrozo (2001 p. 22), “quase todo o cromo hexavalente existente no meio ambiente é proveniente das atividades humanas”.

Outrossim, o crômio é elencado com estados de oxidação diversos que alteram de Cr^0 , Cr^{2+} , Cr^{3+} e Cr^{6+} . As formas mais frequentes são a bivalente (Cr^{2+}) – a qual pode ser oxidada por intermédio do oxigênio presente no ar, resultando em Cr (III) – e as mais estáveis: a trivalente (Cr^{3+}) e hexavalente (Cr^{6+}). (SILVA; PEDROZO, 2001). Vale reforçar que o cromo hexavalente na natureza é proveniente da oxidação do cromo trivalente por óxidos de manganês (COSTA, 2018).

2.2.2. Ocorrência antropológica e aplicações

A ocorrência de cromo por atividades humanas está relacionada aos processos industriais, isso porque esse metal se destaca pela dureza, resistência à corrosão e ao atrito, características fundamentais para diversos processos e produtos. Vale ressaltar que os sais, óxidos, metais e ligas de cromo são derivados do minério cromita (SILVA; PEDROZO, 2001).

Assim, desde 1820, o cromo tem sido utilizado em procedimentos industriais como no revestimento de ligas metálicas — para evitar a corrosão, refinar e aprimorar a sua aparência —, como ocorre na galvanização e cromação, os quais utilizam o óxido de cromo hexavalente. Além disso, o dicromato de potássio (K_2CrO_7) é empregue na pigmentação têxtil, tal qual a cromita que, em 1879, era aplicada na produção de tijolos para fornos refratários (ARFSTEN; AYLWARD; KARCH, 1998).

Dessa forma, os derivados desse metal, como o cromato de sódio, exercem um encargo importantíssimo para a produção de pigmentos e no processo de curtimento de couro, sendo utilizado o sal de cromo, o sulfato de cromo básico $\text{Cr}_4(\text{SO}_4)_5(\text{OH})_2$, o qual é fabricado a partir do dicromato de potássio (forma hexavalente) reduzido em cromo trivalente em meio ácido. Isso se deve, pois no curtume procuram fortalecer o tecido dérmico, trazendo uma maior conservação do material e dificultando o apodrecimento da matéria-prima, e a emissão de odores. Além também de ajudar no processo de produção de fertilizantes (GIANNETTI, 2001; SILVA; PEDROZO, 2001).

2.2.3. Toxicidade

Em relação a toxicidade do cromo as análises são direcionadas as espécies Cr^{3+} e Cr^{6+} . Segundo Freitas (2006), os efeitos tóxicos do elemento dependem da espécie química e a via de exposição. Mediante a isso, sabe-se que a forma hexavalente corresponde a mais tóxica com potencial cancerígeno aos seres humanos, enquanto o cromo trivalente pode ser empregado até mesmo na suplementação humana, destaca-se que as espécies de Cr^{3+} e Cr^0 não apresentam tais efeitos tóxicos (SCHLLEMER, 2011). Em consonância, destaca-se Silva e Pedrozo (2001) que o estado hexavalente é derivado de processos industriais, ao passo que os de origem natural são majoritariamente compostos de cromo trivalente.

Nessa ótica, o estado trivalente é considerado a forma de cromo mais estável em solução e atóxica em quantidades diminutas para os seres humanos, sendo designado como um micronutriente essencial as plantas e animais em concentração traço. Nos alimentos é a forma mais encontrada, tendo como fonte os cereais, oleaginosas, cogumelos, carnes, cerveja e nos vegetais e frutas entre eles o aspargo e a ameixa, por exemplo (GOMES; ROGERO; TIRAPEGUI, 2005).

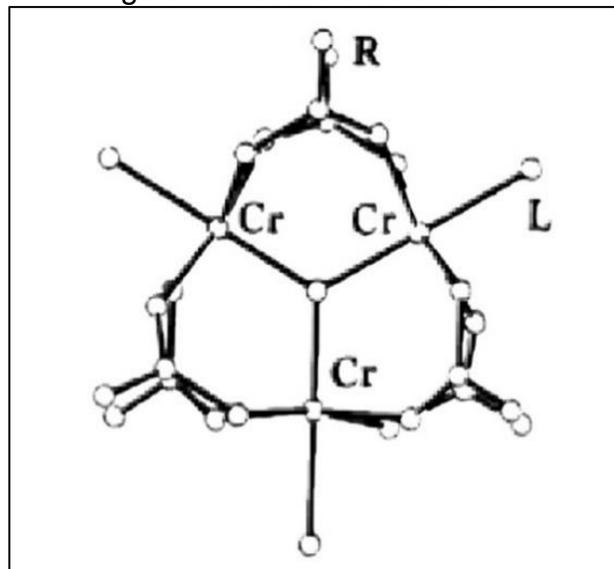
Entre as funções desempenhadas no organismo humano estão o metabolismo de carboidratos e ácidos graxos, a inibição da síntese de colesterol, aumento da produção proteica, visto que incentiva a captação de aminoácidos e a coatuação, por meio do complexo com o ácido nicotínico (vitamina B3), na atividade da insulina – assim, promovendo a regulação do teor de glicose e contribuindo na contenção do diabetes tipo 2. Além disso, nos casos de depressão, o cromo pode auxiliar na liberação do hormônio noradrenalina (FREITAS, 2006; GOMES; ROGERO; TIRAPEGUI, 2005.)

Vale evidenciar que a deficiência desse mineral no corpo pode ser sentida por sintomas que inclui a perda de peso e alteração no metabolismo da glicose (SILVA; PEDROZO, 2001). Atualmente, de acordo com Gomes et al, a concentração diária indicada para consumo baseia-se de 25 μg para as mulheres e de 35 μg aos homens. Embora, o cromo III não seja a forma tóxica para os seres humanos, se ingerido em concentrações elevadas pode gerar a competitividade com as moléculas de ferro em relação a ligação com a transferrina (proteína de transporte do Fe), dessa maneira pode causar o desequilíbrio na absorção tanto do cromo, provocando

excesso de ferro no organismo, como a hemocromatose, tal qual provocar predisposição a deficiência de ferro.

Em paralelo, destaca Abreu (2006) que o cromo hexavalente é altamente oxidante em meio ácido, com aspecto solúvel e dispõem-se apenas nas formas de óxidos, como: CrO_3 (trióxido de cromo ou ácido crômico), CrO_2Cl_2 (cloreto de cromila), CrO_4^{2-} (cromato) e o $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (dicromato). Além disso, pode ser convertido em cromo III na presença de manganês (Mg^{2+}), Fe^{2+} em ácido húmico ou minerais com Ferro II, assim como a forma trivalente pode ser oxidada a Cr^{6+} em dióxido de manganês (MgO_2), que tem sua estrutura representada na Figura 2:

Figura 2. Estrutura do cromo VI



Fonte: (FERREIRA, 2002).

Os primeiros indícios da toxicidade da forma hexavalente foi entre trabalhadores do setor industrial de produção de dicromatos, os quais desenvolveram câncer pulmonar após a exposição de Cr VI. Isso decorre pelo caráter mutagênico, oxidativo e a facilidade da espécie em penetrar as células pelos canais aniônicos não definidos, pertencentes ao sulfato e fosfato. Como também, a capacidade de interagir com os ácidos nucleicos (DNA), na forma reduzida, resultando em radicais livres e efeitos cancerígenos. Mediante a isso, além dos efeitos acumulativos e carcinogênicos, o contato pelas vias respiratórias provoca outros danos, a exemplo da ulceração e perfuração do septo nasal, alergias e irritações no trato respiratório, quadros de laringite, bronquite e pneumonia aguda de causa química, assim como o comprometimento cardiovascular. Em casos de envenenamento pela substância,

sintomas, tais quais a diarreia, êmeses, hemorragias intestinais e diminuição do fluxo sanguíneo podem estar presentes. (FREITAS, 2006; PIMENTEL, 2003; SILVA; PEDROZO, 2001; POLLNOW, s.d.)

As principais vias de contaminação biológica ocorrem pelo tecido dérmico, trato gástrico intestinal e vias aéreas (mencionado anteriormente), sendo o tempo de absorção definido pelo tamanho da partícula da substância, da solubilidade e da espécie de cromo. Nesse viés, segundo Schillemer (2011), a dose letal de cromo VI para adultos tem variação de 50 a 70 mg/kg em condição de cromatos.

Na absorção cutânea tanto o cromo III e VI podem ser absorvidos, sendo que a forma hexavalente tem maior facilidade de atravessar a epiderme, enquanto a versão trivalente tem a mobilidade reduzida, visto que interage com esse tecido e suas proteínas. Uma vez que o Cr^{6+} entra em contato com a pele provoca lesões graves nos pés, mãos e braços. Além disso, a exposição crônica a espécie hexavalente pode causar comprometimento aos rins, fígado e pulmão (como informado anteriormente) (FREITAS, 2006; SILVA; PEDROZO, 2001).

