

ANÁLISE DOS PARÂMETROS TEMPO DE CONTATO E PH NO PROCESSO DE BIORSORÇÃO DE CR (III) UTILIZANDO A BIOMASSA DA *HYMENACHNE GRUMOSA*

Marcela da Silva Afonso (*), Carolina Faccio Demarco, Thays França Afonso, Ana Luiza Bertani Dall Agnol, Robson Andreazza

* Universidade Federal de Pelotas, marcelamafonso@yahoo.com.br

RESUMO

O crescimento exponencial da população, juntamente com a industrialização descontrolada, tem ocasionado um aumento da poluição de ambientes aquáticos. Os metais pesados são frequentemente lançados em corpos hídricos pelo lançamento de efluentes industriais, escoamento superficial de áreas agrícolas e urbanas ou mineração. Dentre os metais pesados, o cromo (III) é considerado um metal essencial para o metabolismo, porém, em altas quantidades pode ser tóxico e cancerígeno. Para a retirada do Cr (III) no meio ambiente, podem ser utilizados métodos físicos, químicos ou biológicos. Porém, os métodos físico-químicos muitas vezes possuem altos custos, dificuldade de remoção de traços de Cr ou produzem muitos resíduos. Portanto, a biossorção surge como uma alternativa mais sustentável para a remoção de Cr (III) de ambientes aquáticos. A biossorção pode ser definida como um mecanismo que utiliza propriedades de certas biomassas mortas e inativas para reter os poluentes por diversos mecanismos. Dentre os fatores que afetam a eficiência do processo de biossorção, temos o tempo de contato e o pH. Para o processo de biossorção, são utilizados um biosorbente (biomassa) que tem a função de remover o biosorbato (metal) de uma solução. Dentre os biossorbentes mais eficientes, destacam-se as macrófitas aquáticas. A macrófita aquática *H. Grumosa* foi escolhida devido a sua alta disponibilidade local, seu fácil crescimento e reprodução. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a faixa de pH e o tempo de contato ideal para uma biossorção mais eficiente de Cr (III). Para a realização do experimento, foram feitas curvas de biossorção, apresentando a concentração de cromo (III) adsorvida pela biomassa ao longo do tempo. Foram calculadas as porcentagens e as capacidades de adsorção nos pHs 4, 5, 6, e 7 e foram encontrados tempos ideais de 10, 30, 5 e 5 min, respectivamente. O pH 6 obteve maiores capacidades de adsorção de cromo, no valor de 87,35 mg.g⁻¹, com o tempo ideal de 5min de incubação.

PALAVRAS-CHAVE: : Biossorção, Cr (III), pH, Tempo de contato, Macrófita aquática.

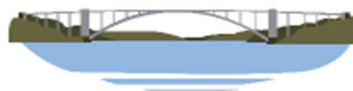
ABSTRACT

The exponential growth of the population, along with uncontrolled industrialization, has led to increased pollution of aquatic environments. Heavy metals are often released into water bodies by the release of industrial effluents, runoff from agricultural and urban areas, or mining. Among heavy metals, chromium (III) is considered an essential metal for metabolism, but in high amounts it can be toxic and carcinogenic. For the removal of Cr (III) from the environment, physical, chemical or biological methods may be used. However, physicochemical methods often have high costs, difficulty in removing traces of Cr or produce a lot of waste. Therefore, biosorption appears as a more sustainable alternative for the removal of Cr (III) from aquatic environments. Biosorption can be defined as a mechanism that uses properties of certain dead and inactive biomasses to retain pollutants by various mechanisms. Among the factors that affect the efficiency of the biosorption process, we have contact time and pH. For the biosorption process, a biosorbent (biomass) is used which has the function of removing the biosorbate (metal) from a solution. Among the most efficient biosorbents are aquatic macrophytes. The aquatic macrophyte *H. grumosa* was chosen because of its high local availability, its easy growth and reproduction. Therefore, the objective of this work was to evaluate the ideal pH and the contact time for a more effective biosorption of chromium (III) from aquatic environment. For the experiment, biosorption curves were performed, presenting the concentration of chromium (III) adsorbed by the biomass over time. Percentages and adsorption capacities were calculated at pHs 4, 5, 6, and 7 and ideal times of 10, 30, 5 and 5 min were found, respectively. The pH 6 obtained higher chromium adsorption capacities, 87.35 mg.g⁻¹, with the ideal time of 5 min of incubation.

KEY WORDS: Biosorption, Cr (III), pH, contact time, Aquatic macrophytes.