O cromo hexavalente entra no organismo humano pelos canais de transporte de ânions, referentes a íons de carga negativa, como os de sulfato. Na célula, a espécie é reduzida e posteriormente ligada a um componente celular para passagem no meio celular. Após a difusão dentro do plasma, o cromo conecta-se ao DNA, provocando a sua redução para cromo (III). Nessa condição, a toxicidade do composto no sistema fisiológico é diminuída. Isso ocorre por intermédio da mudança da geometria da espécie, a qual passa da forma tetraédrica a octaédrica, correspondente ao estado trivalente. Em síntese, a toxicidade do cromo depende do seu estado de oxidação, pureza, vias de contaminação, além da concentração absorvida pelo organismo (RIBEIRO; CARVALHO; RIBEIRO, 2019; SCHLLEMER, 2011; SILVA; PEDROZO, 2001).

2.2.4. Vias de contaminação

As vias de contaminação de cromo hexavalente, essencialmente, são provenientes de atividades antrópicas, entretanto a oxidação do cromo (III) em cromo (VI) pode ocorrer na natureza, por meio do oxigênio dissolvido na água e dos óxidos

de manganês, como o dióxido de manganês (MnO_2), dessa forma aumentando os riscos de contaminação dos afluentes, mesmo que no caso do oxigênio dissolvido não resulta em oxidações impactantes. Assim como, as erupções vulcânicas podem ser uma fonte de contaminação (BARBOSA, 2017; HELENE, 2016; SILVA; PEDROZO, 2001).

Á vista disso, a contaminação antropogênica baseia-se nos processos industriais e descarte dos resíduos de cromo. De acordo com Silva e Pedrozo (2001), as ações fabris para produção de aço e manejo de matéria orgânica, relacionam-se diretamente com a liberação do cromo, da mesma forma os depósitos de lixo doméstico e agrícola em compostagens geram o chorume, o qual é abundante em metais pesados. Os autores, Silva e Pedrozo (2001, p. 27), ainda evidenciam que as ações com maior influência na liberação do metal são:

[...] emissões decorrentes da fabricação do cimento; construção civil, devido aos resíduos provenientes do cimento; soldagem de ligas metálicas fundições; manufatura do aço e ligas; indústria de galvanoplastia; lâmpadas; minas; lixos urbano e industrial; incineração de lixo; cinzas de carvão; curtumes; preservativos de madeiras; fertilizantes.

2.2.5. Contaminação da água

De acordo com o site Solufil (s.d.), o termo contaminação consiste em aparições de elementos que não deveriam estar em certos locais, por exemplo a presença de metais pesados, como o cromo, em meios hídricos, os quais causam modificação no ambiente infectado. O surgimento dessas substâncias ocorre, na maioria dos casos, através de origem antropogênica, ou seja, através das atividades humanas ou de maneira natural e artificial (CETESB, s.d.; MOREIRA, BUENO; s.d.). Sendo assim, o contágio dos afluentes pode ocorrer por meio de atividades que envolvem a galvanoplastia – que é o revestimento de ligas metálicas –, as indústrias de tingimento de couro, a manufatura de tecidos e até mesmo por meio do ar, erupções vulcânicas e incêndios florestais (SILVA, PEDROZO, 2001, p. 31).

2.2.6. Remoção de cromo

O cromo, em contato com o meio ambiente, causa diversos problemas. Nesse sentido, de acordo com Barbosa (2017), é visível a importância de buscar métodos para a remoção de metais pesados presente em afluentes, gerados pelas atividades industriais, a fim de diminuir os impactos causados no meio ambiente. Assim, entre a enorme existência de métodos para remoção de cromo, estão: redução/precipitação, troca iônica, recuperação eletrolítica, extração por solventes e flotação. Segundo Schllemer (2011) e Cheis (2013), as pesquisas para o tratamento de afluentes contaminados por cromo, utilizam também métodos de adsorção, osmose reversa, eletrodialise, ultrafiltração, biossorção e biorredução enzimática.

Vale ressaltar, que a técnica de precipitação é um dos principais métodos para a remoção de cromo hexavalente, consistindo na redução da espécie de Cr^{6+} para Cr^{3+} , por meio do metabiossulfito, resultando em um precipitado (uma substância que separa de sua solução, isto é, do sobrenadante, formando-se duas fases), sendo posteriormente removida por filtração ou centrifugação (LUME, 2012; SCHLLEMER, 2011). Entretanto, tal procedimento requer muitos produtos químicos – deixando-o mais caro –, além de produzir uma enorme quantidade de resíduos de lama e liberar o dióxido de enxofre (LUME, 2012). Destaca-se, Silva (2010), que embora existam uma grande variedade de métodos para tratamentos de afluentes e efluentes, estes, porém em sua maioria possuem altos custos de tratamento e baixa eficácia.

2.2.7. Legislação:

As legislações ambientais são criadas para preservar e reduzir os impactos gerados pela ação humana. Entre inúmeras normas, resoluções e leis, a resolução CONAMA nº357, estabelece as emissões de efluentes com determinados padrões e as condições que os corpos hídricos devem apresentar. Á vista disso, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), decretou a resolução CONAMA nº430, a qual fornece valores máximos de concentração de variados metais pesados

e seus compostos em efluentes. Assim, regulamenta que o valor de emissão do cromo hexavalente (Cr^{6+}) deve estar em $0,1\text{mg/L Cr}^{6+}$.

Outrossim, o Artigo 21º originada da lei nº 9.433, conhecida como Lei das Águas, constitui que se deve observar as características do recurso hídrico para uso de descarte de resíduos independentes do estado físico-químico e seu volume. Dessa forma, em ambiente estadual de São Paulo, a lei N°997 em seu artigo 3º, afirma que qualquer material ou energia, usados em corpos hídricos, ar ou solo, é considerado poluentes em desacordo com os padrões estabelecidos na quantidade, intensidade e concentração (Decreto N°8.468).

2.3. FITORREMEDIAÇÃO

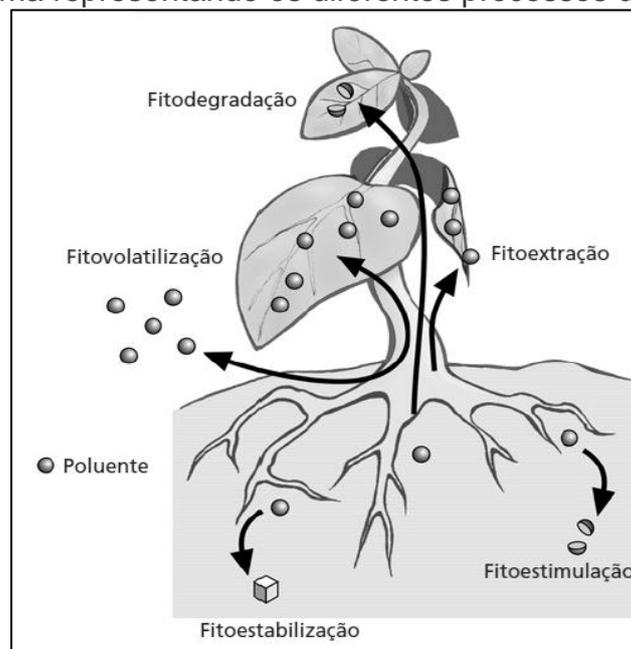
A fitorremediação é uma técnica que combina a relação de simbiose das plantas com o ambiente que está inserida e sua capacidade de adaptação as variadas condições como a salinidade, acidez, excesso e falta de nutrientes, com a finalidade de remover ou reduzir contaminantes, essencialmente os metais pesados, do solo e de afluentes. À vista disso, ressalta-se que a terminologia se refere à concepção de corrigir (remediação) por meio da utilização de plantas (fito). Tal método, tem relevância desde a década de 1990, tendo como princípio de funcionamento a capacidade de absorção das raízes, na qual contêm a propriedade de diminuir ou eliminar os poluentes, servindo como um filtro biológico (SILVA et al., 2019, REIS, s.d.).

Devido a essas características, segundo Silva et al (2019), a fitorremediação proporciona a redução de custos na remoção dos metais, além de reduzi-los a teores seguros aos seres humanos e reparar o ambiente degradado. Os autores destacam ainda a versatilidade que a remediação por vegetais promove, visto que abrange a eliminação de diversos poluentes, tais quais os metais pesados, pesticidas, explosivos e hidrocarbonetos. Além disso, podem ser aplicadas em espaços de enorme dimensão e atribui-la com a utilização de outros métodos. Vale evidenciar que a extração das substâncias depende da morfologia das plantas e suas respectivas espécies, sendo relevante características como o crescimento rápido, elevada propriedade de absorção e resistência aos contaminantes.

Nessa perspectiva, para o emprego do método, é necessário o uso de plantas hiperacumuladoras, que conseguem acumular grandes quantidades de metais pesados, sem sofrerem danos severos, na qual o mecanismo possibilita a absorção deste em concentrações elevadas. Segundo Martin (2008), tal processo resulta em precipitação extracelular e constituição de complexo na expulsão de metabólicos, ou seja, o resíduo que o organismo deixa após aproveitar os nutrientes, utilizando os meios de difusão e osmose.

Assim, dentre os mecanismos da fitorremediação (Figura 3), estão: a fitodegradação, fitovolatilização, fitoestabilização, fitoextração, rizofiltração, sendo estes divididos em modos diretos e indiretos (COUTINHO et al., 2015).

Figura 3. Esquema representando os diferentes processos de fitorremediação



Fonte: (SOUZA, 2012).

Por conseguinte, as metodologias de remoção direta consistem em absorver, mineralizar, acumular ou metabolizar os metais em suas células, abrangendo então os processos de fitoextração, fitotransformação e fitovolatilização. No mecanismo indireto encontra-se a fitoestabilização e fitoestimulação, o qual as plantas removem os poluentes dos aquíferos, diminuindo a concentração do composto. O método indireto também abarca a ação do vegetal no aumento da função microbiana em degradar a substância (SILVA et al., 2019; TAVARES, 2009).

Desse modo, os mecanismos da fitorremediação estão descritos, a seguir:

- Fitodegradação

Neste modelo, os microrganismos são utilizados para degradar os contaminantes do tipo orgânico, como hidrocarbonetos, detergentes, defensivos agrícolas, dentre outras. O processo ocorre na rizosfera — área do solo em contato com as raízes (VASCONCELOS; PAGLIUSO; SOTOMAIOR, 2012).

- Fitovolatilização

Esse mecanismo compõe-se na absorção dos contaminantes orgânicos e inorgânicos pela raiz, na qual será transportada para as folhas e posteriormente volatizadas pela transpiração da planta. Após isso, ocorrerá liberação do contaminante para a atmosfera, seja em uma forma transformada, na qual o contaminante está menos concentrado ou em sua forma original, isso pelo processo de “biodegradação” (VASCONCELOS, PAGLIUSO, SOTOMAIOR, 2012; TAVARES, 2009).

- Fitoestabilização

Determinadas plantas contêm altas taxas de evapotranspiração, que retiram um alto teor de umidade no solo, desse modo, conseguem enclausurar os contaminantes, seja quimicamente ou mecanicamente, permitindo que os metais pesados fiquem fixos nas raízes das plantas. Desta forma, a mobilidade dos contaminantes é reduzida pelos tecidos da planta, seja da imobilização, lignificação ou humidificação, que são alguns mecanismos presentes na fitoestabilização (FERREIRA, 2012; TAVARES, 2009).

- Fitoextração

O método utiliza os tecidos da planta para acumularem os compostos nocivos, é muito utilizada em corpos d'água para armazenar os poluentes em partes aéreas, uma vez que as plantas tenham acumulado uma quantidade suficiente de poluentes, elas são colhidas e removidas da área contaminada (VASCONCELOS; PAGLIUSO; SOTOMAIOR, 2012).

- Rizofiltração

É usado designadamente em corpos hídricos e em solos, na qual é semelhante a fitoextração, em que raízes dos vegetais permanecem em contato com o meio. Assim, mediante as essas bases os contaminantes são absorvidos, concentrados e precipitados, proporcionando a degradação do metal pela ação de microrganismos presentes nas raízes (BATISTA, 2012; ROMERO, 2022).

2.3.1. Plantas fitorremediadoras

É necessário que uma planta tenha algumas características para ser considerada fitorremediadora, na qual ela seja capaz de crescer em um ambiente contaminado pelo metal, sobreviver no meio sem prejudicar seu crescimento e poder acumular diversos contaminantes (VASCONCELOS; PAGLIUSO; SOTOMAIOR, 2012). Com isso, as plantas hiperacumulativas se destacam para a fitorremediação, pois absorvem uma quantidade significativa do metal presente no espaço e são mais tolerantes em comparação com outras plantas (REIS; FERNANDES; ALVES, s.d.).

Existem, na natureza, diversas plantas com a capacidade de fitorremediação, sendo que o Brasil é um dos países com maior variedade dessas plantas. Alguns exemplos de plantas fitorremediadoras são *Pennisetum purpureum* (capim-elefante), *Typha domingensis* (taboa) e *Eichornia crassipes* (aguapé) (PEREIRA, 2022).

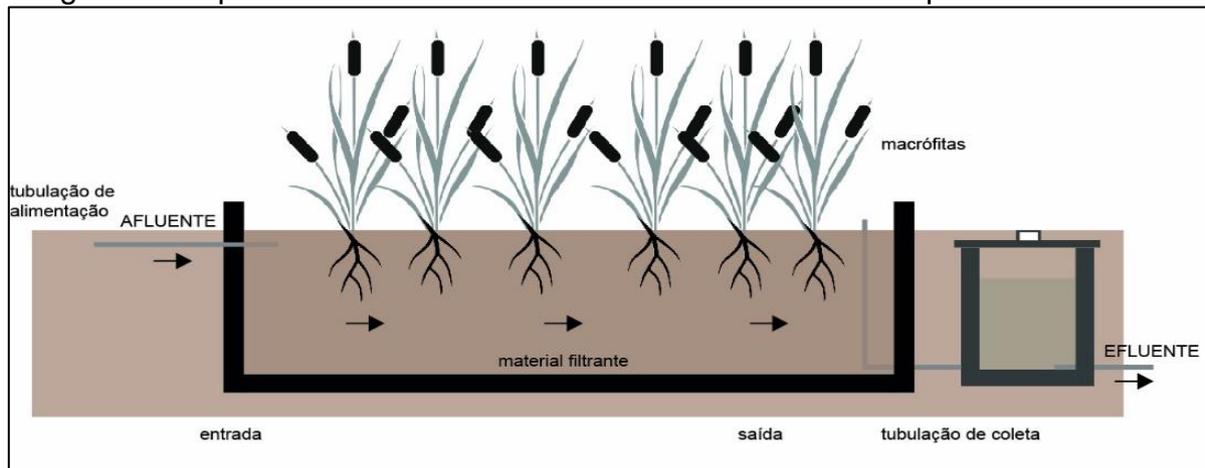
2.3.2. Sistema *Wetlands*

Os sistemas *wetlands*, ou conhecido em português como áreas úmidas/alagáveis, podem ser definidos como “ecossistemas artificiais com diferentes tecnologias”, sendo assim, é através dos regimes básicos de mudança de qualidade da água desses meios que é possível diferir se a *wetland* é natural ou sintética. Da mesma maneira, além da gestão hidrológica do fluído, distingue-se também pelo

substrato envolvido — responsável pela produtividade do sistema e pela variedade biológica encontrada nas duas formas (SALATI, et al., 2009; GHISLENI, 2023).

Na prática, as áreas úmidas proporcionam o crescimento de microrganismos que efetivam a função de decomposição de substâncias orgânicas por meio de métodos químicos, físicos e biológicos. Ademais, tal processo é utilizado principalmente em vegetação de macrófitas aquáticas, podendo ser divididas em emergentes ou flutuantes. No método emergente, é preeminente os sistemas wetlands naturais, na qual têm seus sistemas radiculares sustentados no precipitado, enquanto no método flutuante, têm canais rasos que removem os elementos contaminantes por sedimentação ou absorção (GHISLENI, 2023). A Figura 4, a seguir, demonstra o esquema de um *wetland*:

Figura 4. Esquema de *wetland* construída com escoamento superficial horizontal



Fonte: (ArchDaily, 2023).

2.4. AGUAPÉ

A *Eichhornia crassipes* (Figura 5), também conhecida como aguapé, baroneza, camalote, jacinto-d'água, murumuru, mururé, pareci, pavoia e rainha-dos-lagos, foi descoberta em 1824 por Carl Friedrich Philipp von Martius e faz parte de um dos exemplos de macrófitas aquáticas flutuantes existentes no Brasil (FELIPE, 2023). Sendo pertencente à família *Pontederiaceae* e originalmente nativa da região da América do Sul — mais especificamente na Amazônia —, ela é encontrada em afluentes como rios, lagos e lagoas de climas tropicais, subtropicais e equatorial.

Figura 5. *Eichhornia crassipes*



Fonte: (DICIONÁRIO ILUSTRADO, s. d.).

Além disso, sua existência pode servir de habitat para várias espécies de organismos vivos e peixes, sendo capaz de chegar até 50 centímetros de altura (BRAGA, s.d.). Do mesmo modo, são herbáceas fáceis de serem cultivadas, por conseguirem se reproduzir rapidamente através de brotações e sementes, e sobreviver apenas com luz solar.

Ainda de acordo com Braga (s.d.) e Felipe (2023), por ser uma planta flutuante, o aguapé acaba fazendo na maior parte de seu tempo a incorporação de nutrientes em seus tecidos e, por causa disso, é bastante utilizada nos processos de fitorremediação. Isso se deve a sua capacidade de absorver — nas águas cristalinas — os derivados de detergentes, fenóis, metais pesados e resíduos de esgoto, ou seja, demonstra propriedade de hiperacumulação (PEREIRA, 2010).