INTRODUÇÃO

A contaminação por metais pesados em ambientes aquáticos é um dos elementos mais ameaçadores que existem atualmente, pois além de interferirem no equilíbrio do ecossistema aquático, podem bioacumular nos organismos vivos, afetando as suas atividades biológicas. Estes metais são lançados principalmente através do escoamento superficial de áreas agrícolas e urbanas, mineração ou pelo descarte inadequado de efluentes domésticos ou industriais.



Muitos metais pesados (chumbo, mercúrio, níquel, arsênio, cromo, zinco, cobre, cádmio, cobalto, antimônio, etc.) em suas formas elementares ou em várias combinações químicas são considerados tóxicos (WANG; CHEN, 2006). Além disso, são poluentes não degradáveis, têm grande tendência a bioacumular (WANG; CHEN, 2006), alguns são carcinogênicos ou possuem efeitos mutagênicos para humanos e podem afetar seriamente os organismos vivos.

O cromo (Cr) é um metal pesado que pode ser encontrado nas formas trivalente Cr(III) e hexavalente Cr(VI) no ambiente, sendo considerado um metal essencial (quando trivalente); porém, em altas concentrações, pode ser prejudicial às atividades biológicas (COSTA et al., 2017). Os compostos de cromo podem ser utilizados na produção de aço, preservação de madeira, curtimento de couro, inibição de corrosão metálica, tintas e pigmentos, etc. (RAPOPORT; MUTER, 1995).

Métodos convencionais aplicados para remoção de cromo de soluções aquosas incluem: adsorção, coagulação, oxidação, precipitação, ozonização, ultrafiltração e osmose reversa (BABEL; KURNIAWAN, 2004). No entanto, devido aos seus altos custos, dificuldade de remoção de traços de cromo ou produção de lodo químico de esgoto, muitos esforços foram feitos recentemente para desenvolver tecnologias mais sustentáveis e mais baratas. Entre eles, um dos mais promissores é a biossorção.

A biossorção pode ser definida como a propriedade exibida por substâncias inativas, não vivas, de origem biológica, de se ligar e acumular íons metálicos em uma solução aquosa (AKSU, 2005). Este processo envolve uma fase sólida (biossorvente) e um líquido fase (solvente: normalmente água) contendo a espécie dissolvida ou suspensa a ser sorvida (sorbato) (FOMINA; GADD, 2014).

Vários fatores físico-químicos podem influenciar na eficiência do processo de biossorção, entre eles o tempo que o biossorvente permanece em contato com o metal e o pH da solução em que ocorre o processo. Segundo Hlihor (2017), a capacidade de biossorção e a eficiência de remoção de íons metálicos por diferentes tipos de biomassa podem aumentar com o prolongamento do tempo de contato, mas não em todos os casos.

Os estudos de tempo de contato podem ajudar a estabelecer a duração da aparente obtenção de equilíbrio: o tempo além do qual nenhum poluente significativo é adsorvido sobre a superfície do biossorvente. Entretanto, na prática, é necessário avaliar o tempo de contato, considerando a eficiência de desorção e regeneração da biomassa (HLIHOR, 2017).

Segundo Fomina e Gadd (2014), um dos parâmetros mais importantes na biossorção inclui o pH da solução, pois pode afetar a especiação química dos poluentes na solução, o estado químico dos grupos funcionais presentes nos biossorventes e a competição com íons coexistentes em solução (VIJAYARAGHAVAN ;YUN, 2008).

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi identificar a faixa de pH e tempo necessário para uma maior biossorção de Cr (III) pela biomassa de *Hymenachne grumosa*.

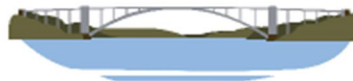
METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Química Ambiental (LQA) e Tratamento de Efluentes do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Pelotas e também no Laboratório de Análises Químicas do Curso de Agronomia, da Universidade Federal de Pelotas, durante o segundo semestre de 2018. O trabalho pertence a um projeto de pesquisa que visa a Fitorremediação de Ambientes Aquáticos contaminados por Atividades Antrópicas no município de Pelotas/RS.

Delineamento Experimental

A coleta da macrófita foi realizada no Arroio Santa Bárbara, nas coordenadas 31° 45' 43" de Latitude Sul e 52° 21' 00" de longitude Oeste, no dia 11 de setembro de 2018. A identificação da *Hymenachne grumosa*, da família Poaceae, foi realizada pelo Departamento de Botânica do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Pelotas.

Após a coleta, as macrófitas foram armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados e então encaminhados até o laboratório (LQA). A parte aérea e a raiz das plantas foram lavadas com água da torneira e em seguida lavadas com



água destilada a fim de remover os sedimentos associados a biomassa. Após a lavagem a parte área foi separada da raiz por meio de um corte axial. Apenas a parte área foi utilizada neste experimento.

Ambas as partes foram secas em estufa de secagem (Quimis) à 65°C por 48h ou até atingirem o peso constante. Após o processo de secagem da biomassa, estas foram moídas através de um moinho de facas tipo Wiley e armazenadas em recipientes de vidro hermeticamente fechados e identificados por tipo de biomassa (raiz ou parte aérea). A biomassa seca referente à parte aérea foi peneirada até atingir a granulometria desejada (tamanho da partícula <1 mm).

Os testes de adsorção foram conduzidos em quintuplicatas, em agitadores magnéticos na temperatura ambiente (20°C). A curva inicial de adsorção foi conduzida em condições de pH 7, durante 12h de incubação. Após, foram realizados experimentos em diferentes pH's: 4, 5, 6, e 7, durante o tempo de 5h de incubação. O pH foi medido no início e no final dos experimentos. As soluções de cromo (III), com concentração de 100 mg.L⁻¹, foram colocadas em béqueres de 2L, contendo 2L de solução, para posterior agitação à 200 rpm. Em cada béquer contendo a solução de 100 mg.L⁻¹, foi adicionado 1g da biomassa previamente seca.

Para o experimento da curva inicial, foram retiradas alíquotas de 3mL da solução a cada 1h, começando no tempo zero. Já para as curvas em diferentes pHs, foram retiradas alíquotas de 3mL nos tempos: 0, 5, 10, 15, 30 (min), 1, 2, 3, 4, 5 (h), começando no tempo zero (sem biomassa). As alíquotas foram submetidas a centrifugação para remoção da biomassa residual e posteriormente diluídas em 10% para a análise no espectrômetro de absorção atômica (AAS), onde foi determinado a concentração de cromo (III) na solução.

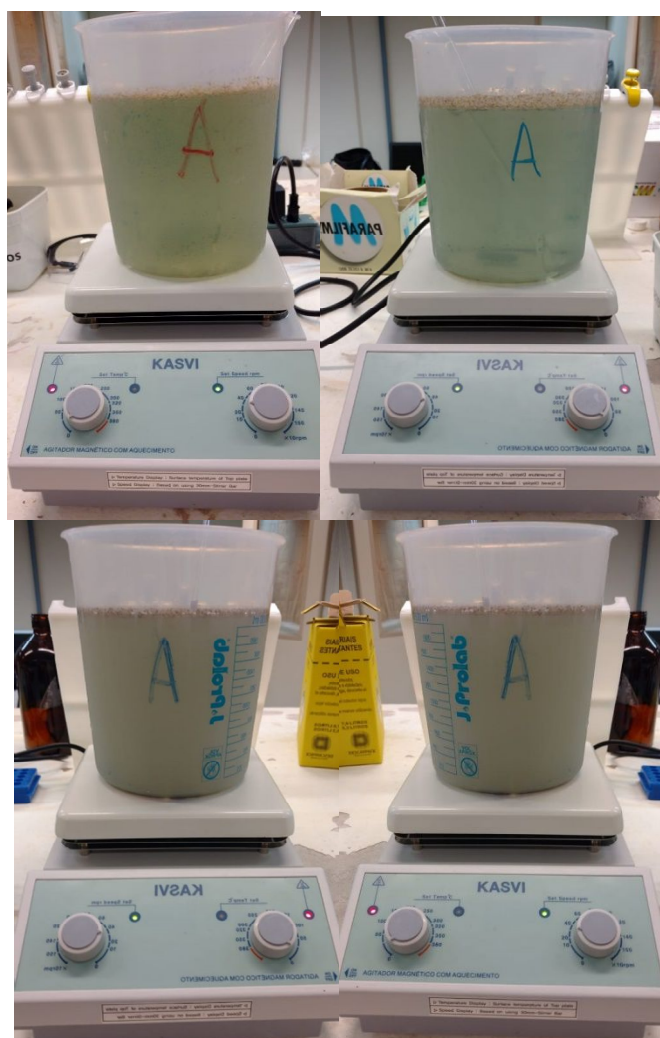
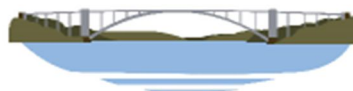


Figura 1: Teste de bioadsorção com pH 4 (a), 5 (b), 6 (c) e 7 (d) durante 5h de incubação. Fonte: Autor do trabalho.