Logo, a macrófita aquática indica uma relevância bastante positiva para testes em metais pesados, pois segundo Spósito (2018), podem suportar altas variações na água, como as alterações de pH, de temperatura e de nutrientes. Em consonância, ainda de acordo com Spósito (2018), o aguapé proporcionou índices relativos de absorção de nutrientes, sendo de 100% sobre líquidos descartados de residências contendo metais pesados.

3. METODOLOGIA

Este estudo foi conduzido a partir de pesquisas bibliográficas para a análise da capacidade fitorremediadora da planta herbácea aquática (aguapé), com a finalidade de empregá-la no processo de remoção do cromo hexavalente, encontrado em afluentes contaminados pela espécie química, sendo baseadas em artigos científicos, trabalhos acadêmicos e publicações em sites. Nesse viés, para recolher as informações da eficiência da macrófita nos resultados, foram usufruídos métodos de práticas experimentais da espectrofotometria UV-Vis para medidas de absorvância das amostras e observação da curva de calibração, na qual possui valores de absorvância e de concentração conhecidas do dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$), um reagente recorrido nas indústrias galvânicas e de curtimento de couro, por exemplo. Em suma, conduziu-se o estudo da capacidade da fitorremediação em 4 testes, com diferentes períodos de exposições (1, 2, 4, 7 dias) e com o finto de mensurar a alteração da concentração do metal na água diariamente, além da observação do aspecto morfológico da planta em relação a resistência desta ao cromo hexavalente.

4. DESENVOLVIMENTO

Foram realizados processos para análise quantitativa de remoção de cromo hexavalente encontrado na água, utilizando como mecanismo a fitorremediação aplicando o aguapé, constatando-se a eficiência por meio do emprego de métodos de análise espectrofotométrica. Todos os processos experimentais foram realizados no laboratório de química da ETEC de Fernandópolis, replicando-o duas vezes.

4.1. MATERIAIS E REAGENTES

A seguir, na Tabela 2, encontram-se todos os materiais e reagentes empregados nos processos.

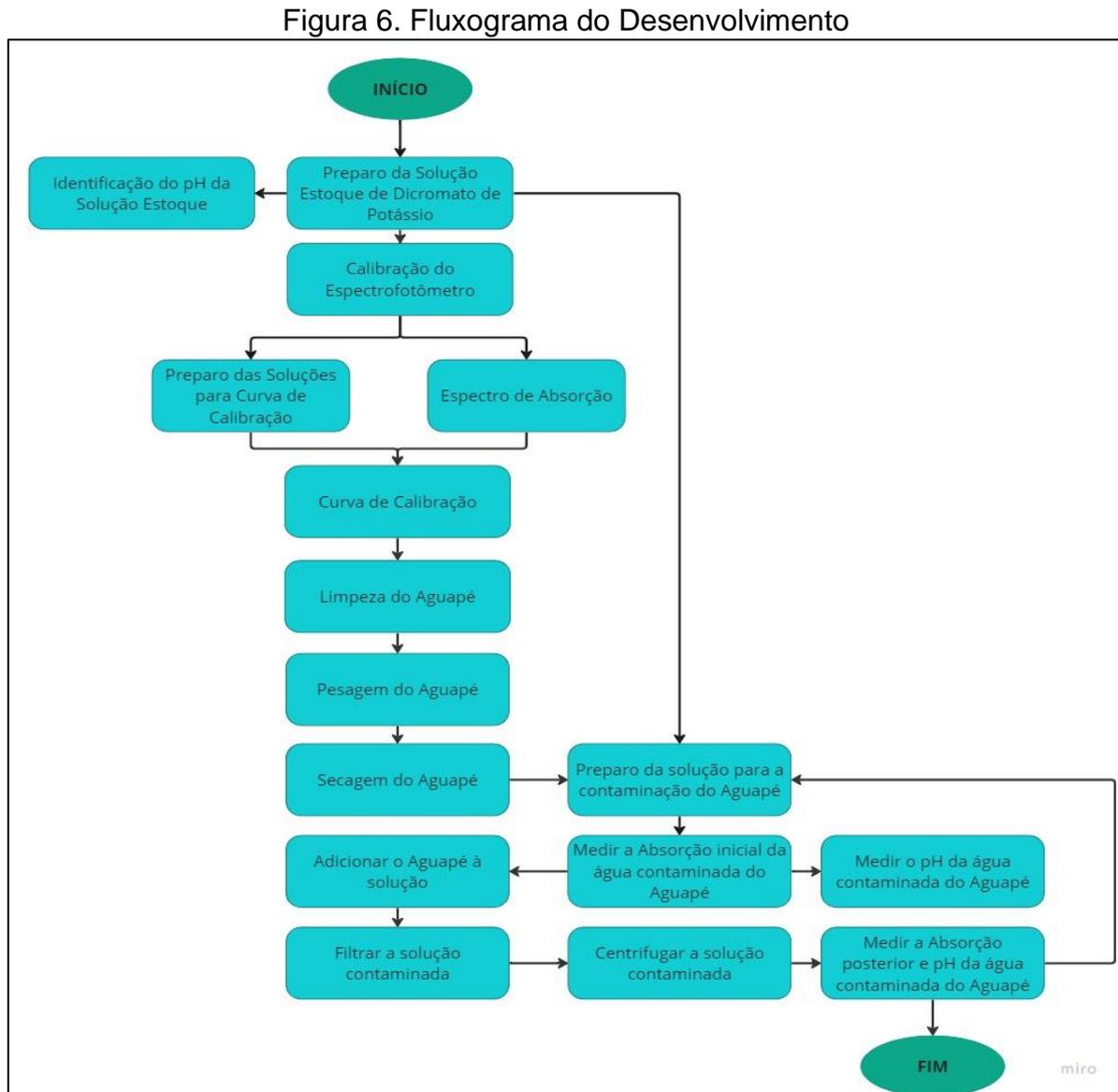
Tabela 2. Materiais e reagentes utilizados no procedimento do trabalho

MÉTODO	MATERIAIS	REAGENTES
PREPARO DA SOLUÇÃO ESTOQUE DE $K_2Cr_2O_7$	Balões Volumétricos de 50mL Balão Volumétrico de 250mL Bastão de Vidro Béquer 100mL Espátula Pipeta Volumétrica 20mL Proveta 250mL	Água Mineral Dicromato de Potássio
IDENTIFICAÇÃO DO PH DA SOLUÇÃO ESTOQUE	Béquer 250mL Papel Toalha PHmetro	Água Destilada Solução Tampão pH 4,00 Solução Tampão pH 7,00 Solução Tampão pH 9,00
ESPECTRO DE ABSORÇÃO	Espectrofotômetro UV-Vis Bel Photonics Cubeta de Quartzo	Solução Estoque de $K_2Cr_2O_7$
CURVA DE CALIBRAÇÃO	Espectrofotômetro UV-Vis Bel Photonics Cubeta de Quartzo	Solução de $K_2Cr_2O_7$ 2mg/L Solução de $K_2Cr_2O_7$ 4mg/L Solução de $K_2Cr_2O_7$ 6mg/L Solução de $K_2Cr_2O_7$ 8mg/L Solução de $K_2Cr_2O_7$ 10mg/L
ANÁLISE DO POTENCIAL DE FITORREMEDIAÇÃO DO AGUAPÉ	Argola Balão volumétrico Centrífuga Cubeta de Quartzo Espectrofotômetro UV-Vis Bel Photonics Funil de Vidro Papel Filtro Papel Toalha Potes de Sorvete Suporte Universal Tubo Falcon	Água Mineral Solução de $K_2Cr_2O_7$ 4mg/L

Fonte: (Dos próprios autores, 2023)

4.2. FLUXOGRAMA

A seguir, a Figura 6 ilustra o fluxograma do procedimento experimental realizado no presente trabalho.



Fonte: (Dos próprios autores, 2023).

4.3. COLETA E CULTIVO DO AGUAPÉ

As plantas de aguapé (*Eichornia crassipes*) foram coletadas às margens do lago ao lado do ginásio Beira Rio, no município de Fernandópolis, e encaminhadas

ao laboratório de química da ETEC Professor Armando José Farinazzo, na qual foram lavadas sob água corrente, higienizadas com hipoclorito de sódio (NaClO) diluído e cultivadas em água mineral, sem solução nutritiva, sob luz ambiente, em uma bacia de plástico com capacidade aproximada de 15 litros, como mostra a Figura 7:

Figura 7. Cultivo do aguapé



Fonte: (Dos próprios autores 2023).

4.4. PREPARO DAS SOLUÇÕES DE DICROMATO DE POTÁSSIO ($K_2Cr_2O_7$):

Inicialmente, pegou-se as vidrarias a serem utilizadas e as higienizou com água corrente do laboratório, detergente e água destilada. As vidrarias citadas incluem seis balões volumétricos, um de 250 mL e cinco de 50 mL cada, além de uma pipeta graduada de 20 mL. Em paralelo, foi realizado o cálculo de preparo de 250 mL de solução estoque do dicromato de potássio para conter uma concentração 48 mg/L.