Cálculo da capacidade de adsorção de cromo (III)

A quantidade de cromo adsorvido, em qualquer momento sobre o biosorvente (q , miligramas por grama), representa a capacidade total de biossorção de cromo, que foi calculada de acordo com a seguinte relação de balanço de massa:

$$q = \frac{C_0 - C_e}{m} \times V \quad \text{equação (1)}$$

Em que:

q = quantidade de soluto adsorvido por grama de adsorvente (mg.g^{-1});

C_0 = concentração inicial da solução (mg.L^{-1});

C_e = concentração da solução no equilíbrio (mg.L^{-1});

V = volume da solução (L);

m = massa do adsorvente (g);

Análise Estatística

O delineamento experimental neste estudo foi inteiramente casualizado e os resultados foram tratados mediante o módulo de Análise de Variância (ANOVA) do programa Statistica 7.0 através do teste de diferença de médias (Tukey).

RESULTADOS

Em primeiro momento, foram realizados testes de biossorção de Cr (III) utilizando o pH 7, durante 12 horas de incubação, como mostra a figura 2 abaixo.

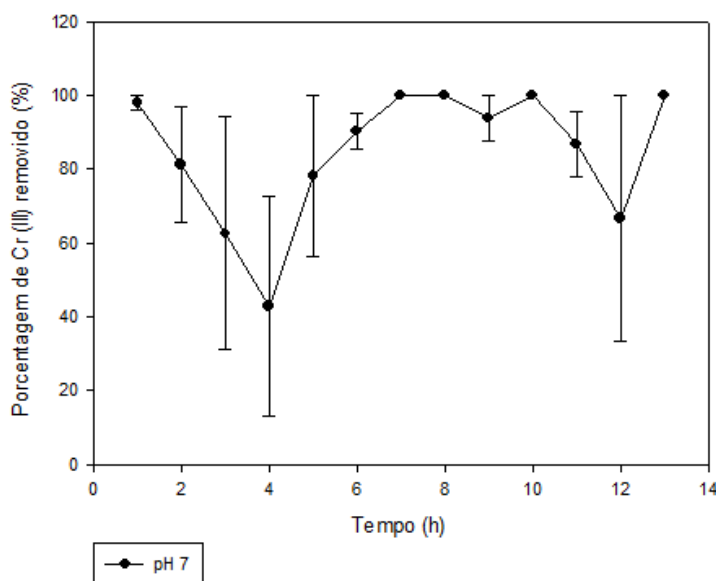
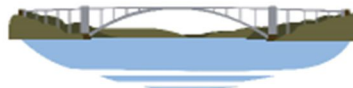


Figura 2: Relação entre a porcentagem de cromo (III) removido, em pH 7, durante o tempo de 12h. Fonte: Autor do trabalho.

Considerando a figura 2 acima, a capacidade de biossorção foi elevada, de modo que existem determinados tempos em que ocorre a total biossorção do metal pela biomassa. Porém, nem todo o cromo (III) pode ser considerado adsorvido, pois em pH acima de 5,5 ocorre também a precipitação do metal como Cr(OH)_3 (KYZIOL-KOMOSIŃSKA et al., 2018).

Portanto, estudos serão realizados para confirmar a porcentagem de cromo (III) realmente adsorvida pela biomassa. Essa quantificação poderia ser feita a partir da comparação entre as concentrações presentes na biomassa antes e depois do teste de biossorção, a partir da digestão em ácido nítrico e perclórico e posterior leitura em Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente.



Também podemos analisar na figura 2 que entre os tempos 0 e 4h, ocorre uma alta adsorção do metal pela biomassa. Logo após, há uma diminuição, mostrando um comportamento de bioadsorção-dessorção. Conforme Hlihor (2017), o processo de dessorção (a liberação do contaminante) é o resultado da colaboração entre os fatores físico-químicos, reações ou propriedades de superfície do sorvente e fatores biológicos.

Devido à rápida adsorção nas primeiras horas de experimento, é necessário a realização de outro teste de bioadsorção para descobrir se há uma máxima bioadsorção entre o intervalo de 0 à 4h, não considerado no experimento em questão. Portanto, foi utilizado o tempo de incubação de 5h para os experimentos seguintes.

Para verificar o comportamento do potencial de bioadsorção entre os diferentes pHs, o teste foi realizado durante 5 horas de incubação, em pHs 4, 5, 6 e 7, como mostra a figura 3 abaixo.

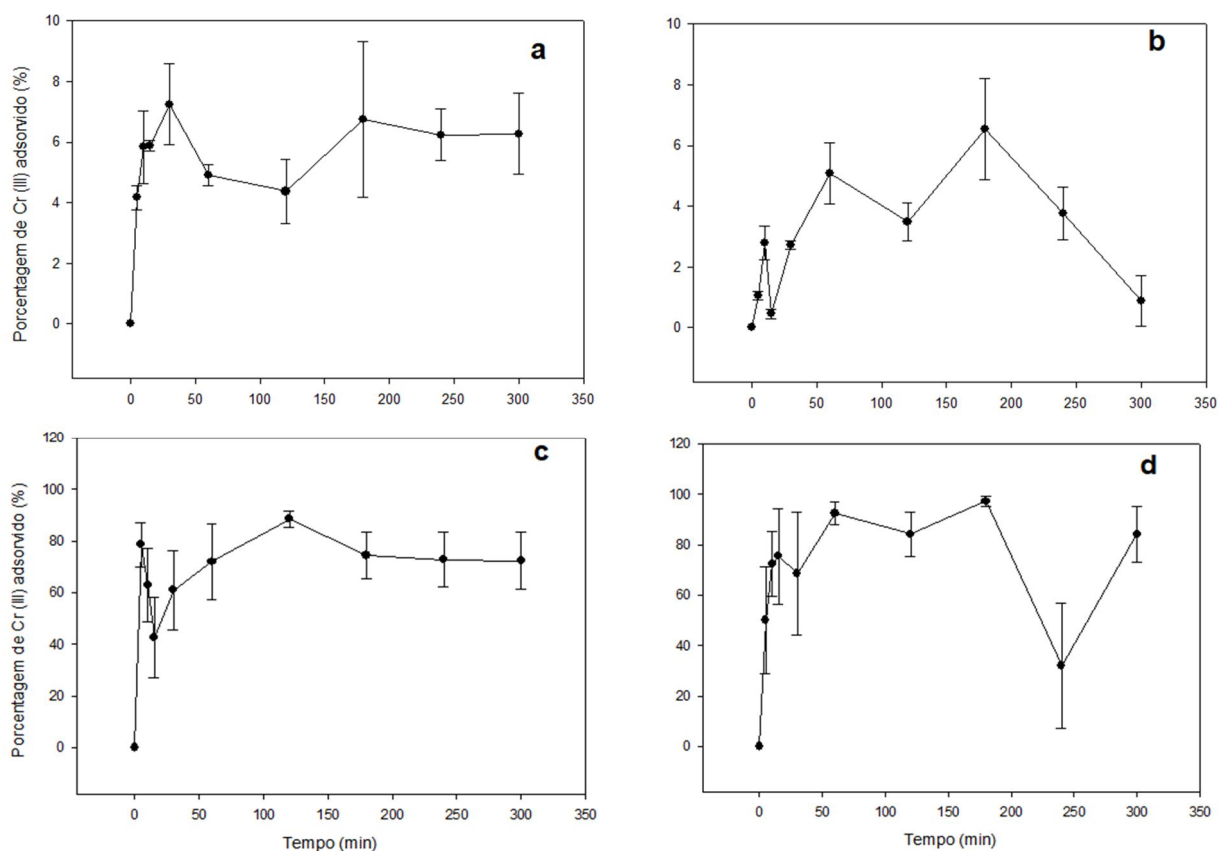
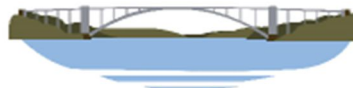


Figura 3: Relação entre a porcentagem de Cr (III) adsorvida, em pH 4 (a), 5 (b), 6 (c) e 7 (d), durante o tempo de incubação de 300min (5h). Fonte: Autor do trabalho.

Em pH 7, a porcentagem adsorvida de cromo foi elevada, atingindo seu valor máximo de 70,38% no tempo de 10 minutos (Figura 3). Porém, considerando que no tempo zero não havia biomassa e a concentração de Cr (III) na solução foi $16,56 \text{ mg.L}^{-1}$ neste tempo, podemos dizer que grande parte do Cr (III) já estava precipitada quando o experimento começou. Entretanto, mesmo assim, houve uma diferença significativa na concentração de cromo (III) na solução entre o tempo zero e o tempos posteriores, o que nos leva a considerar que a biomassa pode ter sido eficiente para remover o Cr (III) restante na solução.

Com relação ao tempo de experimento, podemos ver que entre o intervalo de 0 e 1h há um pico inicial de bioadsorção, que não foi possível perceber na curva de bioadsorção inicial. Com isso, podemos dizer que o tempo máximo ideal de bioadsorção em pH 7 ocorreu em 10min, como apresentado na figura 3. Após esse tempo, nenhum poluente significativo é adsorvido sobre a superfície do bioadsorvente, e portanto, considera-se desnecessária a continuação do experimento.



O pH 6 se mostrou semelhante ao pH 7, e isso pode ser explicado pois a partir do pH 5,5 o Cr (III) se encontra parcialmente precipitado, o que pode diminuir a concentração de Cr (III) na solução durante o experimento. Em pH 6, apresentado na figura 3, a porcentagem máxima de Cr (III) adsorvido foi de 79,58%, no tempo de 5 min de incubação. No tempo zero, a concentração de Cr (III) na solução foi de 69,86 mg.L⁻¹, mostrando que o Cr (III) já estava precipitado quando o experimento começou. Mesmo assim, neste experimento, foi removido uma grande concentração de cromo durante o experimento.