Então, em um balão volumétrico foram adicionados 12mg de dicromato de potássio, seguido de tríplex lavagem, completando até o volume de 250 mL com água mineral para obtenção da solução estoque. A partir disso, preparou-se 5 soluções de 50 mL diluídas de diferentes concentrações, para obtenção da curva de calibração. Destarte, empregou-se do seguinte cálculo de diluição para o preparo das soluções: $C_1.V_1 = C_2.V_2$, onde: C_1 = Concentração inicial; C_2 = Concentração Final;

V1 = Volume inicial; V2 = Volume Final. A seguir, na Tabela 3 encontram-se os dados referentes ao preparo das soluções diluídas:

Tabela 3. Diluição da Solução Estoque

CONCENTRAÇÃO (mg/L)	VOLUME DA SOLUÇÃO ESTOQUE (mL)
2 mg/L	2,08 mL
4 mg/L	4,16 mL
6 mg/L	6,25mL
8 mg/L	8,32 mL
10 mg/L	10,42 mL

Fonte: (Dos próprios autores, 2023).

A Figura 8, a seguir, demonstra as soluções obtidas a partir das diluições da solução estoque:

Figura 8. Soluções diluídas de $K_2Cr_2O_7$



Fonte: (Dos próprios autores 2023).

4.5. IDENTIFICAÇÃO DO PH DA SOLUÇÃO ESTOQUE DE $K_2Cr_2O_7$

Para a análise do pH, foi utilizado um pHmetro da marca Instrutherm, modelo PH-5000, que foi calibrado com soluções tampão de pH 4,00; 7,00 e 9,00 (Figura 9), limpando o eletrodo com água destilada e secando-o com papel toalha,

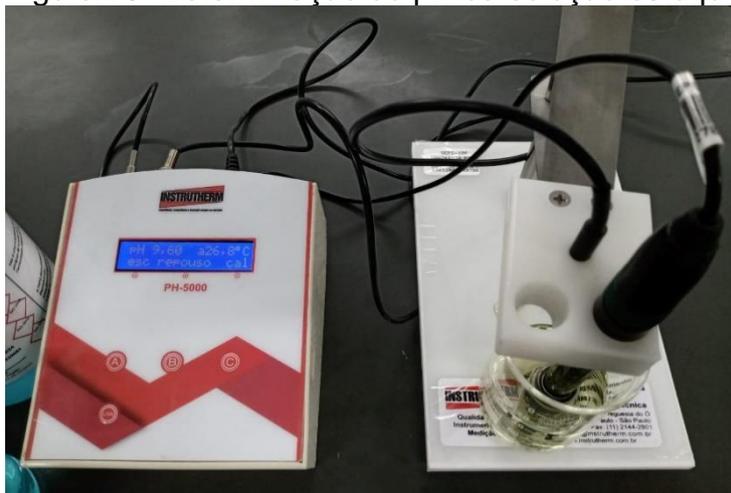
entre as medições. Ao analisar a solução estoque de 48mg/L de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$), foi obtido um valor de pH 9,6 (Figura 10); sendo assim, um meio básico.

Figura 9. Solução Tampão



Fonte: (Dos próprios autores, 2023).

Figura 10. Determinação do pH da solução estoque



Fonte: (Dos próprios autores, 2023).

4.6. ESPECTRO DE ABSORÇÃO

Inicialmente, para verificar a faixa de absorção da solução de dicromato de potássio, ligou-se o espectrofotômetro UV-VIS de feixe único e deixou-o calibrando por 30 minutos. Em seguida, uma alíquota da solução 48mg/L de dicromato de potássio foi adicionada à cubeta de quartzo de 1 cm de caminho óptico e, após, foi realizado no espectrofotômetro, uma varredura nos comprimentos de onda de 350 a 600 nm, identificando o λ máx (lambda) de absorção para a análise. A utilização de

cubeta de quartzo se fez necessária uma vez que cubetas de vidro absorvem na faixa do ultravioleta, interferindo no resultado da medida. Para a calibração do branco, usou-se água mineral pois este foi o solvente empregado na solução.

4.6.1. Resultados

A Tabela 4, a seguir, ilustra o resultado das leituras de absorção da solução de dicromato no intervalo de 350 nm a 600 nm.

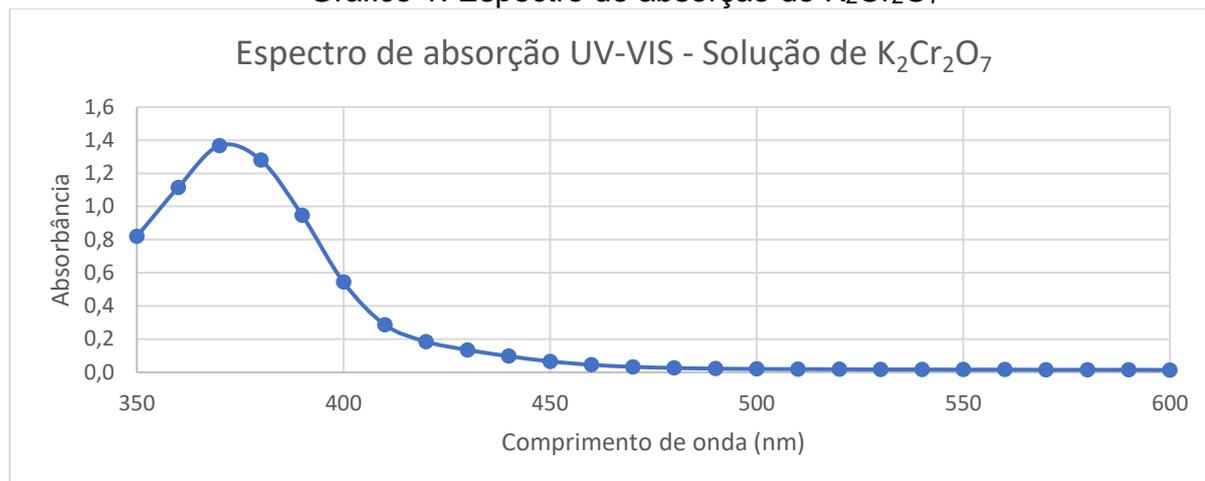
Tabela 4. Espectro de absorção do ($K_2Cr_2O_7$)

COMPRIMENTO DE ONDA	ABSORBÂNCIA	COMPRIMENTO DE ONDA	ABSORBÂNCIA
350nm	0,820	480nm	0,026
360nm	1,115	490nm	0,022
370nm	1,367	500nm	0,020
380nm	1,280	510nm	0,019
390nm	0,947	520nm	0,018
400nm	0,544	530nm	0,017
410nm	0,287	540nm	0,017
420nm	0,185	550nm	0,016
430nm	0,135	560nm	0,022
440nm	0,097	570nm	0,020
450nm	0,066	580nm	0,019
460nm	0,045	590nm	0,018
470nm	0,033	600nm	0,017

Fonte: (Dos próprios autores, 2023).

A partir dos dados obtidos, gerou-se o espectro de absorção (Gráfico 1), que tem como função identificar em qual comprimento de onda houve maior absorção:

Gráfico 1. Espectro de absorção do $K_2Cr_2O_7$



Fonte: (Dos próprios autores, 2023).

Observa-se, portanto, que o λ máx se encontrou no comprimento de onda de 370 nm, valor que foi posteriormente empregado para a realização da curva de calibração.

4.7. CURVA DE CALIBRAÇÃO

Ligou-se novamente o espectrofotômetro UV-VIS, deixando-o calibrar por outros 30 minutos. Após, passado esse tempo, foram colocadas as cubetas com o branco (água mineral), para identificar e diferenciar as impurezas nas soluções, e as soluções de concentrações 2; 4; 6; 8 e 10 mg/L de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$). Em seguida, foram anotados os dados da absorbância obtidos em cada concentração e fez-se o Gráfico 2, em que é representada a curva de calibração das soluções.

Figura 11. Prática da Curva de Calibração



Fonte: (Dos próprios autores, 2023)

4.7.1. Resultados

Os resultados para a curva analítica na faixa de trabalho de concentrações de 2 mg/L a 10 mg/L, encontram-se expressos na Tabela 5, a seguir, com seu respectivo gráfico, sendo o Gráfico 2.

Tabela 5. Dados Curva de Calibração

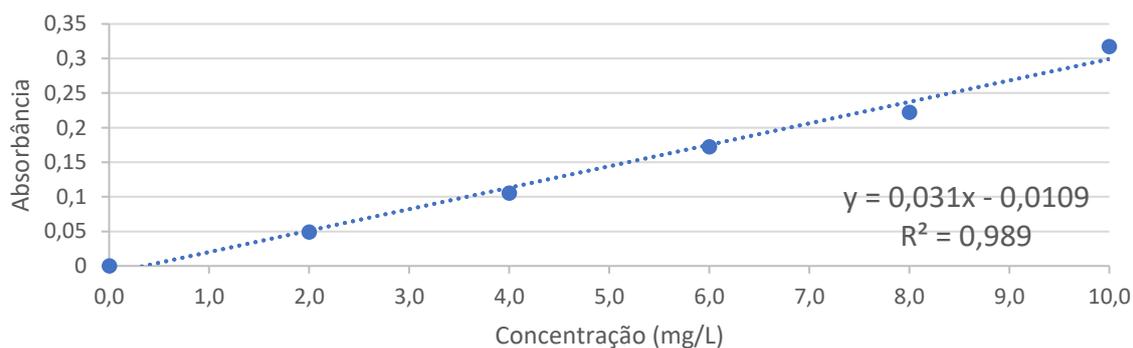
CONCENTRAÇÃO EM mg/L	ABSORBÂNCIA
2 mg/L	0,049
4 mg/L	0,105
6 mg/L	0,172
8 mg/L	0,222
10 mg/L	0,317

Fonte: (Dos próprios autores, 2023).

Desse modo, foi possível gerar a curva de calibração, expressa no Gráfico 2, a seguir:

Gráfico 2. Curva de Calibração do $K_2Cr_2O_7$

Curva de Calibração do $K_2Cr_2O_7$



Fonte: (Dos próprios autores, 2023).

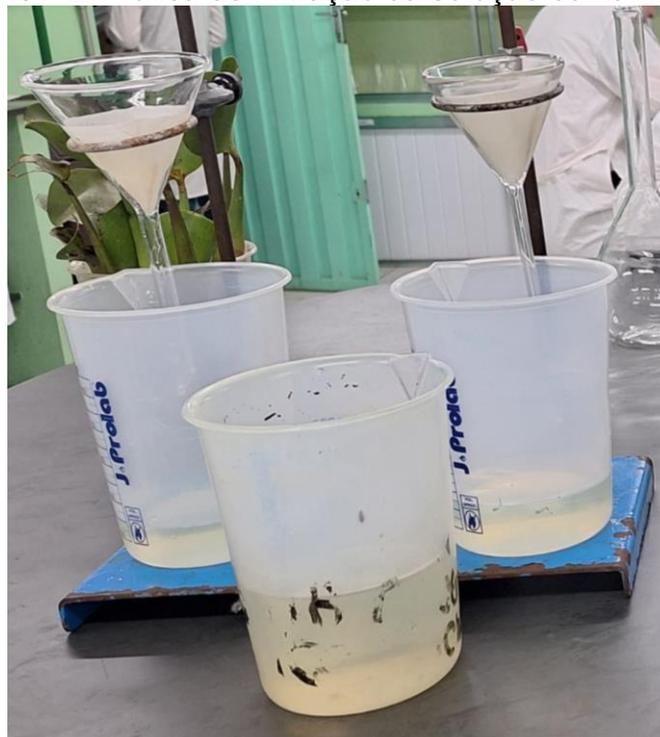
A resolução RE nº 899 de 29 de maio de 2003 estabelece um valor mínimo de R^2 (coeficiente de regressão linear) para curvas analíticas. (BRASIL, 2003). Ao analisar o valor de R^2 e a linha projetada no gráfico, pode-se afirmar que seus dados foram precisos, uma vez que quanto mais próximo de 1 for o valor de R^2 , mais exato são esses resultados.

4.8. ANÁLISE DO POTENCIAL DE FITORREMEDIAÇÃO DO AGUAPÉ:

Inicialmente, com o auxílio de um balão volumétrico, foram feitas quatro soluções de 1L com concentração de 8,57mg/L e 9,0mg/L de Dicromato de Potássio. Cada solução teve sua absorbância lida e foi, em seguida, colocada em um recipiente, a fim de fazer as análises em diferentes espaços de tempo, sendo, respectivamente, 1; 2; 4 e 7 dias. Em seguida, foram adicionadas aos recipientes os aguapés, deixando-os em exposição pelos devidos períodos.

Foi feita, logo após decorrido cada período, a retirada da planta de seu recipiente. Ademais, filtrou-se a solução (Figura 12), com o auxílio do suporte universal, a argola, o funil de vidro e o papel filtro, e completou seu volume à 1L.

Figura 12. Prática de Filtração da solução contaminada



Fonte: (Dos próprios autores, 2023).

Além disso, uma pequena quantidade foi centrifugada (Figura 13), com a utilização de tubos *Falcon* e da centrífuga. Após isso, coletou-se uma alíquota da solução centrifugada e leu-se sua absorbância no espectrofotômetro UV-VIS, utilizando uma cubeta de quartzo com caminho óptico de 1cm.

Figura 13. Centrifugação da solução filtrada



Fonte: (Dos próprios autores, 2023).

4.8.1. Resultados

As figuras 14, 15, 16, e 17, a seguir, demonstram o estado das macrófitas aquáticas antes e depois do procedimento realizado:

Figura 14. Análise inicial e final de 1 dia



Fonte: (Dos próprios autores, 2023).

Figura 15. Análise inicial e final de 2 dias.



Fonte: (Dos próprios autores, 2023).

Figura 16. Análise inicial e final de 4 dias



Fonte: (Dos próprios autores, 2023).

Figura 17. Análise inicial e final de 7 dias



Fonte: (Dos próprios autores, 2023).

Deste modo, no teste referente a 1 dia de exposição, o aguapé não apresentou muitas mudanças físicas ao final do processo. Em paralelo, no teste com 7 dias de exposição, a planta demonstrou algumas alterações em sua estrutura, o que indica que o tempo de exposição influencia diretamente no estado físico da macrófita.

Logo, com base na Tabela 6, a seguir, pode-se identificar que houve absorção do cromo presente na solução. Também ocorreu a evaporação e absorção da água nas amostras, fazendo-se necessário uma correção de volume, necessitando, assim, completar, com água mineral, os volumes finais a 1 litro. Esse fato teve efeito na análise da amostra no espectrofotômetro, isso porque, pela correção de volume, foi possível obter absorbância final das soluções referentes a 1L e comparar com a absorbância inicial das amostras:

Tabela 6. Resultados das amostras

AMOSTRA	ABSORBÂNCIA INICIAL	PH INICIAL	ABSORBÂNCIA FINAL	PH FINAL
Amostra de 1 dia	0,274	7,00	0,263	7,00
Amostra de 2 dias	0,255	7,00	0,115	7,00
Amostra de 4 dias	0,259	7,00	0,036	7,00
Amostra de 7 dias	0,276	7,00	0,113	7,00

Fonte: (Dos próprios autores, 2023).

Assim, a partir da equação da reta obtida pela curva de calibração, temos a seguinte relação:

$$y = 0,031x - 0,0109 \quad (1)$$

Em que x é a concentração e y a absorvância, calculou-se a concentração após os períodos finais, obtendo, assim, a seguinte Tabela 7:

Tabela 7. Concentrações de cromo iniciais e finais

AMOSTRA	CONCENTRAÇÃO INICIAL mg/L	CONCENTRAÇÃO FINAL mg/L	QUANTIDADE ABSORVIDA EM %
Amostra de 1 dia	9,19	8,83	3,91
Amostra de 2 dias	8,57	4,06	52,62
Amostra de 4 dias	8,70	1,51	82,64
Amostra de 7 dias	9,25	3,99	56,86

Fonte: (Dos próprios autores, 2023).

Nota-se, portanto, que o teste com 4 dias de exposição apresentou o melhor resultado, diferente do esperado para o teste referente a 7 dias de exposição. Isso pode ter ocorrido pois o meio em que a planta estava inserida é muito danoso ao seu desenvolvimento, fazendo com que a macrófita sofra uma falência precoce.

Em decorrência, com a morte do aguapé, alguns elementos vegetais da própria planta acabam se soltando de seu corpo e se integrando à solução, adicionando-a uma coloração mais escura. Tal cor presente na solução tem influência direta na análise espectrofotométrica, isso pois quanto mais escura é a solução, maior será a concentração fornecida pelo espectrofotômetro. Assim, não é possível afirmar que a amostra com 7 dias de exposição à solução realmente removeu 56,86% de cromo, podendo ter sido removido, portanto, uma concentração maior. Outro fato que pode ter ocorrido é que, com a perda da vitalidade da planta, a eficiência da remoção também diminui.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante a condução deste estudo, cujo propósito foi analisar o potencial fitorremediador do aguapé (*Eichhornia crassipes*) para a remoção de cromo hexavalente, foi constatado que sua utilização demonstra notável aplicabilidade e importância. Em todos os testes realizados (1, 2, 4 e 7 dias), a macrófita absorveu, com eficácia, o metal tóxico, resultando em uma significativa redução na concentração de cromo na água.

Além disso, refletiu-se acerca de algumas considerações sobre a porção de aguapé a ser aplicada no meio natural, podendo esta planta ser conceituada como uma praga se não houver seu cultivo e manejo adequado. Dessa forma, ressalta-se que ao aplicar a macrófita ao ambiente aquático deve-se empregar métodos de controle quanto a sua quantidade no afluente, visando conter a propagação excessiva da planta.