A porcentagem de adsorção em pH 4, foi bem menor do que a encontrada em pH 6 e 7. Isso pode ter ocorrido porque em pHs maiores que 5,5, o Cr (III) ainda está precipitando, o que faz com que a concentração de Cr (III) diminua na solução. Portanto, em pH 4, a maior porcentagem de Cr (III) adsorvido foi de 3,43%, durante o tempo de incubação de 30 min, como mostra a figura 3.

Já em pH 5, foi obtida uma porcentagem de adsorção máxima de 3,5%, no tempo de incubação de 5min. Podemos analisar que a porcentagem de adsorção neste pH é ligeiramente maior que em pH 4, que obteve um valor de 3,43%. Porém, o valor encontrado também está muito abaixo aos valores em pHs 6 e 7.

Karaoğlu et al. (2010), em sua pesquisa sobre a biossorção do Cr (III) utilizando resíduos de poda de vinhedos, detectou um pH ótimo para o experimento de 4,2 e conseguiu remoções da ordem de 93% de cromo (III) da solução. O valor encontrado neste estudo em pH 4 se mostrou muito inferior ao encontrado por Karaoğlu. O mesmo trabalho demonstrou, com estudos cinéticos, que o equilíbrio na adsorção de íons Cr (III) foi atingido em 30 min de contato entre a biomassa e a solução, tempo semelhante ao encontrado na pesquisa realizada.

Após, foi utilizada a Equação (1) para calcular a quantidade de soluto adsorvido por grama de adsorvente (mg.g⁻¹) e se obteve os seguintes valores para cada pH, apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Quantidade de soluto adsorvido por grama de adsorvente conforme a mudança do pH. Fonte: Autor do trabalho.

pH	Quantidade de soluto adsorvido por grama de adsorvente (mg.g ⁻¹)
4	4,39 ± 1,91 c
5	2,63 ± 2,44 c
6	87,35 ± 34,19 a
7	15,35 ± 9,22 bc
7*	28,02 ± 7,51 b

*pH 7 em relação ao tempo de 12h.

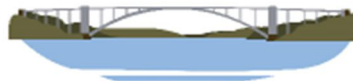
Médias seguidas da mesma letra dentro da coluna, para cada variável não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05% de probabilidade de erro.

Podemos perceber pela tabela 1 acima, que a melhor capacidade de adsorção de cromo (III) foi encontrada em pH 6, no valor de 87,35 mg.g⁻¹. A análise estatística também mostra que o valor em pH 6, diferiu dos outros resultados, se mostrando o mais eficiente. Já em pH 7, no tempo de 5h, essa capacidade foi mais reduzida, no valor de 15,35 mg.g⁻¹. Conforme a análise estatística, a capacidade de adsorção em pH 7, durante 5h de incubação, só diferiu significativamente do pH 6.

A capacidade de adsorção em pH7 em 12h foi de 28,02 mg.g⁻¹, semelhante ao encontrado durante 5h, não diferindo estatisticamente do mesmo. Em pH 4 e 5, os valores foram menores, totalizando 4,39 mg.g⁻¹ e 2,63 mg.g⁻¹, respectivamente. Segundo a análise estatística, os valores diferiram dos valores em pH 6 e pH 7, durante 12h de incubação. Isso mostra que, conforme os resultados anteriormente citados de porcentagem de adsorção, que o pH 6 foi o mais eficiente, apresentando uma maior capacidade de adsorção, por grama de adsorvente.

Na pesquisa realizada por Netzahuatl-Muñoz et al. (2012), a maior capacidade de biossorção de Cr (III) foi de 56 mg.g⁻¹, e foi obtida em pH 5,0 após 168 h de experimento.

Segundo a autora Netzahuatl-Muñoz et al. (2012), em pH baixos, há menor remoção do Cr (III) a solução devido a repulsão eletrostática entre as cargas positivas dos grupos funcionais presentes na superfície do material biológico e as espécies catiônicas Cr⁺³. Porém, quando o pH sobe, a superfície da biomassa adquire um caráter aniônico, o que favorece



a ligação dos cátions Cr^{+3} , fazendo com que a biossorção aumente (NETZAHUATL-MUÑOZ et al., 2012). Este pode ser uma das razões pela qual os valores de capacidade de adsorção de Cr (III) em pH 4 e 5 não foram muito elevados.

Na pesquisa de Karaoğlu et al. (2010), a adsorção do Cr (III) aumentou de $1,69 \text{ mg.g}^{-1}$ para $2,73 \text{ mg.g}^{-1}$ com um aumento no pH da solução de 3,0 para 4,2, mas diminuiu para $0,84 \text{ mg.g}^{-1}$ até atingir o pH 9,0. Isso mostrou que o pH ideal para o experimento do autor foi de 4,2. No experimento em questão, houve uma maior adsorção em pH 4, e após, a adsorção diminuiu em pH 5. Porém, em pH 6 essa adsorção obteve picos muito elevados, diferentemente do trabalho proposto por Karaoğlu et al. (2010).

Karaoğlu et al. (2010) também relatou que em pH baixos, a biossorção foi muito baixa, mostrando uma fraca atração entre a biomassa e os íons de cromo. Porém, o autor evidenciou que a razão para essa baixa biossorção pode acontecer pela competição entre o Cr^{+3} e os íons de H^+ . Kyzioł-komosińska et al. (2018) também relata que o aumento de íons H^+ em pHs baixos, pode reduzir a capacidade de adsorção de Cr (III).

Em relação ao estudo de Kanagaraj et al. (2014), que estudou a biossorção do cromo trivalente em águas residuárias, o valor de pH escolhido se deteu nas faixas de 2,5 a 5,5. Verificou-se que, em valores de pH abaixo de 2,5, o Cr (III) não foi adsorvido, e com pH acima de 5,5, o Cr (III) foi precipitado como Cr(OH)_3 . Com isso, temos a ocorrência da biossorção máxima a um pH de 4,8.

Kyzioł-komosińska et al. (2018) utilizou a biomassa da macrófita *Callitriche cophocarpa* como um possível biossorvente para a remoção de Cr(III), e encontrou capacidades de biossorção de $51,2 \text{ mg.g}^{-1}$, com 75,9% de eficiência de remoção em pH 5 e 22 mg.g^{-1} , com eficiência de 33,6% em pH 3,0.

Autores como Kyzioł-komosińska et al. (2018) e Kanagaraj et al. (2014), utilizaram somente valores de pH abaixo de 5, devido a precipitação do Cr(III) como Cr(OH)_3 em pHs superiores.

Neste experimento, o Cr (III) também precipitou, e temos valores iniciais no ponto zero distintos. Porém, com a utilização do ponto zero para os cálculos de porcentagem e capacidade de adsorção, eliminamos a precipitação inicial. Contudo, não podemos desconsiderar que a precipitação pode ter continuado ao longo do experimento. Segundo Gardea e Torresdey et al. (2002), a faixa de pH ideal para biossorção do cromo (III) é de 5 à 6, devido à falta de prótons nos ligantes carboxílicos, o que facilita a retenção dos íons de cromo.

Portanto, podemos comentar que em pHs baixos, a biossorção de Cr (III) tende a permanecer baixa, por causa de competição entre íons na solução e baixa atração com os grupos funcionais protonados com a espécie Cr^{+3} , predominantes nesta faixa de pH.

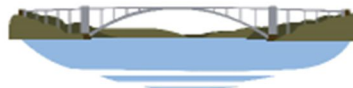
Quando o pH atinge o valor de 5,5, começa a precipitação do metal na forma de Cr(OH)_3 , fazendo com que a adsorção não seja o único mecanismo agindo para a retirada do Cr (III) da solução. Quando o pH aumenta, as espécies Cr(OH)^{2+} e Cr(OH)^{+2} são encontradas.

Em pH 6, onde foram encontradas as maiores capacidades de adsorção, há predomínio dos íons Cr(OH)^{2+} e Cr(OH)^{+2} e que por serem catiônicos, também são atraídos pelos grupos funcionais desprotonados. Na pesquisa de Yang et al. (2013), que estudou, pode-se concluir que o Cr (III) é adsorvido principalmente como forma de Cr(OH)^{2+} em sua pesquisa, uma vez que a maior quantidade de adsorção foi observada em pH 5,0.

Segundo Li et al. (2013), quando o pH da solução aumenta, ocorre a dissociação dos grupos carboxila ($-\text{COOH}$) e grupos hidroxila do fenol (Ph-OH), que são dependentes do pH. Esses grupos se dissociam e, quando desprotonados, podem capturar espécies iônicas metálicas.

CONCLUSÕES

Podemos concluir que tanto o tempo de contato como o pH interferem no processo de biossorção de Cr (III) utilizando a biomassa da *H. Grumosa*. Considerando que o tempo ideal de biossorção é o tempo além do qual nenhum poluente significativo é adsorvido sobre a superfície do biossorvente, temos tempos ideais de 10, 30, 5 e 5 min, para os pHs 4, 5, 6 e 7, respectivamente.