Ademais, é de interesse dos membros, em deixar o presente trabalho em aberto para complementações futuras, na qual irá propor melhorias e novas atualizações do tema apresentado. Sendo assim, situa-se como exemplo de complemento a implementação de testes utilizando a biomassa da macrófita, a fim de analisar se conseguirá adsorver o cromo presente na água; além de transformar em cinzas após sua contaminação, com intenção de ocorrer um descarte adequado e até mesmo utilizar tais resquícios de cinzas para potenciais aplicações na construção civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ABREU, M. A. **Reciclagem de Resíduos de Cromo da indústria do cortume como pigmentos cerâmicos**. 2006. 155 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-16092010-111529/publico/Tese_Miriam_Abreu.pdf>. Acesso em: ago. 2023.

ALVES, E. H. et al. Elaboração da curva de calibração utilizando ácido tânico comercial para determinação de atividade enzimática de tanase. **Sinergia**. São Paulo, v. 21, n. 1, p. 34-38, jan./jun. 2020.

ARFSTEN, D, P; AYLWARD, L, L; KARCH, N, J. **Imunotoxicology of environmental and occupational metals**. Tradução nossa. London: Taylor & Francis, p. 63-92, 1998.

BARBOSA, I. M. V. **O cromo no meio ambiente e tratamentos de efluentes contaminados com metais pesados**. 2017. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/36519/4/CromoMeioAmbiente.pdf>>. Acesso em: jul. 2023.

BATISTA, E. de C. L. **FITORREMEDIAÇÃO**: uma visão do método aplicado a solos contaminados e apresentação de tópicos relevantes da fitoextração. 2012. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Saneamento e Meio Ambiente) - Programa de Pós-graduação em Saneamento e Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ENGD-93RNFV/1/monografia_final_de_curso___fitorremediacao___uma_visao_do_metodo.pdf>. Acesso em: ago. 2023.

BERGAMIN FILHO, et al. **Espectrofotometria no Ultravioleta e Visível**. 20 f. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

BRAGA, C. **Aguapé - Eichhornia crassipes**. Disponível em: <<https://www.floresefolhagens.com.br/aguape-eichhornia-crassipes/>>. Acesso em: 22 de ago. 2023.

CHEIS, D. **Os danos que o Cromo Hexavalente pode causar à saúde**. Revista TAE, Santo André, v. 3, n. 16, n.p., dez./jan. 2013. Disponível em: <<https://www.revistatae.com.br/Artigo/538/os-danos-que-o-cromo-hexavalente-pode-causar-a-saude>>. Acesso em: 29 de ago. 2023.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Crômio e seus compostos**. São Paulo, 2012. 3 p. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Cromio.pdf>>. Acesso: 29 de ago. 2023.

CONAMA. Resolução CONAMA 430°, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.** Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>>. Acesso em: 03 de maio. 2023.

COUTINHO, Pablo Wenderson Ribeiro; CADORIN, Danielle Acco, NORETO, Lorena Maia; GONÇALVES JR., Affonso Celso. **ALTERNATIVAS DE REMEDIAÇÃO E DESCONTAMINAÇÃO DE SOLOS: BIORREMEDIAÇÃO E FITORREMEDIAÇÃO.** Nucleus, v.12, n.1, p. 1-10, abr. 2015. Disponível em: <<https://www.nucleus.feituverava.com.br/index.php/nucleus/article/view/1400#:~:text=A%20fitorremedia%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A9%20um%20m%C3%A9todo,%2C%20fitotransforma%C3%A7%C3%A3o%2C%20fitoestimula%C3%A7%C3%A3o%20e%20fitoestabiliza%C3%A7%C3%A3o.>> Acesso em: 13 de setembro de 2023.

Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama N°357.** Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf>. Acesso em: 09 de ago. 2023.

COSTA, C. G. A. G. **Avaliação da remoção de cromo hexavalente a partir de adsorventes à base de quitosana e celulose bacteriana e seus efeitos na biota aquática.** 2018. 161 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-27052020-123257/pt-br.php>>. Acesso em: jul. 2023.

Curva de calibração. Disponível em: <<https://www.manutencaoesuprimentos.com.br/curva-de-calibracao/>>. Acesso em: nov. 2023.

DINIZ, L. **Intoxicação do Metal Pesado.** Disponível em: <<https://dralarissadiniz.com.br/intoxicacao-do-metal-pesado/#:~:text=Os%20malefícios%20da%20contaminação%20podem,causar%20câncer%20a%20longo%20prazo.>>. Acesso em: 05 de ago de 2023.

DUFFUS, J. H. **Heavy metals - A meaningless term?** Pure and Applied Chemistry. Tradução nossa. v. 74, n. 5, p. 793-807, 2002. Disponível em: <<https://publications.iupac.org/pac/2002/pdf/7405x0793.pdf>> Acesso em: 02 de ago. 2023.

FERREIRA, A. D. Q. O impacto do crômio nos sistemas biológicos. **Rev. Quim. Nova**, São Carlos, V. 25, n. 4, p. 572-578, nov/dez. 2002. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/bdbm9VytYxB9gzTF3hS9BR/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: ago. 2023.

FREITAS, T. C. M. **O cromo na indústria de curtumes de Mato Grosso do Sul, Brasil:** Aspectos ecológicos. 2006. 120 f. Tese (Doutorado em Ciências da Saúde) – Rede Centro-Oeste, convênio Universidade de Brasília, Universidade Federal de

Goiás e Universidade de Mato Grosso de Sul. Campo Grande, 2006. Disponível em: < <https://core.ac.uk/download/pdf/33532577.pdf>>. Acesso em: ago. 2023.

GIANNETTI, B.F. **Nosso cromo de cada dia: benefícios e riscos**. Revista de Graduação da Engenharia Química, ANO IV N°8, São Paulo, Brasil, 2001.

GOMES, M. R.; ROGERO, M. M.; TIRAPÉGUI, J. Considerações sobre cromo, insulina e exercício físico. **Rev. Bras. Med. Esporte**, São Paulo, V. 11, n. 5, p. 262 – 266, set/out. 2005. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/rbme/a/6kWrLdbpKbJp334gRhnHpvb/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: ago. 2023.

HARRIS, D. C. **Análise Química Quantitativa**. 8. Ed. Rio de Janeiro: LTD Editora, 17 de fev. 2012. 920.

HELENE, L. P. I. **Diagnóstico ambiental de solo contaminado por cromo de curtume em Motuca (SP) por métodos geofísicos**. 2016. 74 f. Dissertação de mestrado em Geociências e Meio Ambiente - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/139516/helene_lpi_me_rcla.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: jul. 2023.

JAISHANKAR, M; TSETEN, T; ANBALAGAN, N; MATHEW, B. B; BEEREGOWDA, K. N. **Toxicity, mechanism, and health effects of some heavy metals**. Tradução nossa. Interdiscip Toxicol, Karnataka, Índia, Vol. 7(2): 60–72, 26 jun. 2014. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4427717/>>. Acesso em: 29 de abril. 2023.

KNUST, M. S. **Remoção de metais pesados por processos de bioflotação e biossorção**. Disponível em: <https://www.puc-rio.br/ensinopesq/ccpg/pibic/relatorio_resumo2008/relatorios/ctc/dcm7/dcm7.pdf>. Acesso em: 05 de ago. 2023.

LIMA, V. F.; MERÇON, F. **Conceito a Química em Destaque**. Metais Pesados no Ensino da Química. Química Nova na Escola, v. 33, n. 4, p. 199 – 205, nov. 2011. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/baccan/files/2012/11/199-CCD-7510.pdf>>. Acesso em: 26 de abril. 2023.

LOSCHIAVO, R. **Quais espécies de plantas conseguem filtrar a água?** Disponível em: <<http://www.ecoeficientes.com.br/quais-especies-de-plantas-conseguem-filtrar-a-agua/>>. Acesso em: 29 de julho. 2023.

LOZI, A. A. **Toxicidade comparada dos metais pesados, arsênio, cádmio, chumbo, cromo e níquel, sobre parâmetros reprodutivos de camundongos machos adultos após exposição aguda**. 2019. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2019. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/25645/1/texto%20completo.pdf>>. Acesso em: 29 de abril. 2023.

LUME, 2012. Disponível em:
<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/64186/Resumo_23520.pdf?sequence=1>. Acesso em 29 de ago. 2023.

MANZINI, F. F.; SÁ, K. B. D.; PLICAS, L. M. D. A. **Metais pesados: fonte e ação toxicológica**, Fórum Ambiental da Alta Paulista, São José do Rio Preto, v.6, n. 12, p. 800 – 815, 2010. Disponível em:<
<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/122484/ISSN1980-0827-2010-6-12-800-815.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 16 de ago. 2023.

MARQUES, M. C. H. **Typha domingensis Pers. (Typhaceae): do artesanato à fitorremediação de ambientes aquáticos continentais eutrofizados**. 2015. 86 f. Dissertação (mestrado) – UFRJ/ NUPEM/ Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Conservação, 2015. Disponível em:
<https://ppgciac.macaue.ufrj.br/images/Disserta%C3%A7%C3%B5es/Mariana_Cristina_Huguet_Marques.pdf>. Acesso em: 17 de maio. 2023.

MARTIN, Neiva. **ESTUDO DA REDUÇÃO DE Cr(VI) USANDO ESPÉCIES DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS VIVAS PELA TÉCNICA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X DE ALTA RESOLUÇÃO**. 2008. 122 f. Pós-Graduação (Engenharia Química) — Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.

MARTINS, P. E. **Decreto Nº 8.468, de 08 de setembro de 1976**. Disponível em:<<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-8468-08.09.1976.html>>. Acesso em: 16 de ago. 2023.

MONTEIRO, D. et al; **Fitorremediação: o estado da arte**. Ed.39. Rio de Janeiro: CETEM – Centro de Tecnologia Mineral, 2006. 49 p. Disponível em:
<<http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/330/1/sta-39.pdf>>. Acesso em: 16 de ago. 2023.

MOREIRA, P. A.; BUENO, S. M. **Presença de cromo hexavalente na água potável**. Disponível em: <<https://revistas.unilago.edu.br/index.php/revista-medicina/article/view/140>>. Acesso em: ago. 2023.

PEREIRA, A. R. **Espécies de plantas nativas brasileiras com potencial de fitorremediação de metais: uma revisão de literatura 2022**. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. Disponível em:
<<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/36078>>. Acesso em: 16 ago. 2023.

PEREIRA, F. J. Características anatômicas e fisiológicas de aguapé e índice de fitorremediação de alface d'água cultivados na presença de arsênio, cádmio e chumbo. 2010. 116 pág. Tese (Doutorado em Agronomia/Fisiologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010. Disponível em:
<http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/1593/1/TESE_Caracter%C3%ADsticas%20anat%C3%B4micas%20e%20fisiol%C3%B3gicas%20de%20aguap%C3%A9%20e%20%C3%ADndice%20de%20fitorremedia%C3%A7%C3%A3o%20de%20alface%20d%C>

2%B4%C3%A1gua%20cultivados%20na%20presen%C3%A7a%20de%20ars%C3%AAnio,%20c%C3%A1dmio%20e%20chumbo.pdf>. Acesso em 22 de ago. 2023.

PIMENTEL, M. A. S. **Controle da dosagem de metabissulfito de sódio em efluentes contendo cromo hexavalente**. 2003. 117 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <<https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/4782>>. Acesso em: jul. 2023.
Política Nacional de Recursos Hídrico (PNRH). **Lei N°9.433**. Brasília, 1997. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em 16 de ago. 2023.

POLLNOW, E. N. A Aplicação de Revestimentos de Cromo Duro e os Riscos à Saúde e ao Meio Ambiente. Disponível em: <<https://rijeza.com.br/wp-content/uploads/2020/08/aplicacao-revestimentos-cromo-duro-riscos-saude-meio-ambiente.pdf>>. Acesso em: ago. 2023.

REIS, A. B. E. D.; FERNANDES, B. L.; ALVES, N. **Fitorremediação de solos contaminados**. Disponível em: <https://www.ufjf.br/baccan/files/2012/11/Semin%C3%A1rio-Fitorremedia%C3%A7%C3%A3o-de-solos_2S2015.pdf>. Acesso em: 23 ago 2023.

RIBEIRO, A. C. C.; CARVALHO, K. O.; RIBEIRO, K. T. **Redução da concentração de cromo hexavalente a partir da produção de carvão ativado do bagaço de cana-de-açúcar**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Química Integrado ao Ensino Médio, Escola Prof. Armando José Farinazzo, Fernandópolis, 2019.

ROMERO, N.; Fitorremediação: Descubra o que é e Os 6 Principais Tipos. 2022. Disponível em: <<https://pergunteoagronomo.com.br/fitorremediacao/>>. Acesso em: 13 de setembro de 2023.

SALATI, Eneas; SALATI FILHO, Eneas; SALATI, Eneida; **UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE WETLANDS CONSTRUÍDAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS**. 2009. 23 f. Instituto Terramax, Piracicaba, 2009. Disponível em:<<http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/pactodasaguas/2011/12/sistema-wetlands.pdf>>. Acesso em: set 2023.

SCHLLEMER, M. A. **Precipitação química e encapsulamento no tratamento e destinação de resíduos líquidos contendo cromo**. 2011. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Comissão de Diplomação, Universidade Tecnologia Federal do Paraná, Pato Branco, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/15415>>. Acesso em: jul. 2023.

SILVA, C. S; PEDROZO, M. F. M; **Ecotoxicologia do cromo e seus derivados**. 5. Ed. Salvador: Centro de Recursos Ambientais – CRA, 2001. 100 p. Disponível em: <<https://10210293789857432184.googlegroups.com/attach/29387117634fb8e9/cromo.pdf?part=0.1&vt=ANaJVrH-DxxG6M9bscWDvKgzxBQPw7etG6PcVV0e8oYb1cscKtFSVPLIXEoiilw0k4ZNXVbj2>>

HJNba_VqTTIhJ5VualGJaMKOya7y-DyZuBpuS7HA1wtTgg>. Acesso em: 16 de jul. 2023.

SILVA, R. P. da. **Remoção de metais pesados em efluentes sintéticos utilizando vermiculita como adsorvente**. 2010. 101. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/12767/1/RemocaoMetaisPesados_Silva_2010.pdf>. Acesso em: 16 de ago. 2023.

SILVA, T. J. et al. Fitorremediação de Solos Contaminados com Metais: Panorama Atual e Perspectivas de uso de Espécies Florestais. **Rev. Virtual de Quim.** São Paulo, v. 11, n.1, p. 18 – 34, fev. 2019. Disponível em: <<https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v11n1a03.pdf>>. Acesso em: jul. 2023.

SOLUFIL. **Contaminação X Poluição: Qual a diferença?** Disponível em: <<https://www.solufil.com.br/post/contamina%C3%A7%C3%A3o-x-polui%C3%A7%C3%A3o-qual-a-diferen%C3%A7a>>. Acesso em: 29 de ago. 2023.

SKOOG, D. A. et al. **Fundamentos da Química Analítica**. 8. Ed. Estados Unidos: CENGAGE Learning, 2005. 1104.

SOUZA, A. K. R.; MORASSUTI; C. Y.; DEUS, W. B. D. **Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores**. Acta biomedicina Brasiliensia, Mato Grosso do Sul, v. 9, n. 3, p. 95 – 106, 2018. Disponível em: <<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjjrb3Zu8iAAxXWspUCHW8LD-kQFnoECCwQAw&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F6789234.pdf&usg=AOvVaw1mUVNAnJWntE68VI2e2psk&opi=89978449>>. Acesso em: 05 de ago. 2023.

SOUZA, Sami. **Esquema representando os diferentes processos de fitorremediação**. Disponível em: <<https://canal.cecierj.edu.br/recurso/9470>>. Acesso em: nov. 2023

SPÓSITO, T. H. N. **MATÉRIA SECA E ACÚMULO DE NUTRIENTES NO AGUAPÉ UTILIZADO PARA FITORREMEDIAÇÃO EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA**. 2018. 79. Tese (Pós-Graduação em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/180866/sposito_thn_dr_ilha.pdf;jsessionid=2F6588221DD7CF86DC0E5B30124C84E2?sequence=3>. Acesso em: 23 de ago. 2023.

TAVARES, S. R. D. L. **Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos**. 2009. 371 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (Coppe), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/578247/1/TeseSilvioCompleta.pdf>
>. Acesso em: jul. 2023.

TOLEDO, T. V.; BELLATO, C. R.; PESSOA, K. D.; FONTE, M. P. F. **Remoção de cromo (vi) de soluções aquosas utilizando o compósito magnético calcinado hidrotalcita-óxido de ferro**: estudo cinético e de equilíbrio termodinâmico. Química Nova, Vol. 36, N° 3, p. 419 – 425 jan. 2013. Disponível em:
<<https://www.scielo.br/j/qn/a/sKvFp4N6P7Pd59BBhByzV5M/?lang=pt&format=pdf>>
Acesso em: 09 de maio. 2023.

VALENTE, G. D. F. S. **Avaliação de Eletrocoagulação no tratamento de efluente líquido da indústria de Laticínios**. 2012. 117 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos; Tecnologia de Alimentos; Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012. Disponível em:
<<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/468/1/texto%20completo.pdf>>.
Acesso em: 30 de abril. 2023.

VASCONCELOS, M. C.; PAGLIUSO, D.; SOTOMAIOR, V. S. **Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo** - Estud. Biol., Ambiente Divers. 2012 jul./dez. Acesso em: 23 ago. 2023.

VASCONCELLOS, Maria Cristina; PAGLIUSO, Débora; SOTOMAIOR, Vanessa Santos. **Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo**. Estud. Biol., Ambiente Divers. v. 34(83), p. 261-267, jul./dez. 2012. Disponível em:
<<https://biblat.unam.mx/hevila/Estudosdebiologia/2012/vol34/no83/16.pdf>>. Acesso em: 13 de setembro de 2023.