Analisando as curvas de porcentagens de todos os pHs, podemos dizer que o pH 6 é o mais eficiente, com uma porcentagem de adsorção de 79,58%. Também, podemos inferir que o sistema foi eficiente na remoção do Cr (III) não precipitado, pois a diferença do tempo zero e os próximos tempos foi bastante significativa.

Além disso, o pH 6 também obteve maiores capacidades de adsorção de cromo, com o tempo ideal de adsorção durante 5min de incubação. Isso pode ser ocorrido porque neste pH, há maior desprotonação de grupos funcionais de superfície, que são atraídos pelas espécies $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$ e $\text{Cr}(\text{OH})^{+2}$ presentes. Além disso, neste pH, há menor competição com outros íons na solução.

Também, a capacidade de adsorção da biomassa de *H. Grumosa* se mostrou eficiente para remoção do Cr (III) não precipitado, pois a diferença do tempo zero e os próximos tempos é bastante significativa. Porém, são necessários mais estudos para a quantificação do Cr (III) precipitado e do Cr (III) adsorvido.

Sugere-se para os próximos estudos a detecção da concentração de Cr (III) presente na biomassa pelo método de digestão em ácido nítrico e perclórico e quantificação em ICP e a identificação de grupos funcionais na biomassa pelo método de Espectroscopia transformada de Fourier Infravermelho. Estas análises irão possibilitar uma compreensão melhor do mecanismo que envolve a biossorção do Cr (III) pela biomassa da macrófita *H. grumosa*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKSU, Z. Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review. **Process Biochemistry**, v.40, p.997-1026, 2005.
- BABEL, S.; KURNIAWAN, T.A. Cr (VI) removal from synthetic wastewater using coconut shell charcoal and commercial activated carbon modified with oxidizing agents and/or chitosan. **Chemosphere**, v. 54, p.951-967, 2004.
- COSTA, D. A. et al. Avaliação da remoção de cromo (III) por materiais compósitos porosos adsorventes de PE-g-MA, fibra de coco e quitosana, usando planejamento experimental. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.22, n.6, p.1203-1213, 2017.
- FOMINA, M.; GADD, G. M. Biosorption: current perspectives on concept, definition and application. **Bioresource Technology**, v.160, p. 3-14, 2014.
- GARDEA-TORRESDEY, J.L. et al. Infrared and X-ray absorption spectroscopic studies on the mechanism of chromium (III) binding to alfalfa biomass. **Microchemical Journal**, v.71, p.157-166, 2002.
- HLIHOR, Raluca-Maria. Environmental Bioremediation by Biosorption and Bioaccumulation: Principles and Applications. In: ANJUM, N. A. **Enhancing Cleanup of Environmental Pollutants**. 2017.
- KANAGARAJ, J. et al. Biosorption of Trivalent Chromium from Wastewater: An Approach towards Green Chemistry. **Chemical Engineering & Technology**, v.37, n.10, p.1741-1750, 2014.
- KARAOĞLU, M.H. et al. Biosorption of Cr (III) from solutions using vineyard pruning waste. **Chemical Engineering Journal**, n. 159, p.98-106, 2010.
- KYZIOŁ-KOMOSIŃSKA, J. et al. Callitriche cophocarpa biomass as a potential low-cost biosorbent for trivalent chromium. **Journal of Environmental Management**, v.214, p.295-304, 2018.
- LI, P.S.; TAO, H.C. Cell surface engineering of microorganisms towards adsorption of heavy metals. **Critical Reviews in Microbiology**, v.41, n.2, p.140-149, 2013.
- NETZAHUATL-MUÑOZ, A. R. et al. Kinetic Study of the Effect of pH on Hexavalent and Trivalent Chromium Removal from Aqueous Solution by Cupressus lusitanica Bark. **Water, Air, & Soil Pollution**, n. 223, p.625-641, 2012.
- RAPOPORT, A. L.; MUTER, O. A. Biosorption of hexavalent chromium by yeasts. **Process Biochemistry**, v.30, n.2, p.45-149, 1995.
- VIJAYARAGHAVAN, K.; YUN, Y.S. Bacterial biosorbents and biosorption. **Biotechnology Advances**, v. 26, p.266-291, 2008.
- WANG, J.; CHEN, C. Biosorption of heavy metals by Saccharomyces cerevisiae: A review, **Biotechnology Advances**, v.24, p. 427-451, 2006.
- YANG, Z. et al. Cr (III) adsorption by sugarcane pulp residue and biochar. **Journal of Central South University of Technology**, v.20, n.5, p.1319-1325, 2013.